





Gradbeni vestnik • GLASILO ZVEZE DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE in MATIČNE SEKCIJE GRADBENIH INŽENIRJEV INŽENIRSKO ZBORNICE SLOVENIJE

UDK-UDC 05 : 625; ISSN 0017-2774
Ljubljana, marec 2013, letnik 62, str. 53-76

Izdajatelj:

Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS), Karlovska cesta 3, 1000 Ljubljana, telefon 01 52 40 200; faks 01 52 40 199 v sodelovanju z **Matično sekcijo gradbenih inženirjev Inženirske zbornice Slovenije (MSG IZS)**, ob podpori **Javne agencije za knjigo RS, Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani** in **Zavoda za gradbeništvo Slovenije**

Izdajateljski svet:

ZDGITS: **mag. Andrej Kerin**
prof. dr. Matjaž Mikoš
Jakob Presečnik
MSG IZS: **Gorazd Humar**
mag. Črtomir Remec
doc. dr. Branko Zadnik
FGG Ljubljana: **doc. dr. Marijan Žura**
FG Maribor: **Milan Kuhta**
ZAG: **akad. prof. dr. Miha Tomažević**

Glavni in odgovorni urednik:

prof. dr. Janez Duhovnik

Sodelavec pri MSG IZS:

Jan Kristjan Juteršek

Lektor:

Jan Grabnar

Lektorica angleških povzetkov:

Darja Okorn

Tajnica:

Eva Okorn

Oblikovalska zasnova:

Mateja Goršič

Tehnično urejanje, prelom in tisk:

Kočeovski tisk

Naklada:

3400 izvodov

Podatki o objavah v reviji so navedeni v bibliografskih bazah COBISS in ICONDA (The Int. Construction Database) ter na

<http://www.zveza-dgits.si>

Letno izide 12 števil. Letna naročnina za individualne naročnike znaša 22,95 EUR; za študente in upokojence 9,18 EUR; za družbe, ustanove in samostojne podjetnike 169,79 EUR za en izvod revije; za naročnike iz tujine 80,00 EUR. V ceni je vstrel DDV.

Poslovni račun ZDGITS pri NLB Ljubljana:
SI560201 7001 5398955

Navodila avtorjem za pripravo člankov in drugih prispevkov

1. Uredništvo sprejema v objavo znanstvene in strokovne članke s področja gradbeništva in druge prispevke, pomembne in zanimive za gradbeno stroko.
2. Znanstvene in strokovne članke pred objavo pregleda najmanj en anonimen recenzent, ki ga določi glavni in odgovorni urednik.
3. Članki (razen angleških povzetkov) in prispevki morajo biti napisani v slovenščini.
4. Besedilo mora biti zapisano z znaki velikosti 12 točk in z dvojnimi presledkom med vrsticami.
5. Prispevki morajo vsebovati naslov, imena in priimke avtorjev z nazivi in naslovi ter besedilo.
6. Članki morajo obvezno vsebovati: naslov članka v slovenščini (velike črke); naslov članka v angleščini (velike črke); znanstveni naziv, imena in priimke avtorjev, strokovni naziv, navadni in elektronski naslov; oznako, ali je članek strokoven ali znanstven; naslov POVZETEK in povzetek v slovenščini; ključne besede v slovenščini; naslov SUMMARY in povzetek v angleščini; ključne besede (key words) v angleščini; naslov UVOD in besedilo uvoda; naslov naslednjega poglavja (velike črke) in besedilo poglavja; naslov razdelka in besedilo razdelka (neobvezno); ... naslov SKLEP in besedilo sklepa; naslov ZAHVALA in besedilo zahvale (neobvezno); naslov LITERATURA in seznam literature; naslov DODATEK in besedilo dodatka (neobvezno). Če je dodatkov več, so ti označeni še z A, B, C itn.
7. Poglavja in razdelki so lahko oštevilčeni. Poglavja se oštevilčijo brez končnih pik. Denimo: 1 UVOD; 2 GRADNJA AVTOCESTNEGA ODSEKA; 2.1 Avtocestni odsek ... 3 ...; 3.1 ... itd.
8. Slike (risbe in fotografije s primerno ločljivostjo) in preglednice morajo biti razporejene in omenjene po vrstnem redu v besedilu prispevka, oštevilčene in opremljene s podnapisi, ki pojasnjujejo njihovo vsebino.
9. Enačbe morajo biti na desnem robu označene z zaporedno številko v okroglem oklepaju.
10. Kot decimalno ločilo je treba uporabljati vejico.
11. Uporabljena in citirana dela morajo biti navedena med besedilom prispevka z oznako v obliki oglatih oklepajev: (priimek prvega avtorja ali kratica ustanove, leto objave). V istem letu objavljena dela istega avtorja ali ustanove morajo biti označena še z oznakami a, b, c itn.
12. V poglavju LITERATURA so uporabljena in citirana dela razvrščena po abecednem redu priimkov prvih avtorjev ali kraticah ustanov in opisana z naslednjimi podatki: priimek ali kratica ustanove, začetnica imena prvega avtorja ali naziv ustanove, priimki in začetnice imen drugih avtorjev, naslov dela, način objave, leto objave.
13. Način objave je opisan s podatki: knjige: založba; revije: ime revije, založba, letnik, številka, strani od do; zborniki: naziv sestanka, organizator, kraj in datum sestanka, strani od do; raziskovalna poročila: vrsta poročila, naročnik, oznaka pogodbe; za druge vrste virov: kratek opis, npr. v zasebnem pogovoru.
14. Prispevke je treba poslati v elektronski obliki v formatu MS WORD glavnemu in odgovornemu uredniku na e-naslov: janez.duhovnik@fgg.uni-lj.si. V sporočilu mora avtor napisati, kakšna je po njegovem mnenju vsebina članka (pretežno znanstvena, pretežno strokovna) oziroma za katero rubriko je po njegovem mnenju prispevek primeren.

Uredništvo

stran **54**

Manja Podpečan, dipl. org.

Matjaž Maletič, univ. dipl. org., dipl. inž. les.

izr. prof. dr. Boštjan Gomišček, univ. dipl. inž. el.

ANALIZA MOŽNIH NAPAK IN POSLEDIC (FMEA) KOT ORODJE MENEĐMENTA KAKOVOSTI V GRADBENIŠTVU

**FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS (FMEA) AS A TOOL FOR
QUALITY MANAGEMENT IN CONSTRUCTION**



stran **61**

doc. dr. Mitja Košir, univ. dipl. inž. arh., mitja.kosir@fgg.uni-lj.si

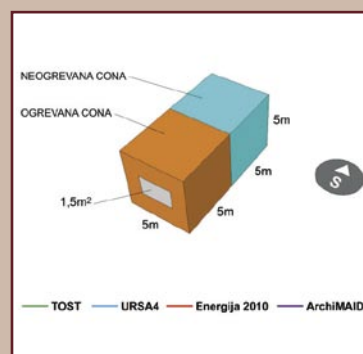
prof. dr. Aleš Krainer, univ. dipl. inž. arh.

Primož Šestan, dipl. inž. grad.

doc. dr. Živa Kristl, univ. dipl. inž. arh.

ŠTUDIJA DELOVANJA PROGRAMSKE OPREME ZA IZRAČUN PORABE ENERGIJE V STAVBAH

**STUDY OF COMPUTER SOFTWARE PERFORMANCE FOR
CALCULATION OF ENERGY USE IN BUILDINGS**



stran **72**

Rok Mlakar, univ. dipl. inž. grad.

Viktor Markelj, univ. dipl. inž. grad.

DVIŽNI MOST ZA PEŠCE V GDANSKU (POLJSKA) PRVONAGRAJENA NATEČAJNA REŠITEV

**DRAW FOOTBRIDGE IN GDANSK (POLAND)
WINNING COMPETITION DESIGN**



Koledar prireditev

J. K. Juteršek, univ. dipl. inž. grad.

Slika na naslovnici: Porušena nadstrešnica v Adrii mobil, foto Breda Dušič Gornik, Dolenjski list

ANALIZA MOŽNIH NAPAK IN POSLEDIC (FMEA) KOT ORODJE MENEDŽMENTA KAKOVOSTI V GRADBENIŠTVU

FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS (FMEA) AS A TOOL FOR QUALITY MANAGEMENT IN CONSTRUCTION

Manja Podpečan, dipl. org.

manja.podpecan@gmail.com

Matjaž Maletič, univ. dipl. org., dipl. inž. les.

matjaz.maletic@fov.uni-mb.si

izr. prof. dr. Boštjan Gomišček, univ. dipl. inž. el.

bostjan.gomiscek@fov.uni-mb.si

Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede,

Laboratorij za management kakovosti

Kidričeva 55 a, Kranj, Slovenija

Znanstveni članek

UDK 658.56:624/628

Povzetek | Namen članka je predstaviti uporabo analize možnih napak in posledic (FMEA), ki je eno izmed osnovnih orodij menedžmenta kakovosti, pri gradbeni dejavnosti na primeru zbirnega bazena odpadnih voda. Če izgradnja poteka v zahtevnih geomehanskih pogojih, je še toliko pomembneje, da se vključi proaktivni pristop k preprečevanju možnih napak. Skladno z metodologijo FMEA so bile predhodno identificirane možne napake, možne posledice napak in možni vzroki zanje. V okviru obstoječega stanja so bili opredeljeni posamezni kontrolni ukrepi in od sodelujočih strokovnjakov podane ocene za posamezne faktorje. Na podlagi izračuna indeksa pomembnosti napak (IP) je bilo ugotovljeno, da so mejno vrednost presegle le naslednje možne napake: nepravilno vgrajen beton, bazen ni vodotesen in stiki med betonom niso očiščeni žagovine. Z namenom znižanja indeksa pomembnosti za navedene napake so bili predlagani ukrepi za izboljšave. Analiza je pokazala, da se lahko s primernimi kontrolnimi ukrepi vrednost IP zniža pod mejno vrednost. Pomembna pa je tudi ugotovitev, da je za učinkovito izvedbo potreben tim ustrezno usposobljenih strokovnjakov, ki je ključen element za uspešno izvedbo FMEA.

Ključne besede: menedžment kakovosti, gradbeništvo, FMEA, orodja menedžmenta kakovosti, stalno izboljševanje

Summary | The purpose of this paper is to present the failure mode and effects analysis (FMEA), which offers an opportunity of the systematic examination of potential failure modes, potential effects of failure modes as well as potential causes of failure modes. The paper shows a wide range of possible use of FMEA method with the emphasis on the construction industry. In particular, this paper includes an application of FMEA in the case of a waste water collection tank. Having in mind that the construction of the waste water collection tank was conducted in the complex geotechnical conditions, it is even more important to use a proactive approach to prevent potential failures. In accordance with the FMEA methodology, potential failure modes, potential effects and their causes were identified. Within the analysis of the current situation, current control methods were defined and each factor was estimated by the involved experts. Based on the risk priority

number (RPN) and results evaluation, we identified potential failure modes that exceeded the limited value: incorrectly build concrete, the waste water tank is not waterproof and contacts between concrete are not clean of sawdust. In order to reduce the RPN, several improvements were proposed. The analysis showed that with proper control methods, the values of RPNs can be reduced below the limit value of 30. An important finding arising from this research is related to the development of an appropriate team of skilled experts, which is considered to be one of the key elements of effective implementation of the FMEA.

Keywords: quality management, construction, FMEA, quality management tool, continuous improvement

1 • UVOD

Pojem kakovosti je čedalje bolj prisoten v vsakdanjem življenju že precejšen del zgodovine, vendar je v zadnjem času postal temelj vseh procesov in proizvodov (Hočevar, 2006). Skladno z razvojem tehnologije, proizvodnih sredstev, delitve dela, organizacijskih znanj, družbenih odnosov, ekonomskih načel, znanja delovne sile in drugih faktorjev so se spreminjali tudi pristopi in načini doseganja kakovosti (Marolt, 2005).

Zagotavljanje kakovosti predstavlja princip preprečevanja napak. Vse aktivnosti naj bodo vnaprej načrtovane, s čimer se lahko odpravijo vsa možna odstopanja, ki bi lahko prepeljala do napak. Zagotavljanje kakovosti pa mora obsegati vse planirane in sistematične dejavnosti, potrebne za pridobitev primernega zaupanja, da določen izdelek izpolnjuje predpisane zahteve (Hočevar, 2006).

Projekti razvoja novih proizvodov so pogosto neuspešni predvsem zato, ker rezultat načrtovanja in razvoja ne ustreza kupčevim

pričakovanjem in zahtevam (Matzler, 1998). Učinkovito obvladovanje procesa razvoja novega proizvoda je tako ključnega pomena za doseganje konkurenčne prednosti (Chin, 2000). Skladno s tem tudi avtorji (Carpinetti, 2003) navajajo, da so dejavnosti stalnega izboljševanja vseh ključnih procesov organizacije izjemnega pomena pri doseganju konkurenčne prednosti.

Kompleksnost reševanja problemov s področja kakovosti zahteva uporabo orodij menedžmenta kakovosti, ki omogočajo učinkovitejše in uspešnejše analiziranje in reševanje problemov (Hagemeyer, 2006). V preteklih letih je bilo razvitih veliko orodij menedžmenta kakovosti, katerih namen je izboljšanje učinkovitosti in uspešnosti razvoja novega proizvoda. Ta orodja vključujejo zlasti metode, kot so razvrstitve funkcije kakovosti (QFD), analizo možnih napak in posledic (FMEA) ter načrtovanje za šest *sigma* (DFSS) (Thia, 2005).

Analiza možnih napak in posledic (FMEA) je še posebno uporabna z vidika preventive in izboljševanja, kar omogoča zagotovitev ustreznega proizvoda, ki zadostuje kupčevim zahtevam (Shahin, 2004). Izhaja iz problematike nastajanja in odpravljanja napak pri razvoju proizvoda. Znano je, da so vzroki večine napak v prvih fazah nastajanja proizvoda, kot so načrtovanje, razvoj in uvajanje v proizvodnjo. Odpravljanje teh napak pa se večinoma začne šele, ko se napake pokažejo (Ocvirk, 2008).

Namen prispevka je predstaviti uporabo FMEA za proizvod v gradbeništvu na praktičnem primeru zbirnega bazena odpadnih voda. Da bi dosegli namen prispevka, smo oblikovali naslednje cilje:

- predstaviti teoretična izhodišča metode FMEA,
- opisati karakteristike zbirnega bazena odpadnih voda,
- opraviti analizo možnih napak in posledic (FMEA) na primeru zbirnega bazena,
- predlagati možne izboljšave na osnovi ugotovitev.

2 • FMEA V OKVIRU MENEDŽMENTA KAKOVOSTI

Obvladovanje kakovosti zahteva natančno opredelitev neposrednih in posrednih zahtev. Z vidika kakovosti gradbenega objekta kot končnega izdelka so pomembne določitve del in postopkov po posameznih fazah graditve, določitve odgovornosti in obveznosti pri sistemu kontrole oziroma zagotavljanju kakovosti v vseh fazah graditve. Kljub zahtevnim ukrepom zdajšnje kontrole kakovosti v procesu gradnje končna kakovost objekta običajno ni skladna z začetnimi projektnimi zahtevami investitorja, zato je nujno v vseh fazah graditve

pri vseh udeležencih graditve preiti s kontrole kakovosti na sistem zagotavljanja kakovosti v celotnem življenjskem ciklusu objekta (Reflak, 2004).

Celovita kakovost je več kot zgolj tehnične zahteve, predpisane s standardi, pravilniki ali normativi. Označuje kakovost, s katero so pri gradnji zadovoljni vsi, od naročnika, uporabnika, lastnika do širšega družbenega okolja, pri kateri sta upoštevana tudi skrb za varovanje okolja in obvladovanje celovite življenjske dobe objekta (Jejčič, 2007).

Življenjski krog gradbenega objekta se začne z idejo o gradnji nekega objekta in konča z njegovo odstranitvijo. Graditev pa obsega (Reflak, 2004):

- projektiranje objekta (zasnovo in konstrukcijo),
- izvedbo (izdelavo gradbenih proizvodov in gradnjo ali rekonstrukcijo),
- uporabo (vzdrževanje in odstranitev objekta).

Zasnova objekta v veliki meri vpliva na posamezne faze njegovega življenjskega cikla. Zaradi tega je pomembno, da se že v fazi načrtovanja uporabijo ustrezna orodja menedžmenta kakovosti, katerih namen je preprečevanje možnih napak in s tem pove-

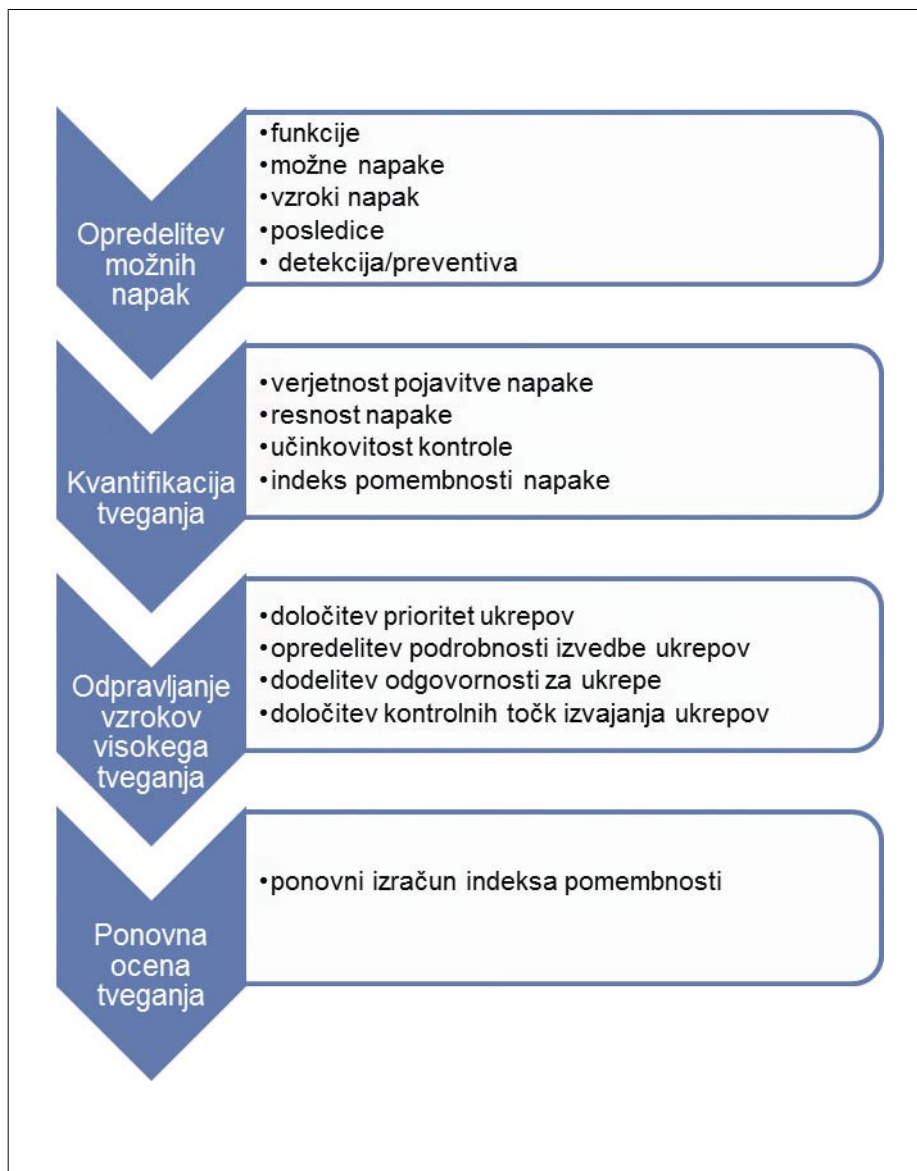
zanih nastalih stroškov. FMEA je eno izmed takih orodij, ki je sicer pogosteje uporabljeno v drugih panogah, vendar se kažejo tudi široke možnosti uporabe tega orodja v gradbeništvu (Murphy, 2011).

FMEA je metoda za sistematično odkrivanje napak in njihovih vzrokov, še preden se pojavijo. Usmerja se na preprečevanje napak, njihovo odkrivanje in iskanje vzrokov zanje. Metoda FMEA se lahko izvaja v vseh fazah procesa razvoja izdelka, v fazi snovanja, priprave prototipa in v končnem razvoju izdelka (McDermott, 2009). Metoda FMEA je izrazito preventivna, njena uporaba pa je raznolika. Uporablja se tako v razvoju, ko se preverja konstrukcijske rešitve novega izdelka, kot v tehnologiji, ko se preverjajo tehnološke rešitve v procesu. Metoda FMEA pa se lahko uporabi tudi v kurativnem smislu, ko se iščejo vzroki za neustrezno kakovost izdelkov in je njen cilj ovrednotenje posledic oziroma učinkov napak za kupca oziroma naročnika (Ocvirk, 2008).

FMEA poda vpogled v področja, ki jih je treba posebej obravnavati in jim nameniti več pozornosti. Za dosego čim boljšega rezultata je treba FMEA izvesti dovolj zgodaj, v začetni fazi načrtovanja, razvoja, in jo pozneje ponoviti na istem procesu, proizvodni ali sistemu (Ilič, 2012). FMEA naj bi bila v organizaciji del sistema menedžmenta kakovosti. Integracija FMEA v sistem kakovosti je ključnega pomena za pridobivanje čim večjih koristi (McDermott, 2009).

Metoda FMEA se izvaja v naslednjih korakih ((McDermott, 2009), (Marolt, 2005)):

1. pregled izdelka ali procesa,
2. opredelitev vseh možnih napak,
3. opredelitev možnih posledic napak,
4. identifikacija vzrokov za vsako posamezno napako,
5. opredelitev obstoječih kontrolnih ukrepov,
6. določitev ocene verjetnosti nastopa napake,
7. določitev ocene resnosti oziroma teže napake za kupca/naročnika,
8. določitev ocene verjetnosti odkritja napake, potrebna je ocena posledic vsake napake,
9. izračun indeksa pomembnosti napake,
10. določitev prioritete ukrepov na osnovi indeksa pomembnosti,
11. izvedba ukrepov za izboljšanje obstoječega stanja,
12. ponovni izračun indeksa pomembnosti po izvedenih izboljšavah.



Slika 1 • Koraki izvedbe metode FMEA (Vinodh, 2012)

Proces FMEA se izvede s klasičnim FMEA-obrazcem, ki se ga lahko prilagodi vsakemu podjetju in vsaki dejavnosti posebej (McDermott, 2009). Posamezni koraki FMEA so predstavljeni na sliki 1.

Ključne pri izvedbi FMEA so informacije, ki jih mora zagotoviti organizacija, za kar pa mora imeti vzpostavljen učinkovit sistem zbiranja podatkov in dobro opredeljene procese. Slednje je zelo pomembno pri izvedbi FMEA, saj so zanesljivi podatki bistveni za učinkovito izvedbo analize (McDermott, 2009).

Prvi korak (slika 1) je še posebno pomemben za učinkovito izvedbo metode, saj se navezuje na iskanje možnih napak in njihovih posledic. V nadaljnjih korakih je treba oceniti

pomembnost napake za kupca, oceniti verjetnost pojavljanja napak, preučiti posledice napak za kupce in oceniti možnost, da napako odkrijemo s predvidenimi kontrolnimi ukrepi. Ustrezni konstrukcijski, proizvodnoprocesni in kontrolni ukrepi so vsekakor zelo pomembni, saj omogočijo, da potencialne napake oziroma vzroke nastanka napak pravočasno odkrijemo. Preveriti je treba tudi predvidene specifikacije in kontrolne postopke, da se odkrije in prepreči čim več napak (Marolt, 2005). Z metodo FMEA določimo tudi ustrezne korektivne in izboljševalne ukrepe, po izvršenih ukrepih pa preverimo rezultate in preučimo ponovno odkrite napake (Marolt, 2005).

3 • UPORABA METODE FMEA NA PRIMERU IZ GRADBENIŠTVVA

3.1 Opredelitev zbirnega bazena odpadnih voda

V okviru izgradnje projekta bloka 6 na lokaciji TE Šoštanj je bil zgrajen podzemni zbirni bazen odpadnih voda, objekt z rešetkami in združitveni jašek. Zbirni bazen odpadnih voda je tlorisnih dimenzij 17,50 m X 25,10 m do 26,90 m min. primarne višine 9,85 m z lokalnimi poglobitvami do 12,25 m. V okviru izgradnje bazena je bil izveden še objekt z rešetkami in združitveni jašek. Bazena je bil zgrajen po principu bele kadi, nosilne konstrukcije pa so armiranobetonske. Lociran je med obstoječim hladilnim stolpom in obstoječo jedilnico, južno ob uvozni rampi v novo upravno stavbo TE Šoštanj.

3.2 Metode dela

V okviru pridobivanja podatkov so bile uporabljene različne metode, kot so analiza doku-

mentacije, opazovanje v realnem okolju, kakor tudi intervjuji z odgovornimi za načrtovanje in gradnjo zbirnega bazena odpadnih voda.

Pri izvedbi analize so sodelovali trije strokovnjaki, ki so bili odgovorni za različna področja načrtovanja in gradnje zbirnega bazena odpadnih voda. V okviru postopka izdelave FMEA je bil upoštevan ustrezen postopek ((McDermott, 2009), (Marolt, 2005)), od opredelitve posameznih sklopov zbirnega bazena (ki so predmet proučevanja FMEA) do izračuna indeksa pomembnosti za posamezne napake.

V sklopu izvedbe metode FMEA so bili izdelani preglednice za vrednotenje stanja in obrazec, ki je razdeljen na dva dela: na obstoječe in na izboljšano stanje. V obrazcu, ki opisuje obstoječe stanje, so opisani značilnosti proizvoda, lastnosti, možne napake, možne

posledice napak in možni vzroki napak. Vsako možno napako pa je treba ovrednotiti z naslednjimi faktorji:

- faktor G - resnost oziroma teža za kupca oziroma naročnika,
- faktor P - verjetnost nastopa napake,
- faktor D - verjetnost odkritja napake.

V sklopu obrazca, ki se navezuje na obstoječe stanje, so opisani tudi predvideni kontrolni ukrepi in predlagani ukrepi za izboljšanje. V obrazcu, ki predstavlja izboljšano stanje, pa so prav tako opisane značilnosti proizvoda, lastnosti, možne napake, možne posledice napak in možni vzroki zanje. Razlika med enim in drugim je ta, da so v obrazcu o izboljšanem stanju na koncu opisani predlagani ukrepi za izboljšave. Po podanih izboljšavah se postopek vrednotenja napak ponovi in se indeks pomembnosti ponovno izračuna.

4 • PREDSTAVITEV IN ANALIZA REZULTATOV FMEA

V prvi fazi so bili identificirani sklopi zbirnega bazena, ki so bili v nadaljevanju predmet preučevanja s FMEA. V analizo so bili vključeni: vzgonski piloti, piloti za varovanje gradbene jame, temeljna plošča, stene bazena, zaslupi, cevi, jaški, iztekalne površine in stropna plošča.

V skladu s postopkom FMEA (slika 1) je bilo treba v nadaljevanju za vsak izbran sklop določiti možne napake, možne posledice napak, možne vzroke zanje, opredeliti obstoječe kontrolne ukrepe in izračunati indeks pomembnosti (IP), ki je produkt faktorjev G, P in D (Marolt, 2005). V nadaljevanju kot primer

navajamo preglednico 1, ki prikazuje del rezultatov FMEA na primeru gradnje vzgonskih pilotov.

Iz preglednice 1 je razvidno, da izmed izračunanih vrednosti (IP) najbolj izstopa napaka nepravilno vezane armature. Posledica te napake je neustrezna trdnost konstrukcije, katere vzrok so manjkajoči distančniki. Z namenom preprečitve napake je treba dosledno upoštevati načrte za vgradnjo in vezavo armature ter obvezno preverjati končano delo

Možne napake	Možne posledice napak	Možni vzroki napak	IP 1	IP 2	IP 3	Povprečje IP
Nepravilen postopek vrtnja glede na zemljino	Vdori zemlje med beton	Nepravilna uporaba zaščitnih cevi	3	12	8	7,67
Napačna armatura	Konstrukcija nima ustrezne trdnosti	Pripeljana je napačna armatura	4	24	8	12
Nepravilno vezana armatura	Konstrukcija nima ustrezne trdnosti	Manjka streme	12	24	42	26
		Manjka spirala	20	36	28	28
		Manjkajo distančniki	48	36	8	30,67
		Neupoštevanje načrtov za vgradnjo in vezavo armature	8	32	16	18,67
Vdori zemlje med beton med betoniranjem	Konstrukcija nima ustrezne trdnosti	Neuporaba zaščitnih cevi za zaščito vrtnje	3	18	42	21
Nepravilno vgrajen beton		Pravilna uporaba kontraktorja	24	6	8	12,67
Neustreznost betonskih mešanic		Napaka pri naročilu betonskih mešanic	6	7	16	9,67

Preglednica 1 • Prikaz rezultatov na primeru gradnje vzgonskih pilotov

da konstrukcija nima ustrezne trdnosti. Kontrolni ukrep, ki naj bi to napako preprečeval, vključuje spremljanje poteka del. V primeru izboljšanja je predviden še dodatni kontrolni ukrepi, in sicer kontrola med vgradnjo betonskih mešanic. Hkrati je predvidena tudi ustrezna usposobljenost in izkušnost človeka, odgovornega za opravljanje teh del.

Druga možna napaka je povezana z vodotesnostjo bazena, ki jo lahko povzroči netočnost pri izvedbi del. Posledica te napake se odraža v tem, da stiki med stenami bazena in temeljno ploščo ne tesnijo. Kontrolni ukrepi, ki bi tveganje za takšno napako znižali, pa narekujejo doslednosti pri preverjanju izvedenih del ter upoštevanje pripadajočih načrtov, elaborata in standardov. Treba je spremljati tudi kakovost vgrajenih materialov. V primeru uvedbe teh ukrepov se tudi tveganje za možen nastop procesa ali proizvoda zniža.

Kot zadnja možna napaka je predstavljena napaka na stenah bazena, ki je povezana z vodotesnostjo in katere možen vzrok za nastop so neočiščeni stiki med posameznimi betoniranj. Posledica neočiščenosti žagovine lahko vodi v propustnost stikov betona. Predviden kontrolni ukrep, ki bi to napako preprečil, je kontrola del pred betoniranjem. Z namenom, da bi tveganje za nastop možne napake zmanjšali, so predvideni še dodatni kontrolni ukrepi, ki omogočijo precejšnje znižanje vrednosti IP. Kontrolni ukrepi, ki se še lahko uvedejo, so kontrola pred nadaljnjim izvajanjem del, sprotno pregledovanje in po potrebi ponovno čiščenje stikov.

Rezultati FMEA nakazujejo, da navedena metoda ponuja sistematičen način odkrivanja in preprečevanja napak, še preden te nastanejo. S tega stališča lahko poudarimo, da je za izvedbo FMEA najbolj primerna faza snovanja procesa ali proizvoda. V fazi konstrukcije ali

snovanja se lahko namreč predvidijo potencialne napake še pred samo izvedbo oziroma proizvodnjo. Posledično se lahko predlaga ukrepe, ki omogočajo pravočasno odkritje in odpravo napak oziroma njihovih vzrokov. McDermott (2009) trdi, da se lahko s pravilno in načrtovano uporabo močno znižajo stroški, ki bi nastali zaradi možnih napak, ki se pojavijo na proizvodni ali v procesu.

Na osnovi študije primera in literature ((Marolt, 2005), (Teng, 2006)) lahko povzamemo ključne dejavnike, ki vplivajo na učinkovitost izvedbe FMEA:

- podpora vodstva pri opravljanju dejavnosti, povezanih s FMEA,
- oblikovanje tima, ki je ustrezno usposobljen za izvajanje FMEA,
- ustrezno poznavanje predmeta analize,
- zagotovitev ustreznega časa za diskusijo in analizo med člani tima.

5 • SKLEP

Namen prispevka je prikazati analizo možnih napak in posledic (FMEA) na konkretnem primeru v gradbeništvu.

Glede na to, da je izgradnja zbirnega bazena odpadnih voda potekala v zahtevnih geomehanskih razmerah, čemur je morala biti prilagojena tudi tehnologija, uporabljena pri izgradnji, je še toliko pomembnejše, da v postopku načrtovanja in procesa izvajanja gradnje predvidimo možne napake, njihove posledice in identificiramo možne vzroke zanje. Pri tem se je FMEA izkazala kot možnost sistematičnega preučevanja možnih napak in njihovih posledic, da se jih prepreči, še preden nastanejo. Uspešnost izvedbe zbirnega bazena odpadnih

voda je potrdil tudi rezultat FMEA, saj so le štiri možne napake presegle mejno vrednost ($IP_m = 30$). Te napake so: nepravilna vezava armature ($IP = 30,67$), nepravilno vgrajen beton ($IP = 30,33$), bazen ni vodotesen ($IP = 32,30$) in stiki med betonom niso očiščeni žagovine ($IP = 35,33$). Skladno z ugotovitvami FMEA so bili predlagani ukrepi za izboljšanje stanja. V raziskovanem primeru bi poudarili zlasti ukrepe, ki se navezujejo na predvidene kontrolne ukrepe, s čimer smo povečali možnost odkritja napake in s tem vplivali na znižanje vrednosti faktorja D. S tem se je znižala tudi vrednost IP, ki pri ponovnem izračunu ni presegala mejne vrednosti (preglednica 2). Na ta način se je FMEA

izkazala kot učinkovito in sistematično orodje izboljševanja kakovosti gradnje zbirnega bazena odpadnih voda.

Poleg FMEA bi se tudi drugi pristopi in orodja menedžmenta kakovosti morali sistematično vključevati v procese in proizvode v gradbeništvu, kar bi nedvomno izboljšalo njihovo kakovost, uspešnost in učinkovitost.

Pomembna ugotovitev, ki izhaja iz študije primera, je povezana z oblikovanjem ustreznega tima strokovnjakov, ki imajo ustrezno znanje s področja metodologije izvedbe FMEA. Strokovnjaki, ki so sodelovali pri izvedbi FMEA, so se s to metodo srečali prvič, kar pojasnjuje razhajanja pri ocenjevanju posameznih faktorjev. Pri učinkoviti izvedbi metode FMEA je še zlasti pomembna vloga vodje tima, ki je odgovoren za koordinacijo vseh dejavnosti, ki so povezane s procesom izvedbe FMEA.

6 • LITERATURA

- Carpinetti, C. R., Buosi, T., Gerólamo, M. C., Quality management and improvement, A framework and a business-process reference model, Business Process Management Journal, Emerald, letnik 9, št. 4, str. 543–554, 2003.
- Chin, K. S., in Pun, K. F., A strategic review of product development direction for Hong Kong manufacturing industries: proactive versus reactive?, International Journal of Operations and Quantitative Management, INFOMS, letnik 6, št. 2, str. 79–97, 2000.
- Hagemeyer, C., Gershenson, J. K., Johnson, D. M., Classification and application of problem solving quality tools, A manufacturing case study, The TQM Magazine, Emerald, letnik 18, št. 5, str. 455–483, 2006.
- Hočvar, L., Tveganja v ocenjevanju stroškov življenjskega cikla gradbenega objekta, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani, 2006.
- Ilić, Ž., Uporaba metode FMEA pri obvladovanju stroškov kakovosti v pogodbeni proizvodnji farmacevtske industrije, Fakulteta za organizacijske vede, Univerza v Mariboru, diplomsko delo, 2012.

- Jejčič, N., Deset let znaka kakovosti v graditeljstvu, *Gradbenik, Tehnis*, letnik 3, št. 3, str. 176–177, 2007.
- Marolt J., Gomišček B., *Management kakovosti, Založba Moderna organizacija*, 2005.
- Matzler, K., Hinterhuber, H. H., How to make product development projects more successful by integrating Kano's model of customer satisfaction into quality function deployment, *Technovation, Elsevier*, letnik 18, št. 1, str. 25–38, 1998.
- McDermott, R. E., Mikulak, R. J., Bearegard, M. R., *The basics of FMEA*, Tylor & Francis Group, 2009.
- Murphy, M., Heaney, G., Perera, S., A methodology for evaluating construction innovation constraints through project stakeholder competencies and FMEA, *Construction Innovation, Emerald*, letnik 11, št. 4, str. 416–440, 2011.
- Ocvirk, I., Vpliv obvladovanja kakovosti na zadovoljstvo odjemalcev, *Ekonomsko-poslovna fakulteta Maribor, Univerza v Mariboru, magistrska naloga*, 2008.
- Reflak, J., Zagotavljanje kakovosti v procesu gradnje, *Družba, prostor, graditev, IZS, Ljubljana*, 19. 5. 2004, 185–189, 2004.
- Shahin, A., Integration of FMEA and the Kano model, An exploratory examination, *International Journal of Quality & Reliability Management, Emerald*, letnik 21, št. 7, str. 731–746, 2004.
- Teng, S. G., Ho, S. M., Shumar, D., Liu, P. C., Implementing FMEA in a collaborative supply chain environment, *International Journal of Quality & Reliability Management, Emerald*, letnik 23, št. 2, str. 179–196, 2006.
- Thia, C. W., Chai, K. H., Baully, J., Xin, Y., An exploratory study of the use of quality tools and techniques in product development, *The TQM Magazine, Emerald*, letnik 17, št. 5, str. 406–424, 2005.
- Vinodh, S., Santhosh, D.), Application of FMEA to an automotive leaf spring manufacturing organization, *The TQM Journal, Emerald*, letnik 24, št. 3, str. 260–274, 2012.

ŠTUDIJA DELOVANJA PROGRAMSKE OPREME ZA IZRAČUN PORABE ENERGIJE V STAVBAH

STUDY OF COMPUTER SOFTWARE PERFORMANCE FOR CALCULATION OF ENERGY USE IN BUILDINGS

doc. dr. Mitja Košir, univ. dipl. inž. arh.

mitja.kosir@fgg.uni-lj.si

prof. dr. Aleš Krainer, univ. dipl. inž. arh.

Primož Šestan, dipl. inž. grad.

doc. dr. Živa Kristl, univ. dipl. inž. arh.

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente

Jamova cesta 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

Znanstveni članek

UDK 628.86:628.92

Povzetek | V študiji smo primerjali rezultate štirih programov za izračun porabe energije v stavbah, ki upoštevajo veljavno slovensko zakonodajo in spremljajoče standarde. Primerjani programi so TOST, URSA 4, Energija 2010 in ArchiMAID. Primerjavo smo prvenstveno želeli opraviti zaradi verifikacije novega programa TOST, ki ga razvijamo. Izbrana osnova je bila enodružinska hiša. Vendar se je že v začetni fazi izkazalo, da se izračunane vrednosti med programi znatno razlikujejo, v nekaterih primerih za več kot 50 %. Vzrokov za odstopanja na relativno kompleksnem primeru izbrane enodružinske hiše v okviru možnosti, ki smo jih imeli, ni bilo mogoče identificirati. Zato smo se odločili opraviti faktorsko in parametrično analizo na poenostavljenem modelu. Opravili smo analizo štirih osnovnih konfiguracij s petimi dodatnimi elementi, skupno dvajset variant, ki smo jih izračunali z vsemi izbranimi programi. Ugotovili smo, da so odstopanja med programi velika in močno presegajo pričakovane vrednosti. Rezultati nekaterih programov, ki so trenutno dostopni uporabnikom, niso dovolj zanesljivi, da bi lahko trdili, da v vseh ali vsaj nekaterih primerih pravilno opravijo izračun porabe energije v stavbah v skladu z veljavno zakonodajo. Menimo, da je zakonodajalec naredil napako, da je pripravo programov popolnoma prepustil trgu, saj je zaradi kompleksnosti izračuna izredno težko preveriti pravilnost rezultatov. Takšno stanje je v interesu vseh treba čim prej odpraviti.

Ključne besede: programska oprema, PURES 2010, izračun porabe energije v stavbah, zakonodaja

Summary | In the following study we compared the results of four computer tools for calculation of energy use in buildings, taking into account the applicable Slovenian legislation and accompanying standards. The compared tools are TOST, URSA 4, Energy 2010 and ArchiMAID. We primarily intended to carry out verification of the new developed tool TOST. The chosen example was a family house. However, already at an early stage we discovered that the calculated values between programs differ significantly, in some cases for more than 50 %. The causes for such differences could not be identified on this relatively complex case, so we decided to carry out the factor and parametric analysis of the simplified model. We carried out an analysis of the four basic configurations with five additional elements, totally twenty variants, which were calculated with all the selected programs. The deviations between the programs are large and well above the expected

range. The results of some of the programs that are currently accessible to users are not reliable enough. It cannot be confirmed that in all, or at least in some cases the calculated energy consumption in bridges in accordance to the applicable legislation is carried out correctly. We believe that it was the legislature's mistake, leaving the preparation of programs completely to the market, because the complexity of calculation makes it extremely difficult to verify the accuracy of the results. It is of interest of all that this situation improves as soon as possible.

Key words: computer software, PURES 2010, calculation of energy use in buildings, legislation

1 • UVOD

Študija je bila opravljena v okviru problematike vrednotenja energetske učinkovitosti stavb v Sloveniji. Trenutno je najpomembnejši evropski pravni dokument povezan z učinkovito rabo energije prenovljena Direktiva o energetske učinkovitosti stavb 2010/31/EU z dne 19. maja 2010 (DEUS, 2010). Ta dokument dopolnjuje Direktiva o energetske učinkovitosti COM 2011/0370 (DEU, 2011). S celovitega vidika grajenega okolja je danes v EU delno že veljavna, delno pa še prehodna nova Uredba EU o določitvi usklajenih pogojev za trženje gradbenih proizvodov in razveljaviti Direktive Sveta 89/106/EGS, št. 305/2011, z dne 9. marca 2011 (Uredba, 2011), ki ima poleg šestih osnovnih zahtev iz stare Direktive 89/106/EGS (DGP, 1988), mehanske odpornosti in stabilnosti, varnosti pri požaru, higiene, zdravja in okolja varnosti pri uporabi, zaščite pred hrupom, varčevanja z energijo in ohranjanja toplote še novo sedmo, trajnostno rabo naravnih virov. Ti trije dokumenti predstavljajo osnovna izhodišča za načrtovanje vseh objektov.

Prvi problem, s katerim se soočamo danes, je časovna dimenzija. Od leta 2010 vemo, da bodo morale biti po DEUS 2010/31/EU stavbe financirane z javnimi sredstvi od leta 2018 naprej blizu ničenergijske. Za preostale stavbe ta zahteva velja od leta 2020 dalje. Po tem roku ne bo mogoče dobiti gradbenega dovoljenja, če stavba ne bo blizu ničenergijska. Peč let je za uvajanje novosti na področju gradbeništva zelo kratek čas. Prvi problem je državna administracija, ki je sistem z veliko inercijo. Drugi problem je, da je treba za tako radikalne ukrepe pripraviti ustrezne pravne in tehnične podlage. Za pripravo teh dokumentov je treba imeti ustrezen organizacijski okvir, določeno strategijo in realen časovni okvir. Od formalnega sprejema Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES, 2010) in Tehnične smernice TSG-1-004 Učinkovita

raba energije (TSG4) (TSG, 2010) na tej ravni ni bilo storjenega nič, uradno ne vemo niti, ali obstoječi način preverjanja v resnici sploh (pravilno) deluje. Tretji problem so kadri. Ozke specializacije na posameznih strokovnih področjih ne omogočajo celostnega reševanja problematike oblikovanja bivalnega in delovnega okolja, katere integralni del je tudi raba energije. Zato je prišlo pri pripravi PURES 2010 do resničnih ali navideznih nesorazmerij med različnimi strokami; na eni strani do zelo splošnih zahtev (arhitektura, gradbeništvo), na drugi (strojništvo) pa do zelo podrobnih računskih zahtev. To je zameglilo tudi predstave o stopnji vpliva določenih intervencij na končni rezultat računa.

Kako ukrepati? Do prve prelomnice leta 2018 je zelo malo časa. PURES 2010 in TSG4 sta korak v pravo smer, vendar bi bilo treba takoj začeti pripravo novega pravilnika, kar bi stroki do leta 2020 v okviru obvladljivih in tehnično izvedljivih časovnih intervalov omogočilo postopen prehod na zahteve skoraj ničenergijskih stavb.

Problem, ki se že danes pojavlja v praksi, je verodostojnost vrednotenja ocenjene porabe energije v stavbah v zvezi z izvajanjem nove oblike izkazov energetskega karakteristika stavbe. Zakonodajalec je predpisal metodo za izračun potrebne energije v stavbah, ki temelji na standardu SIST EN ISO 13790:2008 (SIST, 2008), ni pa zagotovil potrebne kontrole za verifikacijo izračuna energijskega odziva stavbe v obliki nujno potrebnega programskega orodja. Na trgu je programska oprema različnih proizvajalcev gradbenih materialov, ki so se pravno zavarovali tako, da za točnost izračuna ne odgovarjajo. S tem se odgovornost teoretično prenaša na projektanta, v praksi pa je nemogoče ugotoviti, ali je izračun pravilen; možnosti primerjave z referenco ni na voljo, ročni izračun pa je zaradi obsežnosti in kompleksnosti metode praktično neizvedljiv. Piko

na i prispeva še nelogična zakonodaja, ki ne upošteva postopka inženirskega načrtovanja in pravila minimalne obveze, saj je treba v fazi PGD-načrta poznati že vse izvedbene detajle inštalacij, stavbnega ovoja pa ne. Projektant je tako v najboljšem primeru prisiljen ugihati, kaj se bo v nadaljevanju projektiranja dogajalo, v najslabšem primeru pa se enostavno zlaže.

Pri pedagoškem in praktičnem delu že dlje časa opažamo, da rezultati porabe energije v stavbah, izračunani z različno programsko opremo, močno odstopajo (Pajk, 2012). Čeprav vsa programska orodja temeljijo na enakih izhodiščih, smo pri natančnejši analizi ugotovili (Šestan, 2012), da odstopanja niso le posledica nekonsistentnega vnosa podatkov, temveč je vzrok tudi način izračuna. Zato smo na Katedri za stavbe in konstrukcijske elemente (KSKE) Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani za potrebe pedagoškega procesa leta 2008 izdelali prvo verzijo programskega orodja za izračun porabe energije v stavbi TOST1 (Krainer, 2008), leta 2010 pa program Toplotni odziv stavb (TOST) (Krainer, 2012). Program temelji na PURES 2010, TSG4 in krovnem standardu SIST EN ISO 13790:2008. Med razvojem smo ga v različnih stopnjah priprave sproti preizkušali v pedagoškem procesu. Končno verzijo smo testirali s primerjavo s tremi že obstoječimi slovenskimi programskimi orodji za izračun porabe energije v stavbah po PURES 2010. Podobnih tujih programov zaradi specifičnosti podnebnih značilnosti in slovenske zakonodaje nismo vključili v preizkus. Kolikor nam je znano, tako obsežne primerjave pri nas ni opravil še nihče, čeprav bi moralo takrat odgovorno ministrstvo za okolje in prostor opraviti kontrole, da zavaruje uporabnike pred uporabo neustrezne programske opreme. Podoben preizkus, vendar v manjšem obsegu in na realni stavbi, so opravili Stritih in sodelavci (Stritih, 2011) in prav tako prišli do zaključka, da izračuni porabe energije v stavbah, izračunani z različnimi programi, močno odstopajo.

Za izhodišče izračuna smo izbrali enostavno stavbo, ki smo ji po korakih postopoma dodajali elemente, ki so ključni za porabo energije v stavbah. Predvsem nas je zanimalo,

ali bodo nastala odstopanja med novo in obstoječo programsko opremo, in če bodo, kakšna in kako velika bodo. Pri delu smo uporabili primerjalno analizo izračunanih

rezultatov in retrogradno analizo, ko smo iskali vzroke za nastale razlike med izračuni z različno programsko opremo.

2 • OPIS PRIMERJAVE

Razvoj programskih orodij za izračun porabe energije v stavbah je v zadnjih 30 letih doživel izreden napredek, ki je bil gnan predvsem z vse večjim zavedanjem, da stavbe predstavljajo enega večjih porabnikov energije. Načrtovalcem so danes na voljo programska simulacijska orodja z različno stopnjo kompleksnosti in natančnosti izračuna. V splošnem je ta orodja najbolj smiselno ločiti glede na zasnovano simulacijskega modela:

1. stacionaren simulacijski model (npr.: GenV, URSA 3)
2. dinamičen simulacijski model (npr.: EnergyPlus, DOE-2, TRNSYS, TAS)
3. kvazidinamičen simulacijski model (npr.: TOST, ArchiMAID, Energija 2010, URSA 4, DOF-ENERGY 1.2).

Poleg uporabljenega modela je za uporabnike velikokrat pomemben tudi način vnosa vhodnih podatkov. Čeprav vsi simulacijski programi za izračun porabe energije v stavbah zahtevajo numeričen vnos podatkov, nekateri vsaj delno omogočajo grafičen vnos s 3D-modelom stavbe (npr.: TAS, EnergyPlus z dodatkom Open Studio). Takšen pristop omogoča predvsem večjo preglednost pri vnosu geometrijskih podatkov, saj je enostavnejši, hitrejši in preglednejši. Pri primerjavi s programom TOST smo se omejili na programska orodja, ki omogočajo izračun porabe energije v stavbah po PURES 2010 in so trenutno dostopna na slovenskem tržišču, torej za programe ArchiMAID (Fibran NORD, 2012), Energija 2010 (Knaufinsulation, 2012) in URSA 4 (URSA, 2012). Ti programi spadajo v skupino kvazidinamičnih simulacijskih orodij, ki od uporabnika zahtevajo numeričen vnos vhodnih podatkov.

Pri predhodno opravljenih primerjavah smo ugotovili, da je izredno težko oceniti delovanje posameznega programa in definirati morebitne vzroke odstopanj, če je geometrija objekta kompleksna in so poleg osnovnih elementov stavbe upoštevani tudi drugi faktorji, ki vplivajo na porabo energije (Šestan, 2012). Zato smo se odločili geometrijo objekta čim

bolj poenostaviti in obenem opustiti vnos vseh podatkov, ki bi lahko zameglili opazovani rezultat. Programe smo testirali na primeru poenostavljene stanovanjske stavbe kockaste oblike z dimenzijami 5,0 m x 5,0 m x 5,0 m in orientirano proti glavnim stranem neba. Upoštevali smo uporabno površino 24,16 m² in neto ogrevan volumen 100 m³. Konstrukcija stavbe ima srednjo toplotno kapaciteto (efektivna toplotna kapaciteta cone (C) je 3,99 MJ/K). Privzeli smo stavbni ovoj z enako toplotno prehodnostjo vseh zunanjih ne-transparentnih elementov ($U = 0,163 \text{ W/m}^2\text{K}$). Menili smo, da objekt nima toplotnih mostov. Privzeta toplotna prevodnost zemljine je 2 W/mK. V primeru variant z okni smo upoštevali eno južno orientirano okno velikosti 1,5 m² ($U\text{-okna} = 1,08 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g = 0,8$, faktor okvirja $f_{wv} = 0,3$). Upoštevali smo, da je okno nezasenčeno. Stavba leži na koordinatah GKX 46500/GKY 442500.

Stavba je v celoti in neprekinjeno ogrevana (ena ogrevana cona). Projektna notranja temperatura pozimi je 20 °C, poletna pa 26 °C. Za ogrevanje smo privzeli plinski/oljni kotel na lahko kurilno olje z ventilatorskim gorilnikom z močjo 5 kW. Pri izračunu priprave tople vode smo upoštevali velikost hranilnika 100 litrov in čas priprave tople vode 365 dni v letu. Privzeli smo naravno prezračevanje v dveh variantah, 0,2 ali 0,5 menjave zraka na uro. Stopnja izmenjave zraka 0,2 predstavlja kompromisno rešitev za minimalno prezračevanje (stopnja izmenjav zraka 0,0), ker je to najnižja vrednost, ki jo lahko vnesemo v program Energija 2010.

V primeru izračuna za dve stavbni coni smo osnovnemu objektu na severni strani dodali neogrevano cono dimenzij 5,0 m x 5,0 m x 5,0 m, pri čemer je toplotna prehodnost predelne stene med conama ostala enaka kot pri zunanji steni. Med conama nismo predvideli odprtini. Stopnja izmenjav zraka v dodani coni je bila vedno enaka kot v ogrevani coni.

Pri izračunih smo izhajali iz štirih osnovnih konfiguracij, ki smo jim dodajali posamezne elemente. Da bi lahko natančno ocenili

delovanje programov po posameznih sklopih, smo zanemarili vse vnose, ki bi lahko zameglili rezultate, kot so npr. umetna razsvetljava, dobitki notranjih virov, mehansko hlajenje in v večini primerov tudi ogrevanje tople vode. Osnovne konfiguracije so:

1. Ena ogrevana cona.
2. Dve coni, ena ogrevana, druga neogrevana.
3. Ena ogrevana cona s pripravo tople vode.
4. Dve coni, ena ogrevana, druga neogrevana, s pripravo tople vode.

Vsaki izmed konfiguracij smo dodali naslednje elemente:

- A. Brez dodatnih elementov, naravno prezračevanje 0,20 h⁻¹.
- B. Okno površine 1,50 m², južna orientacija, naravno prezračevanje 0,20 h⁻¹.
- C. Naravno prezračevanje 0,50 h⁻¹.
- D. Okno površine 1,50 m², južna orientacija, naravno prezračevanje 0,50 h⁻¹.

S kombiniranjem osnovnih konfiguracij in dodatnih elementov (1A, 1B, 1C ...) smo izračunali 20 variant. Zaradi omejenega prostora so v članku predstavljene le nekatere izbrane variante. Preostale variante so na vpogled v arhivu KSKE.

Pri programu TOST smo učinkovitost delovanja sistema podali kot 1 (100 %), zato je pričakovana potrebna energija za ogrevanje enaka dovedeni energiji. Pri drugih programih tega ni bilo mogoče podati (podali smo največjo možno učinkovitost), zato v tem delu izračuni odstopajo tudi zaradi podajanja različne učinkovitosti sistemov. Razlike v podajanju učinkovitosti so posledica koncepta programa TOST, ki za podajanje podatkov o instalacijah v stavbi uporablja faktorje učinkovitosti na nivoju generacije, distribucije in emisije. Pri preostalih programih je treba podati dejanske vrednosti (npr. točne dimenzije razvoda), zato je učinkovitost sistemov grejta in hlajenja nižja. Vendar v programu TOST uporabljen pristop omogoča horizontalno primerjavo arhitekturnih vplivov, vplivov strukture konstrukcijskih sklopov in vplivov ogrevalnega ali hladilnega sistema na količino porabljene energije.

Zanimali so nas rezultati, ki jih programi podajo v izkazu energijskih karakteristik stavbe (po PURES 2010 je to del PGD-projekta). To

so količnik specifičnih transmisijskih toplotnih izgub (H'_T), letna potrebna toplota za ogrevanje stavbe (Q_{NH}), letna potrebna to-

plota za ogrevanje stavbe na enoto uporabne površine stavbe (Q_{NH}/A_u), letna dovedena energija, letna primarna energija (Q_p) in letni

izpusti CO_2 . Za vse odstotkovne primerjave je izbrana izhodiščna vrednost izračunana s programom TOST.

3 • REZULTATI PO PRIMERIH

1A: Ena ogrevana cona, brez dodatnih elementov, naravno prezračevanje, 0,20 h⁻¹

Pri izračunu koeficienta H'_T znaša izhodiščna vrednost 0,25 W/m²K. Izračunani vrednosti v programu URSA 4 in Energija 2010 odstopata od izhodiščne vrednosti za 36 % navzdol, kar predstavlja znatno odstopanje. Izračunana vrednost v programu ArchiMAID izkazuje manjše odstopanje od izhodiščne vrednosti, in sicer za 12 %. Pri iskanju vzrokov za taka odstopanja smo ugotovili, da programa URSA 4 in Energija 2010 izračunata identično vrednost H'_T kot TOST v primeru, da podamo stavbo s konstrukcijskimi sklopi brez stika s terenom. Sklepamo, da omenjena programa pri izračunu H'_T morda nepravilno zajameta vpliv tal.

Pri izračunu letne potrebne toplote za ogrevanje Q_{NH} je izbrana izhodiščna vrednost izračuna v programu TOST, ki znaša 3704 kWh. Izračunana vrednost v programu URSA 4 odstopa od izhodiščne vrednosti za 37 % navzdol. Izračunani vrednosti s programoma Energija 2010 in ArchiMAID pa izkazuje manjše odstopanje od izhodiščne vrednosti, in sicer prva za 23 % in druga za nekoliko manj, za 10 % navzdol. Temu primerna so odstopanja izračunane specifične porabe energije za ogrevanje Q_{NH}/A_u . URSA 4 odstopa za 37 % navzdol, Energija 2010 za 23 % navzdol in ArchiMAID za 10 % navzdol. Ob tem opazimo, da so odstopanja pri vseh programih konsistentna z odstopanji Q_{NH} , torej lahko sklepamo, da programi pravilno zajamejo kondicionirano površino stavbe. Primerjava programov URSA 4 in Energija 2010 pokaže, da orodji izračunata

Program	H'_T (W/m ² K)	Q_{NH} (kWh)	Q_{NH}/A_u (kWh/m ²)	Dov. en. (kWh)	Q_p (kWh)	CO ₂ (kg)
TOST	0,25	3.704	153,32	3.704	4.075	1.141
URSA4	0,16	2.324	96,17	3.378	3.514	1.151
Energija 2010	0,16	2.862	118,50	3.492	3.841	925
ArchiMAID	0,22	3.327	113,71	387	540	115

Preglednica 1 • Rezultati vseh štirih uporabljenih programov za primer 1A

enak H'_T . Če predpostavimo, da oba programa upoštevata isto metodo, bi morali biti tudi naslednji vrednosti (Q_{NH}) podobni. Med programoma se na tej stopnji izračuna pojavijo znatna odstopanja, vendar v tej fazi primerjav ne moremo sklepati, zakaj ta nastanejo.

Dovedena energija, izračunana s programom TOST, znaša 3704 kWh in je zaradi podane 100-odstotne učinkovitosti sistemov enaka kot Q_{NH} . V programih URSA 4 in Energija 2010 je bila podana učinkovitost sistemov nižja, zato se vrednost dovedene energije v primerjavi s Q_{NH} smiselno nekoliko poveča. Nekonsistentnost opazimo pri programu ArchiMAID, pri katerem je vrednost dovedene energije kar za faktor 10 nižja od Q_{NH} . Podobno odstopanje opazimo tudi glede na vrednosti dovedene energije, izračunane z drugimi programi.

Izračun dovedene energije je osnova za preračun potrebe po primarni energiji, ki ga na osnovi potrebe po posameznih energentih izračunamo s faktorji pretvorbe. Potrebna primarna energija je osnova za izračun emisij CO₂, ki jih ponovno izračunamo s faktorji

pretvorbe. Pri izračunu letne primarne energije Q_p izhodiščna vrednost izračuna v programu TOST znaša 4705 kWh. Glede na faktor pretvorbe 1,1 za energent lahko kurilno olje, kot je naveden v TSG4, je rezultat smiseln. Podobno je rezultat smiseln v programih URSA 4 in Energija 2010. V programu ArchiMAID je faktor pretvorbe 1,5, vendar je program že v prejšnjem koraku očitno napačno zajel nekatere vrednosti, tako da izračun tudi v tem koraku ni smiseln. Odstopanje od izhodiščne vrednosti ostane konsistentno le pri programu Energija 2010 (6 %). Pri programu URSA 4 se odstopanje od izhodiščne vrednosti glede na prejšnji korak izračuna nekoliko poveča (z 9 na 14 %), kar kaže na drugačne faktorje pretvorbe, kot so predpisani v TSG4. Podobno se zgodi tudi v naslednjem koraku izračuna emisij CO₂. Program URSA 4 izračuna najvišjo vrednost izpustov CO₂, čeprav izračuna nižjo vrednost Q_p kot programa TOST in Energija 2010. To kaže na uporabo višjih faktorjev pretvorbe za emisijo CO₂ na energijsko enoto energenta, kot so predpisane v TSG4.

1B: Ena ogrevana cona, okno površine 1,50 m², južna orientacija, naravno prezračevanje 0,20 h⁻¹

Pri izračunu koeficienta H'_T je izbrana izhodiščna vrednost izračuna v programu TOST 0,26 W/m²K. Vrednost se zaradi dodanega okna smiselno poveča. Izračunana vrednost v programu URSA 4 je od izhodiščne vrednosti nižja za 35 %. Podobno odstopa tudi program Energija 2010. Izračunana vrednost v programu ArchiMAID izkazuje manjše odstopanje od

Program	H'_T (W/m ² K)	Q_{NH} (kWh)	Q_{NH}/A_u (kWh/m ²)	Dov. en. (kWh)	Q_p (kWh)	CO ₂ (kg)
TOST	0,26	3.285	135,96	3.285	3.613	1.012
URSA4	0,17	2.013	83,31	2.978	3.226	1.070
Energija 2010	0,17	2.499	103,40	2.597	3.009	717
ArchiMAID	0,23	3.056	126,49	348	522	111

Preglednica 2 • Rezultati vseh štirih uporabljenih programov za primer 1B

izhodiščne vrednosti, in sicer za 12 % navzdol. Ker so odstopanja vseh programov podobna kot v primeru 1A, predvidevamo, da je vpliv oken v vseh programih pravilno zajet.

Pri izračunu letne potrebne toplote za ogrevanje Q_{NH} je izbrana izhodiščna vrednost izračuna v programu TOST in znaša 3.285 kWh. Izračunana vrednost v programu URSA 4 odstopa od izhodiščne vrednosti za 38 % navzdol. Izračunani vrednosti s programoma Energija 2010 in ArchiMAID pa izkazuje manjše odstopanje od izhodiščne vrednosti, in sicer prva za 24 % in druga za 7 % navzdol. Predvidevamo, da razlike najverjetneje nastanejo

zaradi različnega upoštevanja vpliva sončnih dobitkov. Odstopanja izračunane specifične porabe energije za ogrevanje Q_{NH}/A_u so pri vseh programih konsistentna z odstopanji letne potrebne toplote za ogrevanje Q_{NH} .

Pri izračunu letne primarne energije Q_p je izbrana izhodiščna vrednost izračunana v programu TOST in znaša 3613 kWh. Vrednost, izračunana s programom URSA 4, izkazuje najmanjše odstopanje od izhodiščne vrednosti, in sicer za 11 % navzdol. Izračunana vrednost s programom Energija 2010 tudi izkazuje znatno odstopanje od izhodiščne vrednosti, in sicer za 17 % navzdol. Izračunana vrednost v

programu ArchiMAID odstopa od izhodiščne vrednosti za 86 % navzdol. Tako velika razlika glede na izhodiščno vrednost nastane zaradi nepravilno izračunane dovedene energije, kar smo ugotovili že pri primeru 1A. Podobno se na Q_p navezuje izračun letnih izpustov CO_2 , tako da so tudi ti nepravilno izračunani. V primerjavi s primerom 1A so odstopanja vrednosti Q_p v enakem redu velikosti pri programih URSA 4 in ArchiMAID. Pri programu Energija 2010 se odstopanja Q_p s 6 % v primeru 1A povečajo na 17 % v primeru 1B. Razlika verjetno nastane pri nekoliko različnem izračunu dovedene energije.

1C: Ena ogrevana cona, naravno prezračevanje 0,50 h⁻¹

Vrednost H'_T v primerjavi s primerom 1A ostane nespremenjena v vseh programih, kar pomeni, da programi zagotavljajo ponovljivost izračuna, vendar je izračun v nekaterih programih verjetno napačen.

Pri izračunu letne potrebne toplote za ogrevanje Q_{NH} je izbrana izhodiščna vrednost izračuna v programu TOST in znaša 4464 kWh. Izračunana vrednost v programu URSA 4 odstopa od izhodiščne vrednosti za 28 % navzdol. Izračunani vrednosti s programoma Energija 2010 in ArchiMAID pa izkazuje manjše odstopanje od izhodiščne vrednosti, in sicer prva za 15 % odstotkov in druga za nekoliko manj, za 6 % navzdol. Pri vseh programih se zaradi povečane stopnje prezračevanja smiselno poveča tudi Q_{NH} .

Program	H'_T (W/m ² K)	Q_{NH} (kWh)	Q_{NH}/A_u (kWh/m ²)	Dov. en. (kWh)	Q_p (kWh)	CO ₂ (kg)
TOST	0,25	4.464	184,75	4.464	4.910	1.375
URSA4	0,16	3.216	133,12	4.473	4.476	1.423
Energija 2010	0,16	3.809	157,70	4.647	5.113	1.231
ArchiMAID	0,22	4.173	172,71	416	546	116

Preglednica 3 • Rezultati vseh širih uporabljenih programov za primer 1C

Tudi v tem primeru se je izkazalo, da program URSA 4 uporablja drugačne faktorje pretvorbe za energente, kot so predpisani v TSG4. V primeru 1C je odstopanje več kot očitno, saj je izračunana dovedena energija 4473 kWh, Q_p pa 4476 kWh, kar pomeni, da je razlika med njima le 3 kWh. Predpisani faktor pretvorbe za izbran energijski vir je 1,1. Enako velja za pretvorbo v emisije CO_2 ,

kjer odstopanje od TOST od 9 % navzdol pri Q_p poraste na 3 % navzgor pri CO_2 . Ne-konsistentnost smo opazili tudi v programu Energija 2010, kjer je odstopanje vrednosti dovedene energije in primarne energije v primerjavi s TOST konsistentno (4 % višja vrednost), pri pretvorbi v emisije CO_2 pa pade na 10 % pod vrednost v programu TOST.

1D: Ena ogrevana cona, okno površine 1,50 m², južna orientacija, naravno prezračevanje 0,50 h⁻¹

Pri izračunu koeficienta H'_T izbrana izhodiščna vrednost izračuna v programu TOST znaša 0,26 W/m²K. Izračunana vrednost v programu URSA 4 odstopa od izhodiščne vrednosti za 35 % navzdol. Izračunana vrednost v programu Energija 2010 izkazuje podobno odstopanje, in sicer za 35 % navzdol, ArchiMAID pa izkazuje manjše odstopanje od izhodiščne vrednosti, in sicer za 12 % navzdol.

Primer 1D zajema kombinacijo obravnavanih vplivnih faktorjev. Pri primerjavi izračunanih vrednosti opazimo, da vrednosti glede na TOST najbolj odstopajo pri programu URSA 4 (od -35 % pri vrednostih H'_T , 29 % pri vrednostih Q_{NH} in Q_{NH}/A_u do +8 % pri vrednosti emisij

Program	H'_T (W/m ² K)	Q_{NH} (kWh)	Q_{NH}/A_u (kWh/m ²)	Dov. en. (kWh)	Q_p (kWh)	CO ₂ (kg)
TOST	0,26	4.041	167,26	4.041	4.445	1.245
URSA4	0,17	2.883	119,35	4.050	4.187	1.342
Energija 2010	0,17	3.271	135,40	3.991	4.390	1.085
ArchiMAID	0,23	3.902	161,50	400	542	115

Preglednica 4 • Rezultati vseh širih uporabljenih programov za primer 1D

CO_2). Vrednosti, izračunane s programom Energija 2010, izkazujejo ves čas relativno konsistentna odstopanja navzdol v rangi vrednosti 1 % do 20 %. Program ArchiMAID pa zaradi očitno napačnega preračuna Q_{NH} v dovedeno energijo pri vrednostih Q_p in CO_2 odstopa za 90 % glede na TOST in več kot

80 % glede na preostale programe. Iz rezultatov je razvidno, da se v primeru vnosa več vhodnih podatkov pri programih URSA 4 in Energija 2010 odstopanja začnejo seštevati (ali odštevati), zato so razlike med programi v tem primeru manjše kot pri prejšnjih primerih.

2A: Dve coni, ena ogrevana, druga ne, brez dodatnih elementov, prezračevanje 0,20 h⁻¹

Vrednost koeficienta H'_T se pri programih TOST in ArchiMAID v primerjavi s primerom 1A logično zmanjša, ker je osnovni ogrevani coni dodana neogrevana cona, ki predstavlja tamponsko cono med ogrevanim prostorom in zunanostjo. Nenavadno je, da se pri programih URSA 4 in Energija 2010 H'_T ne spremeni (ostane enak kot v primeru 1A).

Če primerjamo izračuna s programoma URSA 4 in Energija 2010, vidimo, sta vrednosti H'_T izračunani z obema programoma enaki (0,16) in od programa TOST odstopata za 20 % navzdol. Vrednosti Q_{NH} in Q_{NH}/A_u izračunani s programom URSA 4, od TOST odstopata za 32 % navzdol, izračunani s programom Energija 2010 pa za 6 % navzdol. Medtem ko program URSA 4 v vseh dosedanjih primerih konsistentno odstopa od programa TOST za

Program	H'_T (W/m ² K)	Q_{NH} (kWh)	Q_{NH}/A_u (kWh/m ²)	Dov. en. (kWh)	Q_p (kWh)	CO ₂ (kg)
TOST	0,20	3.394	140,46	3.394	3.733	1.045
URSA4	0,16	2.288	94,68	3.334	3.476	1.140
Energija 2010	0,16	3.185	131,80	3.232	3.862	922
ArchiMAID	0,19	3.913	80,98	584	757	160

Preglednica 5 • Rezultati vseh širih uporabljenih programov za primer 2A

okoli 30 % navzdol, program Energija 2010 v tem primeru odstopa bistveno manj kot v primerih z eno ogrevano cono.

Program Energija 2010 upošteva pri preračunu dovedene energije v Q_p očitno višji faktor pretvorbe kot TOST ali pa dodatno upošteva še kakšnega »skritega« porabnika energije, ker je v primeru z dvema conama vrednost Q_p za 3 % višja kot tista, izračunana s TOST, pri preračunu emisij CO₂ pa nižji faktor preračuna, ker vrednost zopet odstopa za 12 % navzdol.

V primerih z eno ogrevano cono tega ni bilo opaziti.

Program ArchiMAID pri izračunu Q_{NH} od programa TOST odstopa za 5 % navzgor, pri izračunu Q_{NH}/A_u pa za 42 % navzdol. Očitno program napačno upošteva površine (upošteva tudi neogrevano cono, kar je napačno). Pri izračunu dovedene energije in vseh nadaljnjih korakov pa je podobno kot v predhodnih variantah odstopanje izredno veliko in presega 80 %.

2D: Dve coni, ena ogrevana, druga ne, okno površine 1,50 m², južna orientacija, naravno prezračevanje 0,50 h⁻¹

Pri pregledu rezultatov nas je zanimala primerjava med variantama 1D in 2D, pri katerih je konfiguracija osnovne cone enaka, v varianti 2D pa je dodana še ena neogrevana cona. V programu TOST vrednost H'_T z 0,26 W/m²K v varianti 1D pade na 0,21 W/m²K v varianti 2D. Pri programu Energija 2010 je vrednost H'_T enaka v varianti 1D in 2D. Če je razlog v tem, da program ne upošteva stene med dvema conama kot del notranjih stavbe, temveč jo prišteje k zunanjim stenam, je to napačna predpostavka programa.

V primerjavi z varianto 2A programa URSA 4 in ArchiMAID izračunata enako vrednost H'_T kot v varianti 2D, čeprav je pri slednji dodano okno. Pri programih TOST in Energija 2010 se vrednost H'_T glede na varianto 2A logično nekoliko poveča, ker ima okno višjo toplotno prehodnost kot zunanja stena. Možno je tudi, da so razlike majhne in da jih programa URSA 4 in ArchiMAID drugače zaokrožita.

Program	H'_T (W/m ² K)	Q_{NH} (kWh)	Q_{NH}/A_u (kWh/m ²)	Dov. en. (kWh)	Q_p (kWh)	CO ₂ (kg)
TOST	0,21	3.733	154,50	3.733	4.106	1.150
URSA4	0,16	3.180	131,62	4.429	4.437	1.412
Energija 2010	0,17	3.762	155,70	4.117	4.686	1.121
ArchiMAID	0,19	4.488	92,87	648	761	161

Preglednica 6 • Rezultati vseh širih uporabljenih programov za primer 2D

Program ArchiMAID v tej varianti izračuna vrednost Q_{NH} za 20 % višjo kot TOST, čeprav je vrednost H'_T za 10 % nižja od TOST. To pomeni, da kumulativno med programoma nastane precej velika razlika, ki jo lahko pripišemo ali drugačnemu zajemu podnebnih podatkov (sončno sevanje, zunanja temperatura), ali pa drugačnemu faktorju izkoristka sončnega sevanja (kar je manj verjetno, ker ta ne bi mogel imeti tako očitnega vpliva na izračun), ali različnemu upoštevanju vpliva prezračevalnih izgub (upoštevanje napačnega prezračevanega volumna stavbe). Iz rezultatov je razvidno, da program pri preračunu iz

Q_{NH} v Q_{NH}/A_u upošteva tudi neogrevano cono, kar je napačno. V nadaljnjih korakih se kot v prejšnjih primerih pojavlja očitno napačen preračun vrednosti. Z istim programom je bila v varianti 1D izračunana vrednost Q_{NH} za 3 % nižja od tiste, izračunane s programom TOST. Očitno pri izračunu prihaja do nepravilnega zajema nekaterih podatkov, ker se odstopanja od programa TOST v teh variantah bistveno razlikujejo. Ker je stena med obema conama dobro toplotno izolirana, druga cona pa ni ogrevana, se postavlja vprašanje, kako nastane tako drastično povečanje porabe energije za ogrevanje glede na varianto 1D.

4D: Dve coni, ena ogrevana, druga ne, s pripravo tople vode, okno površine 1,50 m², južna orientacija, naravno prezračevanje 0,50 h⁻¹

Vrednost H'_T se pri vseh programih glede na primer 2D ne spremeni, kar je pravilno.

Pri programu TOST se je Q_{NH} glede na varianto 2D nekoliko povečal (s 3733 na 3747 kWh). Razlog za omenjeno povečanje porabe ener-

Program	H'_T (W/m ² K)	Q_{NH} (kWh)	Q_{NH}/A_u (kWh/m ²)	Dov. en. (kWh)	Q_p (kWh)	CO ₂ (kg)
TOST	0,21	3.747	155,07	3.747	4.440	1.235
URSA4	0,16	3.180	131,62	4.727	4.987	1.566
Energija 2010	0,17	3.366	139,30	3.323	4.071	959
ArchiMAID	0,19	4.488	92,87	1.509	1.235	293

Preglednica 7 • Rezultati vseh širih uporabljenih programov za primer 4D

gije je verjetno v numerični metodi izračuna. Pri programih URSA 4 in ArchiMAID je Q_{NH} glede na varianto 2D ostal enak, kar je logično, pri programu Energija 2010 pa je nekoliko padel (s 3762 kWh v primeru 2D na 3366 kWh v primeru 4D). Vzroka nismo uspeli določiti.

V programu URSA 4 se pri pretvorbi iz Q_{NH} in Q_{NH}/A_u , ki izkazuje za 15 % nižji vrednosti glede na TOST, pri dovedeni energiji zgodi nesorazmeren preskok na 26 % višjo

vrednost, kot je izračunana s programom TOST. Za ogrevanje definirane količine vode je program izkazal nesorazmerno veliko porabo energije. Pri programu Energija 2010 se pojavi nesmiseln rezultat pri izračunu dovedene energije, saj je ta manjša kot Q_{NH} . Drugače pa so načeloma odstopanja glede na program TOST konsistentna skozi cel izračun, razen pri preračunu emisij CO_2 , kjer smo že predhodno ugotovili, da program Energija 2010 verjetno uporablja drugačen faktor preračuna.

Program ArchiMAID, podobno kot v predhodnih variantah, izkazuje največja odstopanja. Vrednost H'_T je za 10 % nižja kot v programu TOST, vrednost Q_{NH} pa za 20 % višja. Izračunani delež energije za ogrevanje sanitarne vode omili odstopanja, vendar so ta še vedno izredno velika in znašajo med +20 in -76 % glede na program TOST. Opozarjamo tudi na napačno izračunano primarno energijo, ki je nižja kot dovedena energija (kar pri izbranem energentu ni mogoče).

4 • ANALIZA IN RAZPRAVA

Pri analizi vzrokov za velika odstopanja pri izračunanih vrednostih z uporabljenimi programi smo preverili tudi zajem podatkov za povprečno letno temperaturo (T_L). Razlike, ki so razvidne iz preglednice 8, so sicer relativno majhne in verjetno bistveno ne vplivajo na končne rezultate. Kljub temu pa kažejo na različne načine pridobivanja podnebnih podatkov v posameznih programih. Pri izračunu maksimalnega dovoljenega H'_T so si vsi programi enotni. Velika razhajanja pa se pojavljajo pri izračunu maksimalne dovoljene vrednosti Q_{NH}/A_u . Razlog za tako izjemno velika razhajanja je v interpretaciji 7. in 21. člena PURES 2010. V 1. točki 7. člena je navedeno, da se za določitev maksimalne dovoljene vrednosti H'_T uporabijo dejanske vrednosti f_0 , razen če je f_0 manjši od 0,2, se privzame vrednost 0,2, ter če je f_0 večji kot 1,0, se privzame vrednost 1,0. V nadaljevanju 7. člena pa ni nikjer eksplicitno navedeno, ali ti isti pogoji glede omejitve vrednosti f_0 veljajo tudi za določitev maksimalnih dovoljenih vrednosti Q_{NH}/A_u , Q_{NH}/V_e in Q_p/A_u . Omenjena nejasnost se odraža tudi na izračunanih vrednostih, saj so se ustvarjalci programov ArchiMAID in URSA 4 odločili za upoštevanje te omejitve tudi pri izračunu Q_{NH}/A_u , nasprotno pa so to omejitve ustvarjalci programov Energija 2010 in TOST upoštevali le pri izračunu H'_T (preglednica 8.). Dodatna težava se pojavi tudi pri določitvi f_0 , saj iz navedene vrednosti, ki jo izračuna Energija 2010 ($f_0 = 1,2$), lahko sklepamo, da program napačno izračuna faktor oblike, upošteva namreč bruto volumen stavbe, ta napaka se pojavlja tudi pri programu ArchiMAID (ni razvidno iz preglednice 8). Faktor oblike je v PURES 2010 v 4. členu v 3. točki definiran kot: »... razmerje med površino toplotnega ovoja stavbe in neto ogrevano prostornino stavbe«, kar potrjuje, da je za

Program	T_L (°C)	f_0 (-)	max. Q_{NH}/A_u (kWh/m ²)	max. H'_T (W/m ² K)
TOST	9,4	1,5	103,70	0,35
URSA4	10,0	1,0	71,00	0,35
Energija 2010	9,4	1,2	85,70	0,351
ArchiMAID	9,42	1,0	73,63	0,35
Ročno 1,5	9,4	1,5	103,70	0,351
Ročno 1,2	9,4	1,2	86,64	0,351
Ročno 1,0	9,4	1,0	73,70	0,351

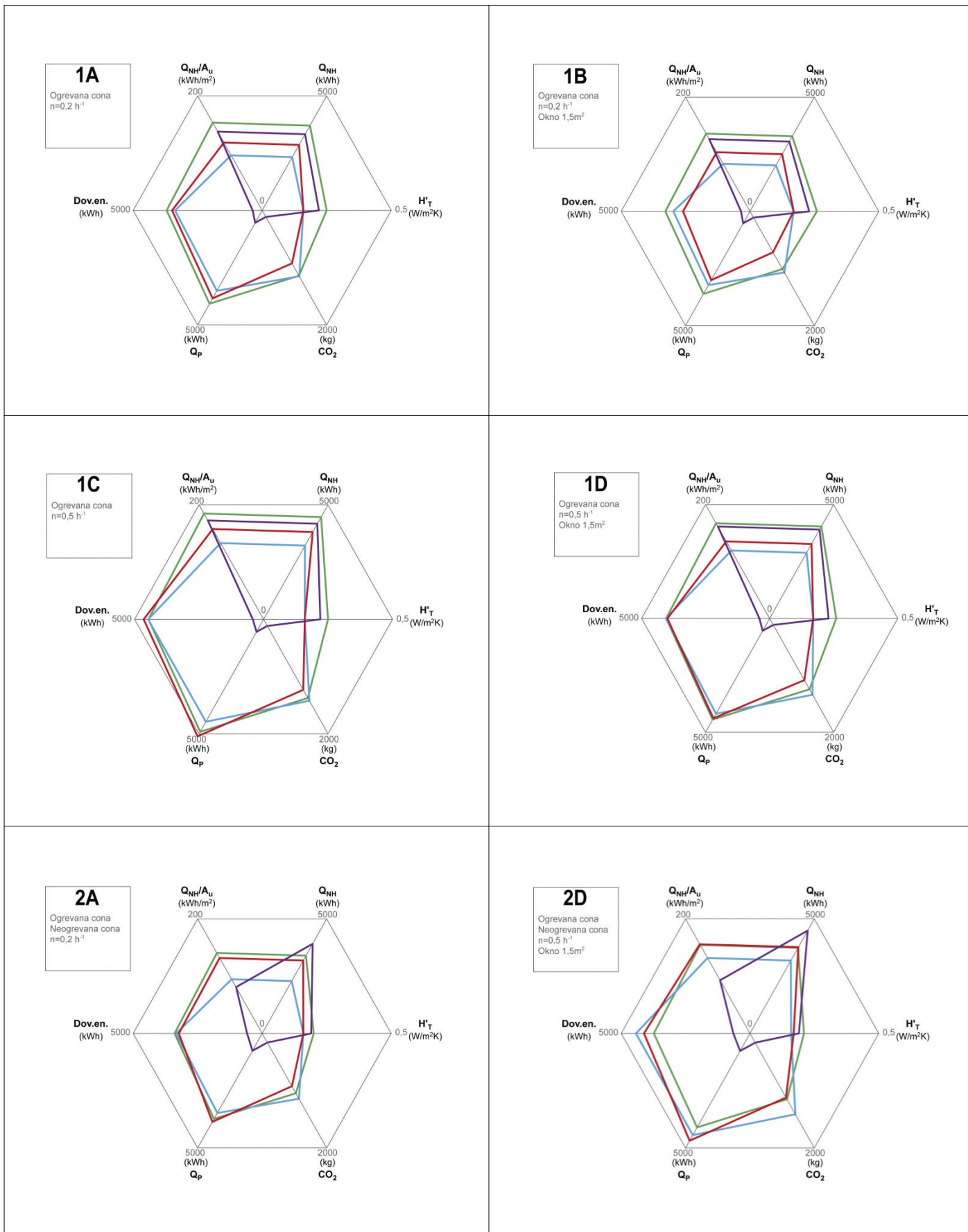
Preglednica 8 • Vrednost T_L , f_0 ter maksimalna vrednost Q_{NH}/A_u in H'_T za lokacijo GKX 46500, GKY 442500 pri primeru 1A. Zadnje tri vrstice vsebujejo »ročne« izračune maksimalnih mejnih vrednosti Q_{NH}/A_u in H'_T , ob upoštevanju različnih vrednosti f_0 . Izračunane vrednosti so določene glede na določila 21. člena PURES 2010

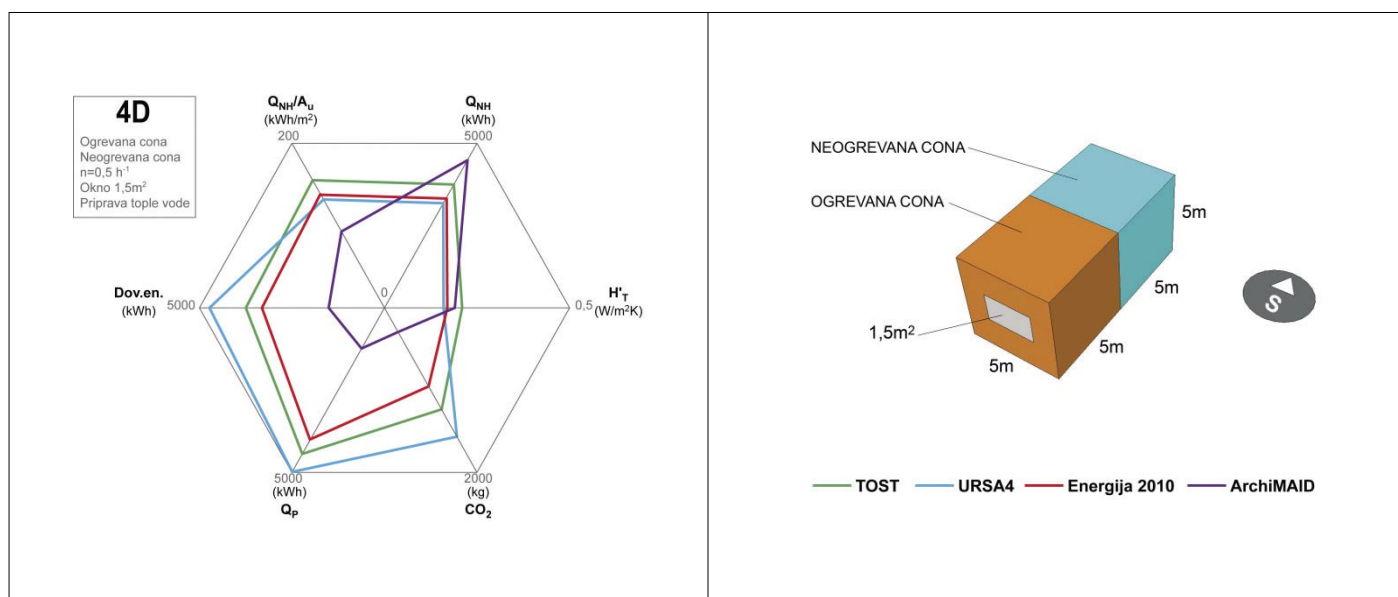
obravnavani primer 1A pravilno izračunana vrednost f_0 enaka 1,5.

V preglednici 9 je prikazan pregled variant z izračunanimi vrednostmi, ki smo jih pridobili s štirimi primerjanimi programskimi orodji. Analiza je podana glede na posamezno programsko orodje.

Rezultati, izračunani s programom ArchiMAID, v vseh variantah niso smiselni. Program napačno izračuna faktor oblike (f_0), saj upošteva bruto volumen stavbe, moral pa bi upoštevati neto volumen (PURES 2010, 4. člen). Posledično ta napaka vpliva na maksimalno dovoljeno Q_{NH}/A_u in H'_T . Če izračunamo stavbo s flemi ali brez njih ostane vrednost H'_T nespremenjena (npr.: 0,22 pri primeru 1A), čeprav bi se vrednost načeloma morala spremeniti (zmanjšati). Rezultati za H'_T , Q_{NH} in Q_{NH}/A_u so smiselni le pri uporabi ene ogrevane cone (variante 1A, 1B, 1C in 1D). Pri uporabi dveh con (primer 2A, 2D in 4D) je smiseln le izračun H'_T in Q_{NH} . Q_{NH}/A_u je

izračunan napačno, saj program upošteva tudi površino neogrevane cone, kar ni pravilno. V primerjavi s TOST vrednosti Q_{NH} odstopajo od -20,22 % (primer 2D) do +10,18 % (primer 1A). Napačno je izračunana vrednost Q_{NH}/V_e , ker program upošteva bruto volumen namesto neto volumna kondicionirane cone. Dovedena energija, Q_p in CO_2 so vselej napačno izračunani, saj so mnogokrat nižji od potrebne energije za ogrevanje. V primeru 4D je Q_p celo manjša od dovedene energije, kar pri uporabi kurilnega olja ni smiseln rezultat. Program je v nekaj poskusih ob upoštevanju priprave tople vode izračunal smiselne vrednosti za dovedeno energijo, Q_p in CO_2 , vendar so bili takšni primeri naključni (kar predstavlja problem zaradi dvoma o zanesljivosti programa). Uporabniški vmesnik programa je dokaj kompleksen in zaradi svoje zasnove nepregleden za začetne uporabnike. Vmesnik je zasnovan podobno kot pri programu URSA4. Z uporabo se je pokazalo, da v nekaterih primerih





Preglednica 9 • Grafična predstavitev rezultatov predstavljenih izračunanih primerov: 1A – ogrevana cona, $n = 0,2 \text{ h}^{-1}$; 1B – ogrevana cona, $n = 0,2 \text{ h}^{-1}$, okno $1,5 \text{ m}^2$; 1C – ogrevana cona, $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$; 1D – ogrevana cona, $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$, okno $1,5 \text{ m}^2$; 2A – ogrevana cona + neogrevana cona, $n = 0,2 \text{ h}^{-1}$; 2D – ogrevana cona + neogrevana cona, $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$, okno $1,5 \text{ m}^2$; 4D – ogrevana cona + neogrevana cona, $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$, okno $1,5 \text{ m}^2$, priprava tople vode

program izračuna različne rezultate ob istih vhodnih podatkih – vzorca pojavljanja takšnih dogodkov ni bilo opaziti.

Rezultati, izračunani s programom Energija 2010, so pri vseh primerih smiselni. Program napačno izračuna faktor oblike (f_0), saj upošteva bruto volumen stavbe, moral pa bi upoštevati neto volumen (PURES 2010, 4. člen), posledično ta napaka vpliva na maksimalno dovoljeno Q_{NH}/A_u in H'_T . Izračunani H'_T je po pridobljenih vrednostih bližje programu URSA4 kot programoma TOST in ArchiMAID. Če izračunamo stavbo z upoštevanjem tal ali brez upoštevanja, ostane vrednost H'_T nespremenjena (npr.: $0,16$ pri primeru 1A). Vrednost bi se načeloma morala spremeniti (zmanjšati). V primerih, kjer sta bili v izračunih uporabljeni dve coni, se rezultati, pridobljeni z Energijo 2010 in TOST, skoraj popolnoma ujemajo. V primerjavi s TOST vrednosti Q_{NH} odstopajo od $-0,78 \%$ (primer 2D) do $+23,93 \%$ (primer 1B). Napačno je izračunana vrednost Q_{NH}/V_{br} , saj program upošteva bruto volumen namesto neto volumna kondicionirane cone. Program je izdelan pregledno in je dokaj enostaven za uporabo, dobrodošla je možnost vstavljanja strojnih inštalacij s čarovnikom, kar olajša uporabo. Rezultati pridobljeni s programom URSA4 so smiselni, vendar v večini primerov izračunane vrednosti precej odstopajo od izračunov s programoma TOST in Energija 2010. Če izračunamo stavbo s tlemi ali brez njih, osta-

ne vrednost H'_T nespremenjena (npr.: $0,16$ pri primeru 1A). Vrednost bi se načeloma morala spremeniti (zmanjšati). Obstaja sum, da so vrednosti Q_{NH} in Q_{NH}/A_u napačno izračunane, saj so vedno nižje od preostalih treh programov. Od programa TOST vrednost Q_{NH} odstopa od -15% (primer 2D) do -39% (primer 1B). Od povprečja treh programov (povprečen Q_{NH} , izračunan s TOST, Energijo 2010 in ArchiMAID) pa od -18% (primer 4D) do -35% (primer 2A). Napačno je izračunana vrednost Q_{NH}/V_{br} , saj program upošteva bruto volumen namesto neto volumna kondicionirane cone. Pri pretvorbi iz dovedene energije v primarno energijo (Q_p) so v programu očitno uporabljeni drugačni faktorji, kot so navedeni v TSG4. Program v nekaterih primerih uporablja nesmiselno nizke faktorje pretvorbe (npr.: primer 1C in 2D), drugje pa so vedno nižji od predpisanega faktorja za kurilno olje, ki je bilo uporabljeni energent v izračunanih primerih. Program pri veliko nižjih vrednostih Q_{NH} in Q_{NH}/A_u glede na druge programe doseže zelo podobne rezultate za dovedeno energijo, Q_p in količino CO₂, kar kaže na drugačne faktorje pretvorbe, kot so predpisani v TSG4. Program pri izračunu količine emisij CO₂ izračuna najvišjo vrednost izpustov CO₂ glede na preostale programe, čeprav izračuna nižjo vrednost Q_p kot programa TOST in Energija 2010. To kaže na uporabo višjih vrednosti emisij CO₂ na energijsko enoto energenta, kot so tiste, predpisane v TSG4. Uporabniški

vmesnik programa je dokaj kompleksen in zaradi svoje zasnove nepregleden za začetne uporabnike. Vmesnik je zasnovan podobno kot pri programu ArchiMAID, pojavljajo se tudi nekonsistentnosti, saj program omogoča definiranje neogrevane cone na dveh mestih, ki se medsebojno ne izključujeta. Med uporabo se je pokazalo, da v nekaterih primerih program izračuna drugačne rezultate ob istih vhodnih podatkih – vzorca pojavljanja takšnih dogodkov ni bilo opaziti.

Rezultati, izračunani s programom TOST, so pri vseh primerih smiselni. Če izračunamo stavbo s tlemi ali brez njih se vrednost H'_T spremeni (npr.: z $0,22$ na $0,16$ pri primeru 1A), kar je smiseln rezultat. Obstaja sum, da programi URSA 4, ArchiMAID in Energija 2010 napačno upoštevajo oziroma ne upoštevajo vpliva tal pri izračunu H'_T . Ročno izračunani H'_T brez vpliva tal znaša pri obravnavani stavbi $0,16$, kar je enako kot H'_T , izračun s programom TOST. Izračunani rezultati za Q_{NH} , Q_{NH}/A_u in H'_T so praviloma višji kot v preostalih programih ter s tem na varni strani. V primeru uporabe dveh con so izračunani rezultati skoraj identični z rezultati, pridobljenimi s programom Energija 2010. V primerjavi z drugimi tremi programi omogoča TOST tudi definiranje steklenjaka kot specifične neogrevane cone in posebne elemente ovoja (zbiralno shranjevalne stene, prezračevane elemente ovoja in netransparentne elemente s transparentno izolacijo). Pri temperaturnih conah ima TOST dve specifični

coni, ki omogočata simuliranje kleti (ogrevana cona z ogrevano kletjo in neogrevana cona z neogrevano kletjo). V primerjavi z drugimi tremi programi TOST pristopa k izračunu vpliva instalacij nekoliko drugače, saj se te podajajo s tipom energenta in faktorjem izkoristka na nivoju generacije, distribucije in emisije. Takšen način je bolj smiseln, kadar projekt strojnih napeljav še ni izdelan, torej v večini primerov v fazi PGD (osnovni namen PURES 2010). Količine, predvidene v računu v fazi PGD, morajo nato projektanti upoštevati pri izdelavi projekta za izvedbo. V takšnih primerih vnašanje podrobnih značilnosti strojnih napeljav stavbe ni smiselno, saj te še niso znane. Izdelovalec elaborata gradbene fizike se mora tako zateči k ugibanju oziroma k predlaganim prednastavljenim vrednostim. TOST se izvaja v okolju Microsoft Excel in je zasnovan tako, da uporabnika pelje skozi

serijo zaporedno nanizanih zavihkov, ki si vsebinsko sledijo od osnovnih vhodnih podatkov do končnih rezultatov. Zasnova z zaporedno nanizanimi zavihki omogoča preglednost in hitro spreminjanje vhodnih podatkov, s tem pa tudi učinkovito generiranje variantnih rešitev. V članku opravljene in opisane primerjave so izvedene na namenoma izrazito hipotetičnem primeru stavbe in tako ne omogočajo neposredne primerjave z realnimi stavbami. V praksi primerjava med simulacijsko pridobljenimi rezultati in dejansko (merjeno) porabo energije v stavbah poraja veliko vprašanj. Ker na porabo energije v stavbah vpliva veliko več parametrov, kot jih je zajetih v metodi, ki jih uporabljajo primerjani programi, je seveda smiselno pričakovati, da bodo nastajala odstopanja med računsko in izmerjeno porabo energije v stavbah. Glede na dosedanje izkušnje primerjav merjene in

računske vrednosti porabe energije v stavbi lahko trdimo, da sta glavna razloga za nastanek odstopanj v načinu uporabe stavbe in v podnebnih podatkih (Ahčin, 2013). Kar se tiče vpliva klimatskih podatkov, je izvor odstopanja dokaj jasen, saj so v simulacijskih programih uporabljeni povprečni podnebnih podatki, ki predstavljajo 30-letna povprečja, meritev v realnem okolju pa so opravljene v specifičnih letih, v katerih je bilo veliko odstopanj od dolgoletnega povprečja. Drugi dejavnik predstavlja skupino faktorjev, ki jih je veliko težje natančno definirati. Način uporabe stavbe je namreč zelo odvisen od obnašanja uporabnikov, to pa je izrazito individualno in ga je zato težko natančno predpostaviti. Zgoraj opisana odstopanja so ilustriрана v dveh diplomskih nalogah, ki sta bili opravljene pod mentorstvom članov KSKE ((Žvab, 2012), (Ahčin, 2013)).

5 • RAZPRAVA IN SKLEPI

Glede na zgoraj predstavljeno primerjavo delovanja programskih orodij za izračun porabe energije v stavbah lahko zaključimo, da so ugotovljena odstopanja med programi velika in močno presesegajo pričakovane vrednosti. Iz pričujoče primerjave je razvidno, da rezultati nekaterih programov, ki so trenutno dostopni uporabnikom, niso dovolj zanesljivi, da bi lahko trdili, da v vseh ali vsaj nekaterih primerih pravilno opravijo izračun porabe energije v stavbah v skladu s PURES 2010 in TSG4.

V nasprotju z Nemčijo, kjer je po naročilu države Fraunhofer Institut für Bauphysik iz Stuttgarta (FIB) pripravil programsko jedro, potem pa so različna podjetja na komercialni osnovi izdelala uporabniške vmesnike, je zakonodajalec v Sloveniji izdelavo programske opreme popolnoma prepustil trgu, obenem pa ni zagotovil njene verifikacije. Dejstvo je, da smo takrat imeli možnost, da se na FIB vključimo v proces priprave jedra, a je resorno ministrstvo naše pobude ignoriralo. Na takratnem slovenskem ministrstvu za okolje in prostor se očitno niso zavedali, kakšna škoda lahko nastane, če se v delu dokumentacije za gradbeno dovoljenje pojavljajo različni izračuni, ki naj bi zagotovili skladnost z obstoječo zakonodajo, v tem primeru PURES 2010.

Zakonodajalec je naredil napako, ker je pripravil programov popolnoma prepustil trgu, saj je

zaradi kompleksnosti izračuna izredno težko preveriti pravilnost rezultatov. Takšno stanje je v interesu vseh treba čim prej odpraviti. Le upamo lahko, da se zakonodajalec zaveda dejstva, da izračun porabe energije v stavbi ni sam sebi namen, ampak je del širše strategije zmanjšanja porabe energije na nacionalnem nivoju. Zaradi neurejenega stanja na tem področju so pravzaprav prizadeti vsi v verigi:

- projektant, ker s svojim podpisom jamči za (ne)verodostojnost izračuna in na katerega se prevali vsa odgovornost za nedosledno delovanje pristojnih državnih institucij,
- izvajalec, ker ne dela tako, kot bi moral,
- investitor, ki potencialno financira nekaj, česar na koncu ne dobi,
- uporabnik, ker prenaša potencialno slabše pogoje in plačuje za nedoslednosti,
- država, ki ne dosega zastavljenih in predpisanih ciljev.

Pridobi le kverulentni sistem, ki je učinkovit takrat, ko so drugi sistemi neučinkoviti, in ki po nepotrebnem obremenjuje od davkoplačevalcev financirana sodišča. Slovenijo čakajo v naslednjih letih težko dosegljive obveznosti. Ne glede na to, da večina strokovne javnosti v Sloveniji pozna DEUS in DEU, predstavljamo v naslednjih dveh odstavkih njune glavne zahteve.

Direktiva 2010/31/EU Evropskega parlamenta in Sveta z dne 19. maja 2010 o energetske učinkovitosti stavb (prenošitev) v členu 9

skoraj ničenergijske stavbe zahteva, da države članice zagotovijo, da (a) so do 31. decembra 2020 vse nove stavbe skoraj ničenergijske in (b) so po 31. decembru 2018 nove stavbe, ki jih javni organi uporabljajo kot lastniki, zagotovijo, da so to skoraj ničenergijske stavbe. Brez upoštevanja te zahteve ni pravno veljavnega gradbenega dovoljenja.

Direktiva 2011/0370 Evropskega parlamenta in Sveta o energetske učinkovitosti in razveljavitvi Direktiv 2004/8/ES in 2006/32/ES, poglavje II, Učinkovitost rabe energije, v členu 4 javni organ zahteva, da (1.) države članice brez poseganja v člen 7 Direktive 2010/31/EU zagotovijo, da se 3 % skupne tlorisne površine v lasti njihovih javnih organov od 1. januarja 2014 vsako leto prenovi z namenom izpolnitve vsaj minimalnih zahtev glede energetske učinkovitosti, ki jih določi zadevna država članica v skladu s členom 4 Direktive 2010/31/EU. Izračuna se 3-odstotna stopnja skupne tlorisne površine stavb s skupno tlorisno površino več kot 250 m² v lasti javnih organov zadevne države članice, ki 1. januarja posameznega leta ne izpolnjujejo nacionalnih minimalnih zahtev glede energetske učinkovitosti, določenih v skladu s členom 4 Direktive 2010/31/EU.

Verjetno ni treba opozarjati, da neizpolnjevanju zahtev EU sledijo finančne kazni.

Pri izobraževanju se je vsaj za silo gornja problematika celovito obravnavala v okviru enega predmeta na UL FGG, ki pa je bil, ob bolonjski prenovi v okviru študijskega programa gradbeništvo, odstranjen iz obveznega programa. Trenutno res poteka na tej fakulteti

magistrski študijski programa stavbarstvo, kjer je problematika celovito zajeta. Zaradi različnih ovir se je lani začetni študij zakasnil za vsaj dve leti, v šolskem letu 2012/2013 pa študij ni bil razpisan. Na žalost lahko ponovno ugotovimo le, da Slovenija na prihajajoče naloge ni pripravljena. Ne nazadnje je glede na dogajanja na UL FGG vprašanje, kdo bo zagotovil kakovostno strokovno podporo na ravni projektiranja med

drugim tudi energetske učinkovite stavbe in njihove izvedbe, za aktivnosti, potrebne za realizacijo zahtev iz obeh direktiv in uredb, če tega področja ne bo v učnem programu in se na tak način fakulteta odpoveduje enemu najbolj perečih problemskih področij gradbeništva. Področja celovite učinkovitosti stavb in drugih gradbenih objektov je določeno v Uredbi 305/2011, kjer je poudarjeno, da so

države sprejele ne le določbe, ki se nanašajo na varnost stavb in drugih gradbenih objektov, ampak tudi na zdravje, trajnost, varčevanje z energijo, varstvo okolja ter na gospodarske in druge pomembne vidike javnega interesa (točka 4). To so vsebine, ki jih zajema magistrski študijski programa stavbarstvo, katerega izvedba je vsako leto odvisna od razporeditve »demokratske« večine na UL FGG.

6 • LITERATURA

- Ahčin, M., Primerjava merjene in računске porabe toplote za ogrevanje v večstanovanjskih stavbah na Jesenicah, diplomska naloga, UL FGG, 2013.
- DEU COM 2011/0370, Direktiva o energetske učinkovitosti ter razveljavitvi direktiv 2004/8/ES in 2006/32/ES, povzeto po: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0370:FIN:SL:PDF>, dostop 19. 10. 2012.
- DEUS 2010/31/EU, Direktiva o energetske učinkovitosti stavb, povzeto po: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:SL:PDF>, dostop 10. 1. 2012.
- DGP 89/106/EEC, Direktiva o približevanju zakonov in drugih predpisov držav članic, ki se nanašajo na gradbene proizvode, povzeto po: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=DD:13:09:31989L0106:SL:PDF>, dostop 10. 1. 2012.
- Fibran NORD, d. o. o., ArchiMAID – v.2.1.105.0 (Build 2.1.4484.35674), 2012.
- KnaufInsulation, d. o. o., Energija 2010 – v.3.8.5.0, 2012.
- Krainer, A., Perdan, R., Jereb, S., TOST-1, Program za izračun energetske bilance stavbe po Pravilniku o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, upoštevajoč EN 832 in EN ISO 13790, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente, UL FGG, 2008.
- Krainer, A., Perdan, R., TOST, Program za izračun energetske bilance stavbe po Pravilniku o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, PURES2010, upoštevajoč SIST EN ISO 13790 in TSG-1-004:2010, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente, UL FGG, 2012.
- Pajk, L., Miko, B., Poročilo o opravljenih vajah pri predmetu zgradba, okolje, energija II., arhiv Katedre za stavbe in konstrukcijske elemente, UL FGG, 2012.
- PURES 2010, Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah, Uradni list Republike Slovenije, št. 52, 2010.
- SIST EN ISO 13790, 2008 SIST EN ISO 13790:2008, Energijske lastnosti stavb, Račun rabe energije za ogrevanje in hlajenje prostorov, International Organization for Standardization, Ženeva, 2008.
- Stritih, U., Oman, M., Butala, V., Primerjava izračunov letne rabe energije za stanovanjsko hišo, EGES, I. 15, št. 4, 20–23, 2011.
- Šestan, P., Primerjava delovanja programskih orodij za izračun porabe energije v stavbah: diplomska naloga, UL FGG, 2012.
- TSG-1-004, Tehnična smernica za graditev TSG-1-004, Učinkovita raba energije, povzeto po: http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/zakonodaja/prostor/graditev/TSG-01-004_2010.pdf, dostop 30. 11. 2011.
- Uredba št. 305/2011 o določitvi usklajenih pogojev za trženje gradbenih proizvodov in razveljavitvi Direktive Sveta 89/106/EGS, povzeto po: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:088:0005:0043:SL:PDF>, dostop 10. 1. 2012.
- URSA Slovenija, d. o. o., Gradbena fizika URSA 4 – v.4.0.0.61, 2012.
- Žvab, G., Analiza porabe energije za ogrevanje v večstanovanjski stavbi, diplomska naloga, UL FGG, 2012.

DVIŽNI MOST ZA PEŠCE V GDANSKU (POLJSKA) PRVONAGRAJENA NATEČAJNA REŠITEV DRAW FOOTBRIDGE IN GDANSK (POLAND) WINNING COMPETITION DESIGN

Rok Mlakar, univ. dipl. inž. grad.
Viktor Markelj, univ. dipl. inž. grad.
Inženirski biro Ponting, d. o. o., Maribor

Strokovni članek
UDK 624.21(438)

Povzetek | V Gdanku na Poljskem so v drugi polovici leta 2012 izpeljali anonimni mednarodni arhitekturno-konstruktivski projekt natečaj za zasnovano in gradnjo novega dviznega mostu za pešce. Most bo preko enega od kanalov reke Motlawe povezoval staro mestno jedro in otok Olowianko. Strokovna žirija je v začetku novembra v konkurenci 68 prispelih rešitev zmago in prvo nagrado podelila slovenski projektantski družbi Ponting, d. o. o., iz Maribora. V prispevku je predstavljena zmagovalna rešitev za novi dvizni most, ki bo v središču Gdanska zgrajen predvidoma do konca leta 2014. Vrednost naložbe je ocenjena na dobre tri milijone evrov, slovenskim projektantom pa bo zaupana tudi izdelava nadaljnje projektne dokumentacije.

Ključne besede: Gdansk, natečaj, dvizni most za pešce

Summary | A design competition for a new draw footbridge over Motlawa River channel, connecting the old city center with Olowianka Island, was carried out in the second half of 2012 in Gdansk, Poland. In early November 2012, the jury awarded the first prize (out of 68 submitted projects) to the structural engineering company Ponting d.o.o. from Maribor. This paper presents the winning design of the new draw footbridge to be built in center of Gdansk by the end of the year 2014. Total costs are estimated to just over 3 million euros and Slovenian bridge engineers will be contracted to provide project documentation for the design and construction stages.

Keywords: Gdansk, competition, draw footbridge

1 • UVOD

9. novembra 2012 so v Gdanku na Poljskem objavili zmagovalca mednarodnega arhitekturno-konstruktivskega projektne natečaja za zasnovano in gradnjo novega dviznega mostu za pešce, ki bo preko reke Motlawe povezoval staro mestno jedro in otok Olowianko. Strokovna žirija je v konkurenci 68 prispelih rešitev zmago in prvo nagrado podelila slo-

venski projektantski družbi Ponting, d. o. o., iz Maribora. Natečaj, razpisan maja 2012, je potekal dvostopenjsko. Na prvi stopnji, v predkvalifikaciji, je organizator nadzoroval strokovno, pravno in finančno sposobnost prijavljenih (izbor udeležencev), na drugi stopnji pa je potekalo ocenjevanje izdelanih in oddanih anonimnih natečajnih rešitev.

Natečaja so se udeležili mnogi domači projektanti pa tudi priznani strokovnjaki za mostove iz vse Evrope pa tudi s sveta, ki so z raznolikostjo svojih rešitev raven kakovosti v konkurenci močno povečali.

Po predpisanem točkovanju je rešitev slovenskih inženirjev s svojo prepoznavno moderno obliko, enostavno, ekonomično in tehnično dodelano konstrukcijo ter prezentacijo natečajnega projekta odločno premagala vso konkurenco. Kot zmagovalci natečaja smo prejeli priznanje organizatorja in de-

narno nagrado, predvidoma bomo izdelali tudi vso nadaljnjo projektno dokumentacijo, vse do izgradnje mostu. Celoten natečaj od začetka do konca je bil od mesta Gdansk voden in izpeljan transparentno, zelo korektno in na izredno visokem nivoju. Natečaj je potekal v poljskem in angleškem jeziku.

Prvonagrajeni natečajni elaborat je avtorsko delo podjetja Ponting iz Maribora, pri projektu pa so sodelovali še La & Co, d. o. o., iz Maribora (strojna oprema in hidravlični pogon), Arhitektura, d. o. o., Bruto, d. o. o., iz Ljubljane (arhitektura in krajinska arhitektura) in Arhimedia, d. o. o., iz Slovenske Bistrice (vizualizacija).



Slika 1 • Računalniška simulacija mostu

2 • KONCEPT NOVEGA DVIŽNEGA MOSTU V GDANSKU

Most bo zgrajen v neposredni bližini kulturno in arheološko zaščitene staro mestnega jedra Gdanska, kar je pri zasnovi in oblikovanju zahtevalo ustrezen in spoštljiv pristop. Dvižni mostovi so pogosto videti kot stroji, zato smo oblikovanju mostne konstrukcije in umeščanju v prostor namenili veliko pozornosti. Novi most bo povezoval sprehajalno pot vzdolž kanala reke Motławe na strani starega mestnega jedra in otok Olowianka, kjer so umeščeni Baltska filharmonija z velikim parkiriščem, hotel in veslaški klub. Pozicija novega mostu je preiščljeno in strateško izbrana, saj v tem delu mesta ob številnih javnih in turističnih kapacitetah močno primanjkuje funkcionalnih povezav preko plovniških kanalov. Celotno širše območje ob lokaciji mostu je trenutno v pospešenem procesu obnove in revitalizacije.

Glede na projektne pogoje in zahteve naročnika, lokacijo mostu, funkcijo in celoten koncept nove premostitve smo se pri zasnovi mostu osredinili predvsem na naslednje kriterije:

- **preprosta in neposredna povezava obeh bregov**
Niveleta je izpeljana znotraj udobnih, simetričnih naklonov ($i_{MAX} = 6\%$) in neposredno povezuje oba bregova na obstoječih nivojih.
- **minimalni posegi v občutljive obstoječe vedute starega mestnega jedra**

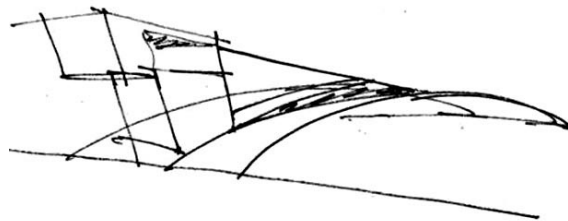


Slika 2 • Staro mestno jedro Gdanska, območje revitalizacije in lokacija mostu

Izbrali smo koncept enostranskega dvižnega mostu z zelo čisto in preprosto obliko z majhnim številom vidnih konstrukcijskih elementov ter brez za takšne mostove značilnih masivnih protiuteži in komplicirane strojne opreme. Strojna oprema, operacijska mehanizacija in kontrolna stavba so postavljene na otoku Olowianka, kar odločilno razbremenjuje značilne mestne vedute.

- **kulturnospomeniška in arheološka zaščita lokacije**

Upoštevani so vse zahteve in pogoji spomeniškega in arheološkega varstva. Oblika mostu posnema določene strukture v neposredni okolici in se kljub izredno moderni in prepoznavni obliki nemoteče vklaplja v obstoječe okolje.



Slika 3 • Oblika mostu v odnosu do značilnih obstoječih struktur

• **lahkoten in transparenten videz konstrukcije**
Izbira konstrukcijskega sistema, materialov in dvižnega mehanizma omogočajo minimalne dimenzije nosilne konstrukcije. K lahkotnemu in transparentnemu videzu mostu prispeva tudi premišljena izbira mostne opreme.

• **dodana vrednost mestne identitete in dadek izjemnemu urbanemu okolju**
Novi most bo s svojim videzom in jasnim sporočilom za prihodnost brez dvoma prispeval k novi prepoznavnosti mestnega središča in mesta, ki se želi izpostaviti na zemljevidu Evrope in sveta. Most bo po-

vezoval staro in novo, klasično in moderno in dal svobodi gibanja v Gdanku novo dimenzijo. Ne nazadnje je moto mesta ob baltski obali Poljske Dotik svobode.

• **ustvarjanje dinamičnega in živahnega javnega prostora**

Oblika mostu, izbrana mostna oprema in ureditev okolice ne ustvarjajo zgolj potrebne neposredne povezave, ampak v mestnem središču ustvarjajo prostor, kjer bodo ljudje lahko tudi postali, se srečevali, družili in skupaj občutili utrip mesta. Natečajni projekt je zajemal tudi ureditev obeh obalnih sprehajališč in parkirišča na otoku Olowianka med mostom in Baltsko filharmonijo.

• **hitro delovanje in preprosto vzdrževanje mostu**

Elektrohidravlični dvižni mehanizem in strojna oprema so izbrani na podlagi najnovejših spoznanj gradbenega in strojnega inženirstva na področju dvižnih mostov ter omogočajo dvig oziroma spust konstrukcije v zgolj dveh minutah.



Slika 4 • Natečajno ureditveno območje

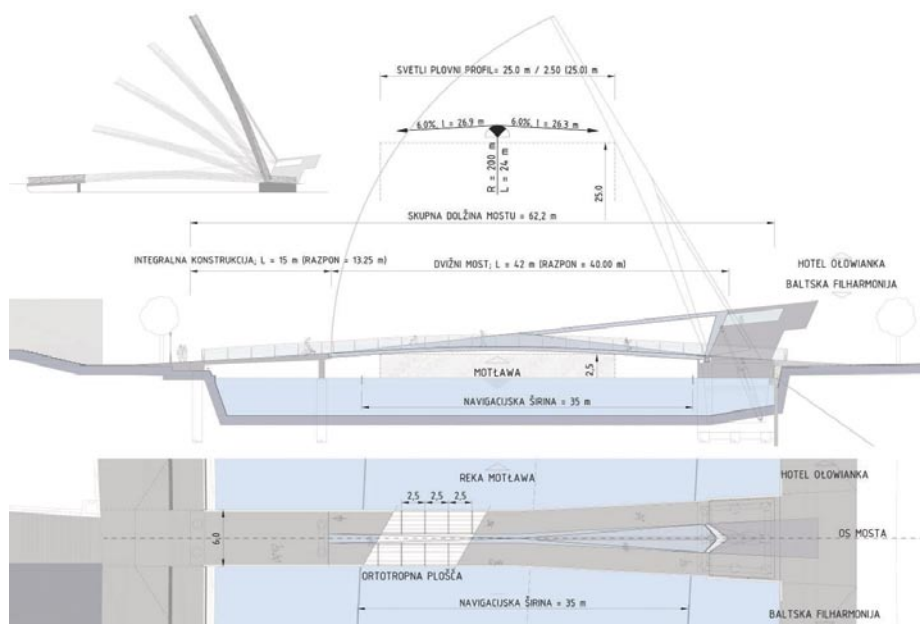


Slika 5 • Računalniške simulacije novega mostu

Skupna dolžina mostu med nabrežjem starega mestnega jedra in otokom Olowianka znaša 62,2 m. S konstrukcijskimi sistemi je most razdeljen na dva dela. Prvi, krajši del mostu na mestni strani je zasnovan kot armirano-betonska integralna konstrukcija z razponom 13,25 m. Prekladna konstrukcija na tem delu je ploščat AB-nosilec konstantnih širine in debeline. Steber v rečni strugi je oblikovan kot ovalna stena, temeljenje je izvedeno na pilotih. Takšne integralne konstrukcije so običajne in prav nič posebnega v mostogradnji, zato bomo na tem mestu izpustili podrobnejši opis tega dela mostu.

Drugi, daljši del mostu je pomikčen, dvižen s hidravličnim mehanizmom in omogoča rečni promet, ki je karakterističen za mesto Gdansk. Dvižni most je zasnovan kot enostranski dvižni most (bascule bridge), ki je zaradi zanesljivosti, preprostega vzdrževanja in hitrega dvigovanja oziroma spuščanja najpogostejša oblika dvižnih mostov. Razpon tega dela mostu med stebrom na mestni strani in kesonastim opornikom v strugi pred otokom je 40 m. Vrtilišče oziroma os (trunion) je postavljena

na zunanjem robu kesonastega opornika. V notranjosti opornika, pod vodno gladino, sta v dveh nivojih nameščena vsa strojna oprema in elektrohidravlični dvižni mehanizem. Nad opornikom je v podaljšku mostne konstrukcije postavljena kontrolna stavba. Tudi na tem delu mostu je temeljenje izvedeno na pilotih.



Slika 6 • Pregledna risba mostu

3 • KONSTRUKCIJA DVIŽNEGA MOSTU

Posebnost in ena glavnih značilnosti naše rešitve je, da most v zaprtem, spuščnem stanju prenaša obtežbe skoraj v celoti kot preprost prostoležeči nosilec, takšna je tudi njegova oblika. V fazi dvigovanja oziroma spuščanja konstrukcija deluje podobno kot nosilec s poševno zatego. Razpon in manjša teža konstrukcije omogočata dvigovanje in spuščanje mostu brez dodatnih protiuteži, ki večinoma kvarijo videz takšnih mostov, konstrukcija pa je še bolj preprosta.

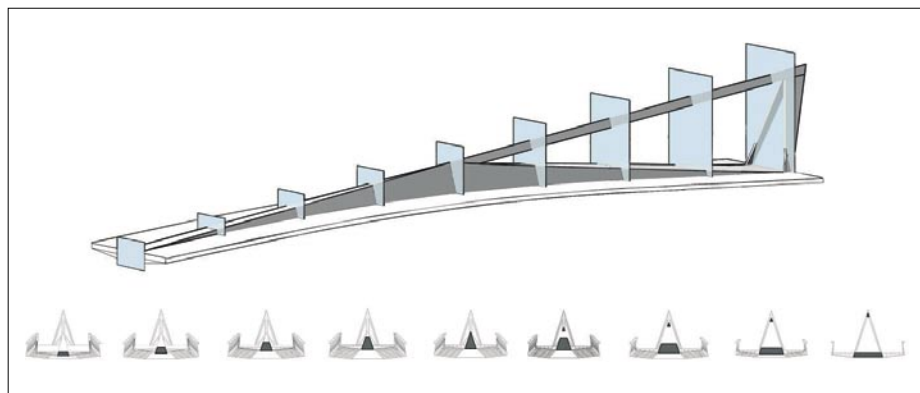
• primarni nosilec

Zaradi omejitev konstrukcijske višine (svetli plovni profil v zaprtem stanju) smo izbrali posebno obliko glavnega nosilca. Nadvišan trikotno-trapezni, škatlasti, torzijski jekleni nosilec spremenljive višine in spremenljive širine se prilagaja niveletu in spremenljivi tlorisni geometriji mostu. Razpon centralno postavljenega nosilca znaša 40 metrov, največja konstrukcijska višina pa 1,90 m (L/21), delno nad pohodno površino (od 0 do 1,50 m) in delno pod njo (konstantno po celotni dolžini 0,40 m). Hojnice na tem delu mostu so v nasprotju z integralnimi konstrukcijami, kjer je širina mostu tudi konstantna, postavljene na obeh straneh primarnega nosilca. Svetla širina vsake hojnice znaša po projektnih pogojih 2,30 m, tako da se širina mostu v odnosu

do širine glavnega nosilca spreminja od 6,00 m do 9,00 m. Nadvišanje nosilca od sredine razpona do opornika ima poleg oblikovne funkcije tudi funkcijo natezne vezi (zatege) – povezave z dvižnim mehanizmom.

• ortotropna plošča

Pohodna površina mostu – ortotropna jeklena plošča debeline 10 mm z vzdolžnimi rebri in prečnimi nosilci – je hkrati tudi del nosilnega sistema. Prečni nosilci so postavljeni v razmiku 2,50 m, so vsi enaki in se v podaljšku nad vzdolžnim veznim nosilcem nadaljujejo v stebriček ograje. Vzdolžna rebra so postavljena v razmaku 45 cm.



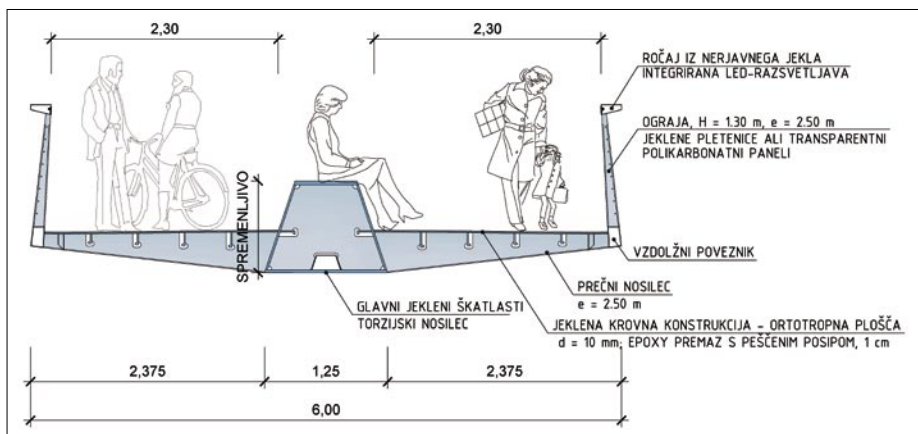
Slika 7 • Prerezi nosilne konstrukcije

Celotna jeklena konstrukcija dvižnega mostu bo izdelana iz standardnih konstrukcijskih jekel S355 oziroma S460, zvarjena v delavnici in sestavljena na kraju samem.

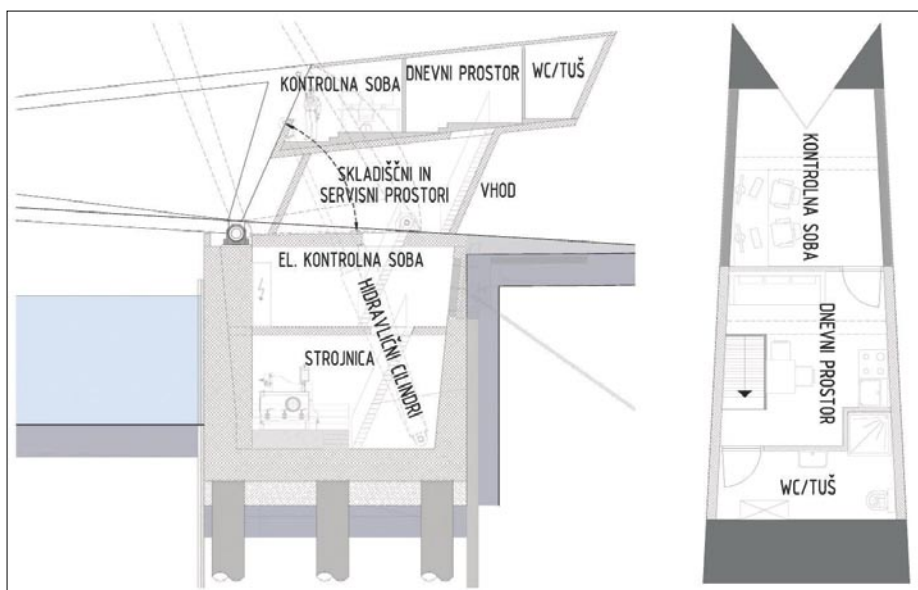
• vrtišče in dvižni mehanizem

Krajni prečnik nad kesonastim opornikom je obenem tudi horizontalna os rotacije mosta (trunion). Ležaje v osi rotacije za takšen tip dvižnega mostu je danes mogoče izdelati kot popolnoma trajne oziroma neobrabne, ki ne potrebujejo vzdrževanja v celotni projektirani eksploatacijski dobi.

Most je opremljen z elektrohidravličnim dvižnim mehanizmom, ki je sestavljen iz hidravličnega pogonskega agregata, dveh glavnih hidravličnih cilindrov, zaklepne cilindra za zaklep mostu v dvignjeni poziciji, elektronske opreme pogona za manevriranje



Slika 8 • Karakteristični prečni prerez mostu



Slika 9 • Prerez opornika in tloris zgornje etaže kontrolne stavbe



Slika 10 • Pogled na most s perspektive uporabnika

in varovanje hidravličnega pogona ter opreme za obratovanje in nadzor mostu. Operacijski čas za dvig oziroma spust konstrukcije znaša dve minuti pri normalnem obratovanju oziroma 15 minut v varnostnem načinu.

• kesonasti opornik in kontrolna stavba

Pred otokom Olowianka je postavljen masivnejši kesonasti opornik, ki je v rečno dno temeljen s skupino uvrtnih pilotov. Keson na tem mestu pokriva celotno mostno površino v dimenzijah B/D/H = ca. 7,00/8,00/8,00 m. V notranjosti kesona sta v dveh etažah strojnica in elektrokontrolna soba, prav tako je tam večina elektrohidravličnega dviznega mehanizma. Strojnica je neposredno povezana s kontrolno stavbo nad kesonom, ki je postavljena v osi mostu in ima prav tako dve etaži. V prvi etaži kontrolne stavbe so manjši skladiščni in delavniški prostori za vzdrževalce, v zgornji etaži pa so kontrolna soba, dnevni prostor z manjšo kuhinjo, garderobe in sanitarni prostori za vzdrževalce in operaterje. Kontrolna stavba ima obliko podaljška mostu in trikotni izsek, znotraj katerega rotira natezna vez (zatega), nadvišanje v zaključku glavnega nosilca.

• oprema mostu

Ker bo novi most praktično v središču mesta, smo posebno pozornost namenili opremitvi mostu in detajlom. V natečajnem elaboratu predlagamo dve možnosti izvedbe ograj na mostu; ograjo s horizontalnim polnilom iz prednapetih RF-jeklenih pletenic oziroma ograjo iz laminiranega stekla. Obe vrsti ograj sta preizkušeni na obstoječih objektih, popolnoma transparentni in omogočata panoramske poglede z mostu in ne motita pogledov na most. Most bo razsvetljen z linijsko LED-razsvetljavo, ki bo vgrajena v ročaj ograje in bo razsvetljevala le pohodno površino, kar zmanjšuje svetlobno onesnaženost okolice in z vodne gladine omogoča nemotene poglede na nočno nebo.

Oblika in pozicija glavnega nosilca v odnosu s pohodno površino predstavljata neke vrste urbano pohišstvo, vzdolžno klop, kjer lahko ljudje posedajo ali celo poležavajo, počivajo in uživajo v vedutah starega mestnega jedra.

4 • SKLEP

V Sloveniji nimamo veliko dvižnih mostov, ti, ki jih imamo, pa so po večini manjši in ne delujejo neprestano ali pa sploh ne. Razlog za to je, da v Sloveniji nimamo razvitega rečnega prometa, vsaj ne v tolikšnem obsegu, da bi potrebovali takšne konstrukcije. Naše reke so zajezene in regulirane, tako da se večina rečnega plovnega prometa odvija znotraj mestnih središč Ljubljane in Maribora, kjer pa zaradi topologije terena in intenzitete plovnega prometa ni potreb po dvižnih mostovih.

Kljub zgoraj navedenemu smo slovenski projektanti dokazali, da znamo projektirati tudi

dvižne mostove, prav tako njihove mehanizme. Zmaga na natečaju v Gdanku je veliko priznanje za celotno slovensko inženirsko stroko. Za nas, projektante, udeležene pri tem projektu, pa je ta zmaga nova potrditev in korak naprej pri uveljavljanju v izredno zahtevnem, ekskluzivnem in močno konkurenčnem mednarodnem prostoru.

Skoraj popolna blokada vseh državnih investicij, propad gradbenega izvajalskega sektorja in nedelovanje pravne države so v Sloveniji tudi na trgu inženirskoprojektantskih storitev, razvoja in ustvarjanja novih znanj ustvarili izredno

neugodno, skoraj nevzdržno delovno okolje. Iskanje dela in zaslužka zunaj meja naše obubožane Slovenije je za nas, projektante zahtevnih inženirskih konstrukcij, ta trenutek več ali manj edina možnost za preživetje. Pot do dela v tujini pa je vse prej kot lahka, saj je poleg zaprtosti trga zaradi globalne krize in ščitenja lastnih kadrov tam prisotna tudi izredno ostra konkurenca.

Ta trenutek so znanje, izkušnje in trdo delo edini izhod iz situacije, v kateri smo se znašli, čeprav se zdi, da so ideali moderne slovenske družbe povsem drugačni. Inženirji vse to imamo in verjamemo, da bomo tudi tokrat našli pot v boljšo, svetlejšo prihodnost. Z zmago na natečaju v Gdanku smo dokazali, da želimo in zmoremo.



Slika 11 • Most v dvignjeni poziciji



Slika 12 • Pogled na most s starega mestnega jedra

5 • LITERATURA

Rules of the competition, Part A, Competition requirements, Urząd Miejski w Gdańsku, 2012.

Rules of the competition, Part B, Design background materials, Urząd Miejski w Gdańsku, 2012.

The Draw Footbridge over the Motława River in Gdansk, Competition Entry 263013, natečajni elaborat, PONTING, inženirski biro, d. o. o., 2012.

Results of the competition and information about evaluation, Urząd Miejski w Gdańsku, Biuro zamowien publicznych, 2012.

KOLEDAR PRIREDITEV

2.-4.5.2013

SEI/ASCE Structures 2013 Congress

Pittsburgh, Pennsylvania, ZDA

<http://content.asce.org/conferences/structures2013/index.html>

6.-8.5.2013

International IABSE Spring Conference

Assessment, Upgrading and Refurbishment of Infrastructures

Rotterdam, Nizozemska

www.iabse2013rotterdam.nl

17.-19.5.2013

IC-SDCI

International Conference on Sustainable Development of Critical Infrastructure (Co-sponsored by IABSE)

Shanghai, Kitajska

<http://iem.sjtu.edu.cn/IC-SDCI/en/>

20.-22.5.2013

7th National Seismic Conference on Bridges & Highways

Oakland, Kalifornija, ZDA

www.7nsc.info

23.5.2013

ICE Flooding 2013

Developing Flood Resilient Communities

London, Anglija

www.ice-conferences.com/Upcoming-events/Flooding

27.-29.5.2013

1st International Conference on Concrete Sustainability

Tokyo, Japonska

www.jci-iccs13.jp

12.-14.6.2013

COMPDYN 2013

4th International Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering

Otok Kos, Grčija

<http://compdyn2013.org/>

26.-28.6.2013

FRPRCS11

11th International Symposium on Fibre Reinforced Polymers for Reinforced Concrete Structures

Guimares, Portugalska

www.frprcs11.uminho.pt/Default.aspx?tabindex=1&tabid=1&lang=en-US&pageid=29

24.-26.7.2013

ICSA 2013

2nd International Conference on Structures and Architecture

Guimares, Portugalska

www.icsa2013.arquitectura.uminho.pt

23.9.2013

CONSEC13

7th International Conference on Concrete under Severe Conditions

Nanjing, Kitajska

www.consec13.com

24.-27.9.2013

26th IABSE Symposium

Long Span Bridge and Roof Structures – Development, Design and Implementation

Kolkata, Indija

www.bridgeweb.com/MemberPages/Article.aspx?typeid=5&id=2443

25.-27.9.2013

IWCS 2013

Third International Workshop on Concrete Spalling due to fire exposure

Pariz, Francija

<http://mfpa-leipzig.de/index.php?id=64>

1.10.2013

Second International Symposium on UHPFRC

Marseille, Francija

www.afgc.asso.fr

16.10.2013

SLOCOLD 2013

Slovenski nacionalni komite za velike pregrade

Ljubljana, Slovenija

www.slocold.si/symp20years/index-forma.php

6.-9.11.2013

ECOMONDO 2013

17th International Trade Fair of Material & Energy Recovery and Sustainable Development

Rimini, Italija

<http://en.ecomondo.com/>

2.-6.6.2014

3rd World Landslide Forum "Landslide risk mitigation: Constructing a safe geo-environment"

Peking, Kitajska

www.wlf3.org

Rubriko ureja • **Jan Kristjan Juteršek**, ki sprejema predloge za objavo na e-naslov: mmsg@izs.si