





# 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, november 2016, letnik 65, str. 233-264

Izdajatelj:

**Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS)**, Karlovška 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 raziskovalno dejavnost RS, Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani, Fakultete za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo Univerze v Mariboru in Zavoda za gradbeništvo Slovenije**

Izdajateljski svet:

ZDGITS: **mag. Andrej Kerin**, predsednik  
**Dušan Jukič**  
**prof. dr. Matjaž Mikoš**  
IZS MSG: **Gorazd Humar**  
**Mojca Ravnikar Turk**  
**dr. Branko Zadnik**  
UL FGG: **izr. prof. dr. Sebastjan Bratina**  
UM FGPA: **doc. dr. Milan Kuhta**  
ZAG: **doc. dr. Matija Gams**

Glavni in odgovorni urednik:

**prof. dr. Janez Duhovnik**

Lektor:

**Jan Grabnar**

Lektorica angleških povzetkov:

**Romana Hudin**

Tajnica:

**Eva Okorn**

Oblikovalska zasnova:

**Mateja Goršič**

Tehnično urejanje, prelom in tisk:

**Kočevski tisk**

Naklada:

**960 tiskanih izvodov**  
**3000 naročnikov elektronske verzije**

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 23,16 EUR; za študente in upokojene 9,27 EUR; za družbe, ustanove in samostojne podjetnike 171,36 EUR za en izvod revije; za naročnike iz tujine 80,00 EUR. V ceni je vštete DDV.

Poslovni račun ZDGITS pri NLB Ljubljana:  
SI56 0201 7001 5398 955

## 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 presledki 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. Poglavlja in razdelki so lahko oštevilčeni. Poglavlja 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

# Vsebina • Contents

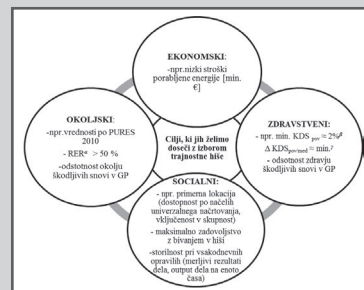
## Članki • Papers

stran **234**

Teja Török, univ. dipl. inž. grad.  
doc. dr. Mitja Košir, univ. dipl. inž. arh.  
doc. dr. Mateja Dovjak, dipl. san. inž.

### **CELOVITO OCENJEVANJE TRAJNOSTNIH VIDIKOV GRADNJE NA PRIMERU ENODRUŽINSKE HIŠE**

HOLISTIC ASSESSMENT OF SUSTAINABILITY ASPECTS ON A CASE OF SINGLE FAMILY DETACHED HOUSE

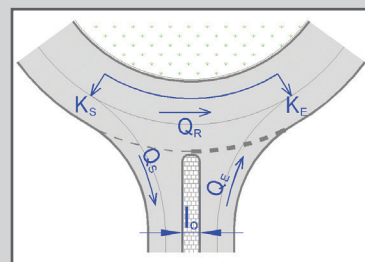


stran **253**

mag. Simona Perme, univ. dipl. inž. grad.  
doc. dr. Tomaž Maher, univ. dipl. inž. grad.

### **NOVA METODA ZA IZRAČUN KAPACITETE KROŽNEGA KRIŽIŠČA Z UPOŠTEVANJEM VPLIVA IZVOZNEGA TOKA**

NEW METHOD FOR THE CALCULATION OF ROUNDABOUT CAPACITY CONSIDERING EXITING FLOW IMPACT



## Vabilo na strokovno srečanje

stran **261**  
Prvo obvestilo



## Obvestilo ZDGITS

stran **264**

### **PRIPRAVLJALNI SEMINARJI IN IZPITNI ROKI ZA STROKOVNE IZPITE ZA GRADBENO STROKO V LETU 2017**

## Novi diplomanti

Eva Okorn

## Koledar prireditev

Eva Okorn

Slika na naslovnici: 2. nagrada na fotografskem natečaju IZS 2016:  
ČRNA LUKNJA (Termoelektrarna Trbovlje), foto: Simon Rak

# CELOVITO OCENJEVANJE TRAJNOSTNIH VIDIKOV GRADNJE NA PRIMERU ENODRUŽINSKE HIŠE

## HOLISTIC ASSESSMENT OF SUSTAINABILITY ASPECTS ON A CASE OF SINGLE FAMILY DETACHED HOUSE

**Teja Török, univ. dipl. inž. grad.**

teja.torok@gmail.com

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

mitja.kosir@fgg.uni-lj.si

**doc. dr. Mateja Dovjak, dipl. san. inž.**

mateja.dovjak@fgg.uni-lj.si

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo,

Jamova cesta 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

**Znanstveni članek**

UDK 502.131.1:728.3(497.4)

**Povzetek** | Termin trajnostni razvoj je znan že od leta 1987 in pomeni uravnoteženje štirih vidikov razvoja: ekonomskega, okoljskega, socialnega in zdravstvenega. Ti vidiki morajo biti enakovredno zastopani tudi v trajnostnem gradbeništvu. Namen članka je na konkretnem primeru enodružinske hiše slovenskega proizvajalca montažnih hiš preveriti, ali so enakovredno obravnavani vsi štirje vidiki trajnosti. Za ocenjevanje trajnostnih vidikov gradnje smo uporabili že leta 2013 razvito metodo avtorjev Mateje Dovjak in Aleša Krainerja, ki sledi osnovni morfologiji inženirskega načrtovanja. Ocenjevanje trajnostnih vidikov je potekalo po korakih: korak 1 – analiza dejanskega stanja, korak 2 – definiranje trajnostnih kazalnikov, korak 3 – definiranje trajnostnih ciljev, korak 4 – analiza in končna ocena. Na osnovi opravljene analize dejanskega stanja smo izbrali konkretno hišo. Pri pregledu obstoječih virov in literature smo ugotovili, da je zdravstveni vidik pri ocenjevanju trajnosti večinoma izključen. Rezultati koraka 2 so definirani kazalniki pri energetski učinkovitosti objekta, vplivu gradbenih proizvodov na okolje, stroških za ogrevanje in razsvetljavo, dnevnem osvetljevanju prostorov in možnem vplivu gradbenih proizvodov na zdravje. Za vsak kriterij smo določili mejne vrednosti in merljive cilje (korak 3). Rezultati koraka 4, analiza in končna ocena trajnosti, so pokazali, da analizirani primer enodružinske hiše hkrati ne upošteva vseh štirih vidikov trajnostnega razvoja, saj močna vidika okolja in ekonomije zasenčita zdravstvenega. Z namenom celovitega ocenjevanja trajnostnih vidikov gradnje pričujoča raziskava vpeljuje zdravstveni vidik, njegove kazalnike in cilje. Predstavljeno oceno je mogoče uporabiti za načrtovanje gradbenih proizvodov kot tudi stavb v celoti, od faze načrtovanja do odpadka oziroma njegove ponovne uporabe. Pri trajnostni gradnji je v vseh fazah ključno multidisciplinarno sodelovanje.

Ključne besede: trajnostno, vidiki, kazalniki, ocena, enodružinska hiša

**Summary** | The term sustainable development has been known since 1987 and means balancing four aspects of development: economic, environmental, social and health. These aspects should be equally represented in the design of sustainable buildings. The purpose of this article is to check on the case of single-family prefabricated house by Slovenian manufacturer, whether are all four aspects of sustainability are treated equally. To assess the sustainable aspects of construction we used a method developed by Mateja Dovjak and Aleš Krainer in 2013, which follows the basic morphology of engi-

neering design. Assessment of sustainable aspects was made step by step: Step 1 - analysis of actual conditions, step 2 - defining sustainable indicators Step 3 - defining sustainable goals, and Step 4 - analysis and final evaluation. Based on the analysis of actual conditions we chose one house. After reviewing existing sources and literature, we found that the health aspect in the sustainability assessment is mainly excluded. The results of step 2 are defined indicators in building energy efficiency, the impact of construction products on the environment, the cost of heating and lighting, day lighting of the areas and the potential impact of construction products on health. For each criterion we determined limit values and measurable goals (step 3). The results of step 4 showed that not all four aspects of sustainable development are treated equally, because the environmental and economic aspects override health. With the aim of comprehensive assessment of the sustainability aspects of design, this study introduces the health aspect, its indicators and goals. The presented assessment can be used for the design of construction products and buildings, from the design to the waste and its re-use. In sustainable design multidisciplinary collaboration is crucial in all phases.

Keywords: sustainability, aspects, indicators, assessment, single-family house

## 1 • UVOD

Izraz trajnost (ang. *sustainability*) se danes izredno široko uporablja v medijih, v poljudnem kot tudi strokovnem besednjaku. Beseda je največkrat uporabljena v povezavi s prometom, energijo, turizmom ter z gradnjo in gradbenimi proizvodi (v nadaljevanju GP) (Uredba, 2011). Prav tako se izraz trajnostno (ang. *sustainable*) pogosto napačno interpretira in preširoko uporablja. Namreč vse, kar izpolnjuje vsaj eno od zahtev iz varstva okolja, vidikov energetske učinkovitosti ali zagotavljanja nizkih finančnih stroškov, je opredeljeno za trajnostno. In ta opredelitev je nepopolna ali celo napačna.

Prepreka v slovenskem jeziku se pojavi že pri prevodu besede trajnost iz angleškega jezika, ki jo uporabljamo tako za angleški izraz *sustainability* kot tudi za *durability*. Trajnost namreč ni samo trajno. Za primer navedimo starejšo hišo. Ker nam kot posamezniku ta ne odgovarja več, čeprav je lahko dobro zgrajena in tako »trajna«, jo bomo porušili in s tem povzročili odpadke, ki bodo imeli okoljske in zdravstvene vplive. Ker bomo potrebovali prebivališče, bomo zgradili novo hišo z novimi GP, pri nastanku katerih bomo ponovno vplivali na okolje in sebi povzročili ekonomski primanjkljaj. Hkrati lahko z nepremišljeno gradnjo v že obstoječem tradicionalnem okolju potencialno negativno vplivamo na prostor in s tem na družbeni vidik. In to kot celota je trajnost, katere le del pa je beseda trajno.

Poleg besede trajnost (za oba angleška izraza *sustainability* in *durability*) se pojavlja še beseda trajnostnost. Ta se v angleškem izrazoslovju uporablja enako kot trajnost, in sicer *sustainability*. Besedi *trajnostnost* in *trajnostnostni* se v Slovarju slovenskega knjižnega jezika, Slovenskem pravopisu in Slovarju novejšega besedja slovenskega jezika ne pojavita, je pa zato v Slovarju novejšega besedja slovenskega jezika pridevnik *trajnostni* kot podiztočnica *trajnostnega razvoja*, kjer je razložena kot razvojna usmeritev, ki omogoča zadovoljevanje potreb sedanjih generacij ljudi na način, ki ne ogroža možnosti zadovoljevanja potreb prihodnjih generacij (ISJFR, 2016). V SSKJ 2 najdemo pod iztočnicami *ekošola*, *razvoj*, *sonaraven*, *trajnosten* izpeljano zvezo: **trajnostni razvoj**, iztočnica pa je tudi trajnosten. Zato v članku uporabljamo termine s pridevnikom trajnosten (npr. trajnostna stavba).

V poročilu Brundtlandine komisije, uradno znane kot Svetovna komisija za okolje in razvoj (WCED), je bila leta 1987 na pobudo Združenih narodov zapisana prva definicija trajnostnega razvoja, in sicer kot »*zadovoljitev potreb sedanjih generacij tako, da niso ogrožene možnosti prihodnjih generacij, da zadovoljijo svoje potrebe*« (WCED, 1987).

Na konferenci Združenih narodov o okolju in razvoju v Riu de Janeiru leta 1992 je bilo predstavljeno, da trajnostni razvoj temelji na

štirih vidikih: ekonomskem, okoljskem, socialnem in zdravstvenem, ki morajo biti med seboj uravnoteženi (Rio, 1992). Večina uveljavljenih definicij trajnostnega razvoja (ang. *sustainable development*) enači socialni vidik z zdravstvenim oz. družbeni vidik z zdravstvenim. To ni v skladu z definicijo Brundtlandine komisije (WCED, 1987) in definicijo Združenih narodov o okolju in razvoju (Rio, 1992), saj vidika nista enakovredno obravnavana. Če pogledamo samo spletno stran – prosto enciklopedijo – Wikipedia, kjer tako pod iskalnim nizom *sustainability* (Wikipedia, 2015) kot *sustainable development* (Wikipedia, 2015) najdemo zdravstveni vidik skrit v drugih vidikih in nikjer izpostavljen kot samostojen. Prav tako tudi metode za certificiranje stavb ((LEED, 2010), (CASBEE, 2015), (BREEAM, 2015), (GBTool, 2005)) dajejo največji poudarek okoljskemu vidiku (osredotočajo se predvsem na energijo, vodo, onesnaževanje zraka, odpadke, promet, materiale itd.), nato sledi ekonomski vidik, socialnega in zdravstvenega pa združijo kar v eno skupino in ga skorajda čisto zanemarijo. Nekatere izmed navedenih metod celo enačijo socialni in ekonomski vidik (Hikmat, 2009). Uravnoteženje vseh štirih vidikov se mora vzpostaviti tudi v pomenu besede trajnostnega gradbeništva in s tem posledično tudi besede trajnostna stavba. Trajnostna stavba pomeni, da v času njenega načrtovanja, gradnje, uporabe, vzdrževanja pa vse do porušitve ravnamo okolju prijazno, cenovno ugodno in da uporabniku zagotovimo zdravo (telesno, duševno, socialno blagostanje) in udobno bivalno okolje. Pomembne kriterije za oblikova-

nje trajnostne stavbe predstavlja tudi Uredba 305/2011 (Uredba, 2011), ki poleg osnovnih zahtev v gradbeništvu, od varnosti do nosilnosti stavb, daje pomembno vlogo tudi zahtevam z vidika varčevanja z energijo, ohranjanja okolja, zagotavljanja zdravja ljudi in trajnostne rabe naravnih virov. Uredba med drugim določa, da se morajo vse zahteve nanašati na stavbo v celotni življenjski dobi. Trajnostno gradnjo sooblikujejo mnogi deležniki: gradbeniki, arhitekti, urbanisti, strokovnjaki javnega zdravja, ekonomisti, zakonodajalci in še veliko drugih, zato je zelo pomembno medsebojno sodelovanje (Török, 2013).

Z raziskavo smo na specifičnem primeru enodružinske hiše preučili, ali slovensko

gradbeništvu stremi k implementaciji vseh štirih vidikov trajnosti in k njihovi enakovredni obravnavi. Raziskava temelji na uporabi že razvite metode avtorjev Mateje Dovjak in Aleša Krainerja (Dovjak, 2013) za načrtovanje trajnostnih konceptov stavb. Metoda sledi osnovam inženirskega načrtovanja po (Asimov, 1962) in vpeljuje ocenjevanje po korakih. Aplikacija metode za oceno dnevnega osvetljevanja v stavbah je bila prikazana v članku (Dovjak, 2014), v katerem so ocenjeni okoljski, ekonomski, socialni in zdravstveni vidiki dnevnega osvetljevanja v stavbah. Ocena trajnostnih vidikov na konkretnem primeru hiše še ni bila opravljena. S tem namenom smo izvedli analizo hkratnega upoštevanja okoljskega, ekonomskega

in zdravstvenega vidika trajnostnega razvoja na primeru enodružinske hiše slovenskega proizvajalca montažnih hiš. Socialni vidik smo izključili iz raziskave, ker gre za generični primer stavbe, ki nima definirane konkretnega lokalnega socialnega okolja, v katerem bi lahko ocenili socialne kriterije.

V okviru obravnavanih vidikov trajnostnega razvoja smo se osredotočili na obravnavo naslednjih kriterijev, ki se nanašajo na:

- energetska učinkovitost stavbe,
- okoljski vpliv GP,
- dnevno svetlobo v bivalnem okolju,
- vpliv GP na zdravje.

Rezultati raziskave so celovita ocena trajnostnih vidikov gradnje.

## 2 • CELOVITA OCENA TRAJNOSTNIH VIDIKOV

Z namenom članka, da bi na konkretnem primeru enodružinske hiše slovenskega proizvajalca montažnih hiš preverili, ali so enakovredno obravnavani vsi štirje vidiki trajnosti, smo uporabili (1) razvito metodo za načrtovanje trajnostnih konceptov stavb (Dovjak, 2013) in (2) metodo za evaluacijo trajnostnih vidikov dnevnega svetlobe v stavbah (Dovjak, 2014). Prva sledi osnovnim načelom inženirskega načrtovanja po (Asimov, 1962)

in sestoji iz štirih korakov: 1. korak – analiza dejanskega stanja, 2. korak – definicija trajnostnih kazalnikov, 3. korak – definicija trajnostnih ciljev, 4. korak – analiza in končna ocena. Metodo je mogoče uporabiti na nivoju načrtovanja tako GP kot tudi stavbe v celoti. Zajame celotno življenjsko dobo, od faze načrtovanja do odpadka/ponovne rabe. Njen cilj je doseg zaprtega socioekonomskega proizvodno-potrošnega

kroga. Uporabijo jo lahko vsi deležniki v celotnem procesu graditve, pri čemer je treba vedno uravnovežiti vse štiri vidike razvoja. Pogosto se namreč zgodi, da ima en vidik prednost pred drugimi, kot je na primer ekonomski vidik, pozabi pa se na zdravstvenega. Metoda še ni bila uporabljena na konkretnem primeru enodružinske hiše.

Rezultati celovite ocene trajnostnih vidikov bodo podani po korakih za posamezni trajnostni vidik. Novost raziskave je v tem, da so v oceno trajnostnih vidikov stavb vključeni zdravstveni vidik, njegovi kazalniki in cilji.

## 3 • REZULTATI CELOVITE OCENE TRAJNOSTNIH VIDIKOV

### 3.1 Rezultati koraka 1: Analiza dejanskega stanja

Pregled stanja z izborom stavbe smo opravili s spletnim iskalnikom Google. Na slovenskem tržišču smo opravili pregled stavb (hiš) z oznako trajnostna. S pomočjo več deset različnih iskalnih pojmov o izbrani temi smo prišli do zaključka, da nikjer ni pravilno oziroma popolnoma definirana trajnostna stavba/hiša. Večina rezultatov se je nanašala na imenovanje trajnostna samo zaradi izraza »lesena hiša« ali »nizkoenergijska hiša z rekuperacijo in zbiralniki deževnice« in podobno. Tako pravega in popolnega pomena trajnostne stavbe nismo zasledili v nobenem rezul-

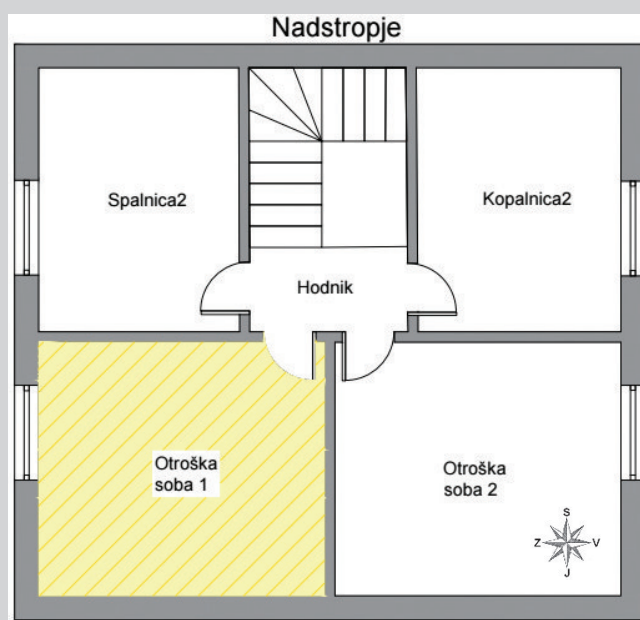
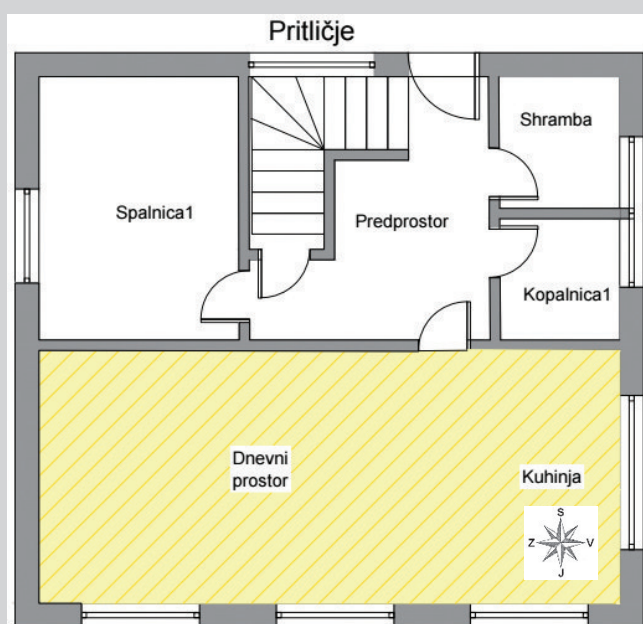
tatu iskalnika Google. Zato smo se odločili, da bomo ocenili eno izmed montažnih hiš, ki bi se lahko najbolj približala oceni, da je trajnostna.

Pregledali smo več različnih montažnih hiš treh znanih slovenskih proizvajalcev. Pomembni kriteriji pri izbiri so bili čim bolj enostavna oblika stavbe (da so toplotne izgube čim manjše), količinska in pravilna razporeditev oken (za doseganje zadostne osvetljenosti z dnevno svetlobo), možnost izbire pasivnega ali eko konstrukcijskega sklopa (za doseganje kriterija toplotne prehodnosti in uporabe potencialno zdravih GP), možnost izbire vgradnje dvoslojnih ali troslojnih oken, možnost vgrad-

nje toplotne črpalke itd. Na podlagi zbranih podatkov smo se glede na kriterije odločili za eno montažno hišo. Od proizvajalca izbrane hiše smo pridobili podatke o vseh vgrajenih konstrukcijskih sistemih, podatke o stavbnem pohištvu in podatke o ključnih elementih vgrajenih inštalacij (toplotna črpalka, mehansko prezračevanje itd.), ki zagotavljajo kondicioniranje hiše in pripravo tople sanitarne vode. V hiši so bila prvotno predvidena okna s troslojno zasteklitvijo, ker pa se na trgu vedno pojavlja dilema med izborom dvoslojne in troslojne zasteklitve, smo se odločili, da bomo analizirali oba tipa zasteklitve.

Ključni podatki o izbrani hiši so predstavljeni v preglednici 1 (Podatki o stavbi z vgrajenimi inštalacijami), preglednici 2 (Podatki o oknih in senčilih) in preglednici 3 (Podatki o konstrukcijskih sistemih izbrane stavbe).

| LOKACIJA IN OSNOVNE DIMENZIJE            |                       |
|--|-----------------------|
| Vrsta stavbe                             | enostanovanjska       |
| Lokacija stavbe                          | Ljubljana             |
| Neto uporabna površina stavbe            | 113,22 m <sup>2</sup> |
| Uporabna površina pritličja              | 59,27 m <sup>2</sup>  |
| Uporabna površina mansarde               | 53,95 m <sup>2</sup>  |
| Zunanje dimenzije stavbe                 | 8,99 m x 8,06 m       |
| Obseg tal v stiku z zunanjim terenom $P$ | 34,10 m               |
| Površina tal $A_{tal}$                   | 72,46 m <sup>2</sup>  |
| Streha                                   | dvokapnica (smer V-Z) |
| Naklon strehe                            | 39°                   |
| Površina strehe $A_{str}$                | 93,24 m <sup>2</sup>  |

**TLORIS PRITLIČJA IN NADSTROPJA**


Z rumeno barvo obarvana prostora sta obravnavana v analizi osvetljenosti z dnevno svetlobo.

| VGRAJENI SISTEMI     |   |
|----------------------|---|
| Ogrevanje            | toplotna črpalka zrak-voda (COP = 5,04)   |
| Topla sanitarna voda | toplotna črpalka zrak-voda (COP = 5,04)   |
| Hlajenje             | -   |
| Prezračevanje        | naravno (36 m <sup>3</sup> /h – ca. 0,12 h <sup>-1</sup> ) in mehansko (200 m <sup>3</sup> /h, 93 % rekuperacija odpadne toplote) |
| Umetna razsvetljava  | 6 W/m <sup>2</sup>  |
| Senčila              | žaluzije (april–september)  |

Preglednica 1 • Podatki o stavbi z vgrajenimi inštalacijami

| <b>POVRŠINA OKEN</b>         |   |                            |             |
|------------------------------|---|----------------------------|-------------|
| Prostor                      | Mere (m)  | Površina (m <sup>2</sup> ) | Orientacija |
| <b>Pritličje</b>             |   |                            |             |
| Stopnišče                    | 1,80 x 1,20   | 2,16                       | S           |
| Kopalnica 1 – shramba        | 2,20 x 0,60   | 1,32                       | V           |
| Kuhinja                      | 2,20 x 0,60   | 1,32                       | V           |
| Dnevni prostor               | 3 x 1,80 x 2,10   | 11,34                      | J           |
| Spalnica 1                   | 1,40 x 1,40   | 1,96                       | Z           |
| <b>Nadstropje</b>            |   |                            |             |
| Kopalnica 2                  | 1,40 x 2,10   | 2,94                       | V           |
| Otroška soba 1               | 1,40 x 2,10   | 2,94                       | V           |
| Otroška soba 2               | 1,40 x 2,10   | 2,94                       | Z           |
| Spalnica 2                   | 1,40 x 2,10   | 2,94                       | Z           |
| Skupna površina oken:        |   | <b>29,86 m<sup>2</sup></b> |             |
| <b>ZASTEKLITEV</b>           |   |                            |             |
|                              | Dvoslojna zasteklitev:  | Troslojna zasteklitev:     |             |
| $U_g$ (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,10  | 0,60                       |             |
| $U_w$ (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,12  | 0,62                       |             |
| $g$                          | 0,63  | 0,52                       |             |
| $LT$                         | 0,81  | 0,73                       |             |
| <b>OKVIR</b>                 |   |                            |             |
| Material                     | les/aluminij  |                            |             |
| Faktor okvirja $f_f$         | 0,30 (TSG-1-004:2010, 2010)   |                            |             |
| <b>SENČILA</b>               |   |                            |             |
| g senčil                     | 0,5 (žaluzije kot 30°) uporabljene od aprila do septembra na J, V, in Z |                            |             |

Preglednica 2 • Podatki o oknih in senčilih

| GP <sup>α</sup> (naveden od zunanosti proti notranosti) | $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> ) | $c$ (J/(kgK)) | $\lambda$ (W/(mK))                         | $d$ (mm)     |
|---|-----------------------------|---------------|--|--------------|
| <b>ZUNANJA STENA</b>                                    |                             |               |  |              |
| Zaključni fasadni sloj                                  | 1850                        | 1050          | 0,700                                      | 8,0          |
| Trde plošče iz lesenih vlaken                           | 190                         | 2000          | 0,045                                      | 60,0         |
| Celulozna vlakna in leseni l-nosilci <sup>β</sup>       | 85                          | 1800          | 0,040                                      | 360,0        |
| OSB-plošče/iverne plošče                                | 1000                        | 1880          | 0,120                                      | 15,0         |
| Mavčnokartonska plošča                                  | 900                         | 840           | 0,210                                      | 12,5         |
|   |                             |               | <b><math>U</math> (W/(m<sup>2</sup>K))</b> | <b>0,102</b> |
| <b>STREŠNA KONSTRUKCIJA</b>                             |                             |               |  |              |
| Betonski strešniki <sup>γ</sup>                         | -                           | -             | -  | 330/420      |
| Letve <sup>γ</sup>                                      | -                           | -             | -  | 50,0         |



|  |      |      |                               |              |
|--|------|------|-------------------------------|--------------|
| Prezračevanje in vzdolžne letve <sup>γ</sup> | -    | -    | -                             | 50,0         |
| Sekundarna kritina                           | 1100 | 1460 | 0,190                         | 0,2          |
| Celulozna vlakna in škarnik <sup>β</sup>     | 85   | 1800 | 0,040                         | 400,0        |
| Polietilenska folija                         | 1000 | 1250 | 0,190                         | 0,2          |
| Letve <sup>δ</sup>                           | -    | -    | -                             | 30,0         |
| Mavčnokartonska plošča                       | 900  | 840  | 0,210                         | 12,5         |
|  |      |      | <b>U (W/(m<sup>2</sup>K))</b> | <b>0,115</b> |

| <b>TALNA PLOŠČA</b>           |      |      |                               |              |
|-------------------------------|------|------|-------------------------------|--------------|
| Podložni beton <sup>ε</sup>   | -    | -    | -                             | 100,0        |
| Ekstrudirani polistiren (XPS) | 42   | 1260 | 0,036                         | 120,0        |
| Bitumenski trak               | 1100 | 1460 | 0,190                         | 8,0          |
| Ekstrudirani polistiren (XPS) | 42   | 1260 | 0,036                         | 120,0        |
| Armiranobetonska plošča       | 2400 | 960  | 2,040                         | 200,0        |
| Ekspandirani polistiren (EPS) | 20   | 1260 | 0,037                         | 110,0        |
| Armirani cementni estrih      | 2200 | 1050 | 1,400                         | 60,0         |
| Parquet/keramične ploščice    | 700  | 1670 | 0,210                         | 13,0 (15,0)  |
|                               |      |      | <b>U (W/(m<sup>2</sup>K))</b> | <b>0,100</b> |

| <b>MEDETAŽNA KONSTRUKCIJA</b> |      |      |                               |              |
|-------------------------------|------|------|-------------------------------|--------------|
| Mavčnokartonska plošča        | 900  | 840  | 0,210                         | 12,5         |
| Letve <sup>δ</sup>            | -    | -    | -                             | 22,0         |
| Stropniki <sup>δ</sup>        | -    | -    | -                             | 240,0        |
| OSB-ploščice/iverne ploščice  | 1000 | 1880 | 0,120                         | 18,0         |
| Ekspandirani polistiren (EPS) | 20   | 1260 | 0,037                         | 60,0         |
| Polietilenska folija          | 1000 | 1250 | 0,190                         | 0,2          |
| Armirani cementni estrih      | 2200 | 1050 | 1,400                         | 60,0         |
| Parquet/keramične ploščice    | 700  | 167  | 0,210                         | 13,0 (15,0)  |
|                               |      |      | <b>U (W/(m<sup>2</sup>K))</b> | <b>0,455</b> |

| <b>PREDELNA STENA</b>                             |     |      |                               |              |
|---|-----|------|-------------------------------|--------------|
| 2x mavčnokartonska plošča                         | 900 | 840  | 0,210                         | 25,0         |
| Celulozna vlakna in leseni I-nosilci <sup>β</sup> | 85  | 1800 | 0,040                         | 100,0        |
| 2x mavčnokartonska plošča                         | 900 | 840  | 0,210                         | 25,0         |
|   |     |      | <b>U (W/(m<sup>2</sup>K))</b> | <b>0,364</b> |

| <b>OPOMBE</b>   |  |  |  |  |
|---|--|--|--|--|
| <sup>α</sup> Fizikalne lastnosti GP so bile povzete po Tehnični smernici TSG-1-004:2010, Učinkovita raba energije, poglavje 10, snovni podatki.   |  |  |  |  |
| <sup>β</sup> Vpliv lesene nosilne konstrukcije na toplotno prehodnost je bil upoštevan pavšalno, in sicer tako, da je bila debelina toplotne izolacije zmanjšana (pri steni za 10 %, pri strehi za 15 %). |  |  |  |  |
| <sup>γ</sup> Prezračevani sloji v izračunu U-faktorja niso upoštevani.  |  |  |  |  |
| <sup>δ</sup> Vpliv stropnikov/letev in med njimi ujetega zraka je bil pri izračunu U-faktorja zanemarjen.   |  |  |  |  |
| <sup>ε</sup> Vlažni sloji pri izračunu U-faktorja niso upoštevani.  |  |  |  |  |

Preglednica 3 • Podatki o konstrukcijskih sistemih izbrane stavbe

### 3.2 Rezultati koraka 2:

#### Definiranje trajnostnih kazalnikov

Osnova za opredelitev ocene trajnostne gradnje in doseganja zadanih ciljev je definiranje trajnostnih kazalnikov s pomočjo kriterijev za vsak vidik posebej. Naslednji korak je torej točna določitev kriterijev za vse štiri trajnostne vidike, s katerimi smo opredelili cilje in nazadnje ocenili trajnostno gradnjo.

| Vidik  | Analiza   | Kriterij                       | Izbrani parameter   | Orodje za oceno   | Mejne vrednosti   |
|--|---|--------------------------------|---|---|---|
| OKOLJSKI   | Analiza energetske učinkovitosti stavbe           | Energetska učinkovitost stavbe | Q primarna, RER <sup>α</sup>  | Program za izračun energetske bilance stavbe (TOST) (Krainer in Predan, 2009)                   | PURES <sup>β</sup> 2010 (PURES, 2010)   |
|  | Analiza vpliva GP na okolje                       | Vpliv GP                       | Parametri iz EPD  | LCA <sup>γ</sup> -analiza   | Okoljske izjave izdelkov (EPD <sup>δ</sup> ) - Standard ISO 14025 (ISO 14025, 2006) |
| EKONOMSKI  | Analiza stroškov porabe energije                  | Energetska učinkovitost stavbe | Stroški porabe energije za ogrevanje in pripravo sanitarne vode ter stroški električne energije za razsvetljavo | Program za izračun energetske bilance stavbe (TOST) (Krainer in Predan, 2009)                   | Primerjava z drugimi energenti  |
| ZDRAVSTVENI  | Analiza osvetljenosti za izbrani prostor          | Dnevno osvetljevanje prostorov | KDS <sup>ε</sup> , osvetljenost   | Program za osvetljenost prostorov Velux Daylight Visualizer (Velux Daylight Visualizer 3, 2016) | Standardi in priporočila  |
|  | Analiza GP z možnim negativnim vplivom na zdravje | Možen vpliv GP na zdravje      | Prisotnost snovi, ki imajo možen negativen vpliv na zdravje in udobje.  | Sistematični pregled  | Znanstvene študije, podatki zdravstvenih organizacij                                |
| <b>OPOMBE</b>  |   |                                |   |   |   |
| <sup>α</sup> RER (Renewable Energy Ratio): delež obnovljivih virov glede na skupno dovedeno energijo, po definiciji REHVA.<br><sup>β</sup> PURES: Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah.<br><sup>γ</sup> LCA ( <i>Life Cycle Assessment</i> ): analiza, ki čez celotno življenjsko obdobje ocenjuje vplive nekega materiala oz. proizvoda na okolje.<br><sup>δ</sup> EPD ( <i>Environmental Product Declaration</i> ): okoljske izjave izdelkov.<br><sup>ε</sup> KDS: količnik dnevne svetlobe. |   |                                |   |   |   |

Preglednica 4 • Izbrani kriteriji in njihovi parametri, orodje za oceno in mejne vrednosti

Analizo izbrane stavbe smo opravili na podlagi kriterijev in njihovih parametrov, ki so predstavljeni v preglednici 4. Kriterijem, ki so navedeni za vsak vidik posebej, smo določili parametre, orodje za oceno in mejne vrednosti.

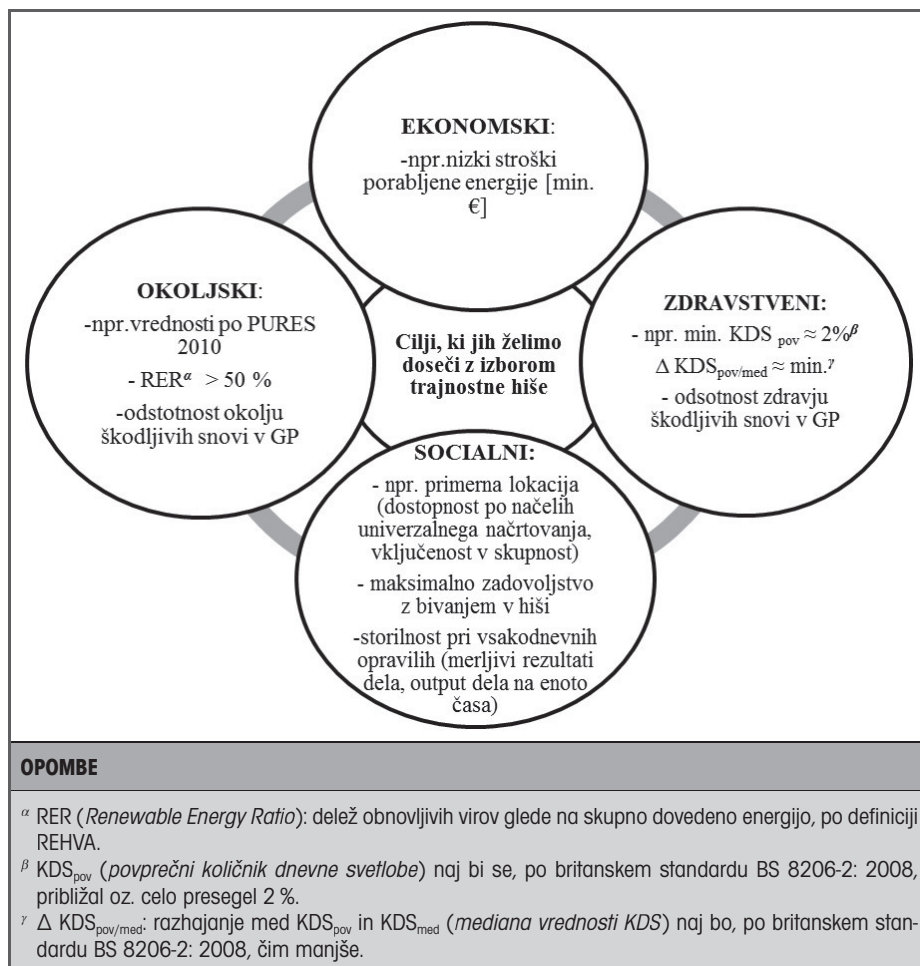
V sklopu okoljskega vidika smo s programom za izračun energetske bilance stavbe (TOST) (Krainer, 2009) preverili energetska učinkovitost stavbe, s pomočjo

parametrov iz okoljskih izjav izdelkov (ang. *Environmental Product Declaration* – EPD) pa smo preučili možne vplive GP na okolje. Z ekonomskega vidika smo preučili stroške ogrevanja stavbe in pripravo sanitarne vode ter stroške električne energije za razsvetljavo. Zadostna in kvalitetna dnevna svetloba ter možni vpliv GP na zdravje pa sta merilo za zdravstveni vidik.

### 3.3 Rezultati koraka 3:

#### Definiranje trajnostnih ciljev

Korak 3 vključuje trajnostne cilje, ki se definirajo za vsak vidik posebej in morajo biti merljivi. Na sliki 1 so prikazani splošni cilji, ki jih želimo doseči z izborom trajnostne hiše, v preglednici 5 pa konkretni cilji, ki so bili definirani na osnovi zakonskih zahtev in priporočil za potrebe naše raziskave.



Slika 1 • Prikaz splošnih ciljev, ki jih želimo doseči v trajnostni hiši ((PURES, 2010), (TSG, 2010), (AN OVE, 2010), (AN sNES, 2015), (ISO, 2006), (BS, 2008), (Pheasant, 1991), (Uredba, 2011), (Vovk, 2000))

| Vidik       | Analiza  | Cilji in vir zakonskih zahtev oz. priporočil  |
|-------------|--|---|
| OKOLJSKI    | <b>Analiza energetske učinkovitosti stavbe</b>           | – Izpolniti zahteve po PURES 2010 in TSG4,<br>– RER > 50 % => doseg minimalnega deleža OVE po AN sNES   |
|             | <b>Analiza vpliva GP na okolje</b>                       | – Minimalna količina izpustov CO <sub>2</sub> v celotnem življenjskem ciklu GP,<br>– Minimalni delež OVE v končni rabi energije po AN OVE 2010                          |
| EKONOMSKI   | <b>Analiza stroškov porabe energije</b>                  | – Minimalni stroški porabljene energije za delovanje TČ z lesno biomaso   |
| ZDRAVSTVENI | <b>Analiza osvetljenosti za izbrani prostor</b>          | – Dnevna soba s kuhinjo: doseg zadostne osvetlitve in enakomerna osvetljenost prostora<br>– Otroška soba: doseg zadostne osvetlitve in enakomerna osvetljenost prostora |
|             | <b>Analiza GP z možnim negativnim vplivom na zdravje</b> | – Odsotnost GP v stavbi, ki vsebujejo potencialno zdravju škodljive snovi (Uredba 305/2011)   |

Preglednica 5 • Cilji in vir zakonskih zahtev ter priporočil

V nadaljevanju so predstavljeni rezultati analize kriterijev po posameznem vidiku.

## 4 • REZULTATI KORAKA 4: ANALIZA TRAJNOSTNIH KRITERIJEV

### 4.1 Okoljski vidik

#### 4.1.1 Analiza energetske učinkovitosti stavbe

Za analizo energetske učinkovitosti stavbe smo uporabili programsko orodje TOST (Krainer, 2009), ki izračuna energetska bilanco stavbe po Pravilniku o učinkoviti rabi energije v stavbah (v nadaljevanju PURES 2010), upoštevajoč SIST EN ISO 13790 in Tehnični smernici za graditev TSG-1-004:2010 (v nadaljevanju TSG4). Ključni podatki za izračun energetske bilance obravnavane stavbe so prikazani v preglednicah 1, 2 in 3. Pri določitvi notranjih temperaturnih razmer je bilo predvideno 24-urno obratovanje s temperaturo zraka 20 °C za čas ogrevanja ter 26 °C za čas hlajenja, čeprav stavba ni aktivno hlajena. Celotna stavba je obravnavana kot enotna toplotna cona, ogrevana s toplotno črpalko zrak-voda, ki se jo uporablja tudi za pripravo tople sanitarne vode (preglednica 1). Povprečna moč notranjih dobitkov (metabolna toplota uporabnikov in toplota naprav) je bila privzeta po TSG4 in znaša 5 W/m<sup>2</sup> (TSG, 2010), kar za celotno stavbo pomeni 566 W. Topla sanitarna voda se v stavbi zagotavlja celo leto, pri umetni razsvetljavi je bila privzeta povprečna gostota moči svetilk 6 W/m<sup>2</sup>, kar je manj kot maksimalna dovoljena (8 W/m<sup>2</sup>) za stanovanjske stavbe po TSG4.

#### 4.1.2 Analiza vpliva GP na okolje

Večina GP iz pridobljenih konstrukcijskih sklopov obravnavane stavbe ima v svojih tehničnih listih oz. izjavah o lastnostih navedeno, da so ekološki, se lahko 100 % reciklirajo, vsebujejo naravne surovine ali imajo potrjeno o neškodljivosti okolju itd., torej naj bi bili okolju prijazni. Resničnost teh izjav smo preverili ob pomoči okoljskih izjav izdelkov, ki jih izdajo na podlagi LCA-analize (*LCA – Life Cycle Assessment*) na nivoju GP, ki v celotnem življenjskem obdobju ocenjuje vplive nekega materiala oz. proizvoda na okolje.

Okoljske izjave izdelkov (EPD) so narejene po standardu ISO (ISO, 2006), kjer so navedene kot tip 3 okoljske izjave. Po ISO-klasifikaciji se okoljske oznake delijo na tri tipe. Tip 3 predstavljajo preverjeni podatki o GP in njegovem vplivu na okolje, ki ga preverja tretja neodvisna stranka. Parametri, na podlagi katerih ocenjujejo okoljske vplive v celotni življenjski dobi GP, so: potencial globalnega segrevanja ozračja, potencial izčrpanja ozona, potencial zakisanja ozračja, potencial evτροφikacije,

izčrpavanje abiotskih virov, fotokemični potencial tvorbe ozona, poraba energije (poraba neobnovljivih in obnovljivih virov energije), poraba vode, proizvodnja odpadkov (nevarnih, nenevarnih in radioaktivnih) itd. V LCA-analizi GP so bili upoštevani proizvodna faza (dobava surovin, transport k proizvajalcu, proizvodnja), faza vgradnje (transport na gradbišče, vgradnja v stavbo), faza uporabe (uporaba, vzdrževanje, popravila, zamenjava, obnova, energija za delovanje, voda za delovanje), konec življenjske dobe (demonžaza, transport na odlagališče, obdelava odpadkov, odstranitev) in sistem naslednjega proizvoda (potencial za ponovno uporabo, regeneracijo ali reciklažo).

V analizi vpliva GP izbrane stavbe smo se osredotočili na naslednje parametre: globalno segrevanje ozračja (škodljivi izpusti CO<sub>2</sub>), poraba energije (poraba neobnovljivih in obnovljivih virov energije), poraba vode in skupna proizvodnja odpadkov. Potencialno okoljsko problematični GP, ki se pojavljajo v izbranih konstrukcijskih sklopih in smo jih analizirali, so: beton (EPD1, 2006), cementni estrih (EPD2, 2015), ekspanzirani polistiren (EPS) (EPD3, 2015), ekstrudirani polistiren (XPS) (EPD4, 2010), mavčnokartonska plošča (EPD5, 2014) in bitumenski trak (EPD6, 2013).

### 4.2 Ekonomski vidik

#### 4.2.1 Analiza stroškov porabe energije

S programom TOST (Krainer, 2009) smo za obravnavano stavbo izračunali letno toploto, ki jo potrebujemo za ogrevanje prostorov ( $Q_{NH}$ ). Stavba nima upoštevane aktivnega hlajenja, zato se v analizi na porabljeno energijo za hlajenje nismo osredotočali. Ker se največji delež porabljene energije uporabi za ogrevanje prostorov, smo v analizi upoštevali le letno toploto, ki jo potrebujemo za ogrevanje. Izračun je bil narejen za primer dvoslojne in troslojne zasteklitve oken. Nato smo na podlagi cen s trga, izračunali, kolikšen strošek za kurjavo bi imeli pri obravnavani hiši. Izbrali smo lesne energente (bukova polena, sekance in lesne pelete) ter zemeljski plin in za primerjavo še energijo, pridobljeno s toplotno črpalko, ki je poleg lesne biomase edini obnovljiv vir energije v naši analizi.

Za čim boljše bivalne in delovne razmere v prostoru je treba zagotoviti primerno osvetljenost. Ta je lahko naravna ali umetna, za katero smo ugotovili stroške. Ker je poraba električne energije v stanovanjskih stavbah odvisna od načina uporabe in navad uporabnikov kot tudi od razpoložljive dnevne svetlobe, smo se pri opravljeni analizi odločili za uporabo poenostavljene metode določitve potrebne električne energije za umetno razsvetljavo po standardu SIST EN 15193 (SIST, 2007) in TSG4. Ker omenjena poenostavljena metoda ne omogoča upoštevanja vpliva razlike med osvetljenostjo pri dvoslojni ali troslojni

| DIMENZIJE IZBRANEGA PROSTORA                 |                       |                       |
|--|-----------------------|-----------------------|
|  | Dnevna soba s kuhinjo | Otroška soba 1        |
| Dolžina (m)                                  | 8,49                  | 4,15                  |
| Širina (m)                                   | 3,60                  | 3,60                  |
| Višina (m)                                   | 3,00                  | 3,00                  |
| Tlorisna površina prostora (m <sup>2</sup> ) | 30,56                 | 14,94                 |
| LASTNOSTI OKEN                               |                       |                       |
|  | Dvoslojna zasteklitev | Troslojna zasteklitev |
| Prepustnost svetlobe $LT$ (%)                | 81                    | 73                    |
| Vidna širina okvirja/krila (mm)              | 114                   | 114                   |
| REFLEKSIVNOST POVRŠIN (%)                    |                       |                       |
| Stene  | 60                    |                       |
| Strop  | 85                    |                       |
| Tla  | 30                    |                       |

Preglednica 6 • Podatki prostorov, za katere je bila opravljena analiza osvetljenosti z dnevno svetlobo

zasteklitvi, je v obeh primerih izračunana poraba električne energije za razsvetljavo enaka. V izračunu sta bila uporabljena povprečna gostota moči svetilk  $6 \text{ W/m}^2$  ter čas obratovanja 1500 h/leto.

### 4.3 Zdravstveni vidik

#### 4.3.1 Analiza osvetljenosti za izbrani prostor

Pri analizi osvetljenosti in analizi stroškov razsvetljave smo se osredotočili na analizo dveh prostorov: dnevni prostor z jedilnico in kuhinjo, saj je pri delu v kuhinji potrebna zadostna osvetlitev, ter na otroško sobo 1. Omenjena prostora sta označena z rumeno barvo in prikazana na slikah Tloris pritličja in nadstropja v preglednici 1. Podatki o izbranih prostorih so prikazani spodaj.

S programom Velux Daylight Visualizer (Velux, 2016) smo opravili analizo osvetljenosti za dnevni prostor z jedilnico in kuhinjo ter eno od otroških sob. Prostora nista bila izbrana naključno, saj dnevna soba predstavlja glavni bivalni prostor, v katerem se stanovalci zadržujejo največ časa, hkrati pa otroci zelo veliko časa preživijo v svojih sobah. Osvetljenost prostora je bila preverjena z izračunom količnika dnevne svetlobe (KDS) in osvetljenosti na izbrani horizontalni delovni višini, pozicionirani 85 cm nad tlemi. Izračuni so bili izvedeni le v času spomladanskega enakonočja (21. 3.), kar zadostuje za osnovno analizo osvetljenosti z dnevno svetlobo, saj rezultati prikazujejo neke vrste celoletno povprečje. Simulacije so bile izvedene ob uporabi CIE standardnega oblačnega (KDS in osvetljenost) in CIE jasnega tipa neba (osvetljenost) (CIE, 2003). Stavba je v Ljubljani in je z dnevnim prostorom usmerjena proti jugu, analizirana otroška soba pa je orientirana proti zahodu. Analizo smo zaradi večne dileme med uporabo dvoslojne ali troslojne zasteklitve opravili za oba primera. Pri refleksivnostih notranjih površin prostora (preglednica 6) smo privzeli priporočene vrednosti po

standardu SIST EN 12464-1 (SIST EN 12464-1, 2011), vpliv pohišva je bil zanemarljiv. Kot merilo za primerno osvetljenost prostora smo uporabili priporočila, navedena v britanskem standardu BS 8206-2: 2008, ki pravi, da je povprečni količnik dnevne svetlobe ( $KDS_{pov}$ ) splošno merilo osvetljenosti z naravno dnevno svetlobo. Ta naj bi se približal 2 %. Prostor s  $KDS_{pov}$  od 2 % do 5 % ima zadovoljivo osvetlitev s pogostejšo uporabo umetne razsvetljave pri natančnejših opravilih, v primeru  $KDS_{pov}$  več kot 5 % pa je prostor tako svetel, da uporaba električnih virov svetlobe čez dan ni potrebna (BS, 2008). Za minimalno vrednost  $KDS_{pov}$  smo tako upoštevali 2 %, pri čemer je bila želja doseči ali preseči 5 %. Za dodaten kriterij smo opazovali tudi mediano vrednost KDS ( $KDS_{med}$ ), pri čemer je ta vrednost pokazatelj enakomernosti osvetljenosti prostora. Če je razhajanje med  $KDS_{pov}$  in  $KDS_{med}$  veliko, pomeni, da je osvetljenost prostora neenakomerna, kar ni zaželeno.

#### 4.3.2 Analiza GP z možnim negativnim vplivom na zdravje

Z zdravstvenega vidika smo, upoštevaje sestavo konstrukcijskih sistemov, naredili ana-

lizo GP. V skladu z ugotovitvami znanstvenih študij smo preverili, ali GP potencialno vsebujejo snovi, ki imajo možen negativen vpliv na zdravje ljudi. Negativne učinke na zdravje smo posredno ocenili s sistematičnim pregledom znanstvenih študij (navedene v nadaljevanju) iz baz *Science direct* in *Pub Med* ali na podlagi podatkov zdravstvenih organizacij, kot so Svetovna zdravstvena organizacija (*World Health organization* – WHO), Agencija za varnost in zdravje pri delu (*Occupational Safety & Health Administration* – OSHA), Nacionalni inštitut za varnost in zdravje pri delu (*The National Institute for Occupational Safety and Health* – NIOSH), Agencija za strupene snovi in bolezni (*Agency for Toxic Substances and Disease Registry* – ATSDR) idr.

Ob pregledu GP v obravnavani stavbi smo v vsakem izmed konstrukcijskih sklopov našli vsaj po en GP, ki vsebuje potencialno zdravju škodljive snovi (GP so podani v preglednici 7).

Ker bi bila analiza vseh GP, ki vsebujejo potencialno škodljive snovi, preobsežna, bomo v članku prikazali analizo le za primer GP iz lesa, za katere se v splošnem meni, da so zdravju neškodljivi.

| Konstrukcijski sklop   | GP  |
|------------------------|---|
| Zunanja stena          | Celulozna vlakna<br>OSB-plošče  |
| Strešna konstrukcija   | Celulozna vlakna  |
| Talna plošča           | Ekstrudirani polistiren (XPS)<br>Ekspandirani polistiren (EPS)<br>Bitumenski trak |
| Medetažna konstrukcija | OSB-plošče<br>Ekspandirani polistiren (EPS)                                       |
| Predelna stena         | Celulozna vlakna  |
| Možno v vseh sklopih   | Poliuretansko lepilo  |

Preglednica 7 • GP iz podanih konstrukcijskih sklopov, ki vsebujejo potencialno zdravju škodljive snovi

## 5 • REZULTATI KORAKA 4: KONČNA OCENA

### 5.1 Okoljski vidik

#### 5.1.1 Analiza energetske učinkovitosti stavbe

Rezultati analize konstrukcijskih sklopov izbrane stavbe so pokazali, da toplotna

prehodnost podanih konstrukcijskih sklopov ustreza PURES 2010. Ker pa so okna najšibkejši člen stavbe v smislu prehajanja toplotne energije in posledično lahko tudi vzrok za veliko porabo energije, smo v sklopu

analize energetske učinkovitosti stavb preverili, kakšni so toplotne izgube, letna potrebna toplota za ogrevanje in/ali hlajenje ter letni izpusti  $\text{CO}_2$  v primeru dvoslojne in troslojne zasteklitve.

| DVOSLOJNA ZASTEKLITEV   |            |            |                    |        |
|---|------------|------------|--------------------|--------|
| IZPOLNJEVANJE ZAHTEV PO PURES 2010  |            |            |                    |        |
|   | Izračunana |            | Največja dovoljena |        |
| Koeficient specifičnih transmisijskih toplotnih izgub stavbe $H_T$ (W/(m <sup>2</sup> K)) | 0,27       |            | 0,38               |        |
| Letna potrebna toplota za ogrevanje $Q_{NH}$ (kWh)  | 2.724      |            | 5.765              |        |
| Letni potrebni hlad za hlajenje $Q_{NC}$ (kWh)  | 1.692      |            | 5.661              |        |
| Letni izpusti CO <sub>2</sub> na enoto uporabne površine (kg/(m <sup>2</sup> a))          | 18,37      |            | -                  |        |
| STRUKTURA PORABE ENERGIJE (kWh)   |            |            |                    |        |
|   | Ogrevanje  | Topla voda | Razsvetljava       | Skupaj |
| Potrebna  | 2.724      | 1.359      | 1.019              | 5.102  |
| Končna  | 590        | 283        | 1.019              | 1.637  |
| Primarna  | 1.476      | 708        | 2.547              | 4.731  |

Preglednica 8 • Rezultati analize porabe energije – varianta z dvoslojno zasteklivitjo

| TROSLOJNA ZASTEKLITEV   |            |            |                    |        |
|---|------------|------------|--------------------|--------|
| IZPOLNJEVANJE ZAHTEV PO PURES 2010  |            |            |                    |        |
|   | Izračunana |            | Največja dovoljena |        |
| Koeficient specifičnih transmisijskih toplotnih izgub stavbe $H_T$ (W/(m <sup>2</sup> K)) | 0,22       |            | 0,38               |        |
| Letna potrebna toplota za ogrevanje $Q_{NH}$ (kWh)  | 1.998      |            | 5.765              |        |
| Letni potrebni hlad za hlajenje $Q_{NC}$ (kWh)  | 1.540      |            | 5.661              |        |
| Letni izpusti CO <sub>2</sub> na enoto uporabne površine (kg/(m <sup>2</sup> a))          | 16,92      |            | -                  |        |
| STRUKTURA PORABE ENERGIJE (kWh)   |            |            |                    |        |
|   | Ogrevanje  | Topla voda | Razsvetljava       | Skupaj |
| Potrebna  | 1.998      | 1.359      | 1.019              | 4.376  |
| Končna  | 433        | 283        | 1.019              | 1.735  |
| Primarna  | 1.082      | 708        | 2.547              | 4.337  |

Preglednica 9 • Rezultati analize porabe energije – varianta s troslojno zasteklivitjo

PURES 2010 določa mejne vrednosti učinkovite porabe energije za namene ogrevanja in hlajenja stavbe ter uporabo najmanj 25 odstotkov celotne končne energije iz obnovljivih virov energije (v nadaljevanju OVE) za dosego energijske učinkovitosti stavbe. Izbrana stavba je tako energijsko učinkovita, saj vse vrednosti izpolnjujejo zahteve po PURES 2010, sistem za ogrevanje in pripravo tople sanitarne vode pa je toplotna črpalka zrak-voda, ki spada pod OVE. Končna poraba energije za ogrevanje stavbe in ogrevanje sanitarne vode je tako zaradi zelo učinkovite toplotne črpalke

precej nizka. Se je pa pokazala velika potrebna količina energije za umetno razsvetljavo prostorov (precej večja končna poraba energije v primerjavi s končno energijo, potrebno za ogrevanje (več kot dvakratna vrednost) in pripravo tople vode (več kot trikratna vrednost)), zato je z okoljskega vidika treba tudi za pridobivanje električne energije uporabljati energijo iz OVE (za račun porabe energije za razsvetljavo je bila uporabljena poenostavljena metoda). Opozoriti moramo še na veliko potrebo po hlajenju stavbe (primerljiva količina s potrebno toploto za ogrevanje),

ki prvotno nima predvidenega sistema za hlajenje stavbe.

Primerjava obeh vrst zasteklitve je pokazala, da so razlike v toplotnih izgubah sicer opazne, vendar, absolutno gledano, dokaj majhne. Tako razlika pri letni potrebni toploti za ogrevanje med primerom z dvoslojno in troslojno zasteklivitjo znaša 776 kWh oziroma 26 % zmanjšanje v primeru troslojne zasteklitve. Primerjava z maksimalno dovoljeno vrednostjo letne potrebne toplote za ogrevanje po PURES 2010 pa pokaže, da sta obe varianti daleč pod maksimalno dovoljeno porabo (preglednici 8 in 9), tako lahko imamo obe za energijsko učinkoviti. Letni izpusti CO<sub>2</sub> so ob uporabi troslojnih oken resda nižji, vendar pa tu niso upoštevani škodljivi izpusti, ki nastanejo v proizvodnji dodatne šipe za troslojno zasteklitev v primerjavi z dvoslojno, zato predpostavljamo, da sta z okoljskega vidika izpustov CO<sub>2</sub> ti dve vrsti oken primerljivi.

Akcijski načrt za skoraj ničenergijske stavbe za obdobje do leta 2020 predvideva, da mora biti minimalni delež OVE za enostanovanjske stavbe 50 % (AN sNES, 2015). Delež obnovljivih virov glede na skupno dovedeno energijo (RER-faktor) v primeru dvoslojne zasteklitve je 66 %, v primeru troslojne zasteklitve pa 60 %, s čimer presegamo minimalni delež OVE za enostanovanjske stavbe. Pri izračunu je bila upoštevana le energija, proizvedena iz OVE na lokaciji, saj stavbe nimamo umeščene v prostor, zato ne moremo vedeti, v kolikšni meri bi lahko stavba izkoriščala vire energije OVE zunaj lokacije.

### 5.1.2 Analiza vpliva GP na okolje

Beton, cementni estrih, ekspandirani polistiren (EPS), ekstrudirani polistiren (XPS), mavčnokartonska plošča in bitumenski trak so GP, ki smo jih v celotni življenjski dobi preverili z okoljskega vidika in ugotovili, da z izpusti emisij CO<sub>2</sub>, preveliko porabo neobnovljivih virov energije, preveliko porabo vode in veliko količino novonastalih odpadkov škodujejo okolju.

Obravnavani GP, ki imajo negativen vpliv na okolje, opravljajo v stavbi različne funkcije, tako funkcijo nosilne konstrukcije kot funkcijo toplotne izolacije, hidroizolacije, sekundarne nosilne konstrukcije itd. Ugotovili smo, da so okolju neprijazni GP v vseh konstrukcijskih sistemih.

V analizi se je poleg vseh že omenjenih faz upoštevala tudi življenjska doba GP. Izračun je bil v večini primerov (razen za beton) narejen za 1 m<sup>2</sup> GP, ker je taka enota uporabljena tudi v okoljskih izjavah izdelkov (EPD-jih).

| GP/parameter                        | Enota              | Beton            | Cementni estrih  | Eksp. polistiren (EPS) | Ekstr. polistiren (XPS) | Mavčnokartonska plošča | Bitum. trak      |
|-------------------------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|------------------|
| Deklarirana enota                   |                    | 1 m <sup>3</sup> | 1 m <sup>2</sup> | 1 m <sup>2</sup>       | 1 m <sup>2</sup>        | 1 m <sup>2</sup>       | 1 m <sup>2</sup> |
| Življenjska doba                    | leto               | Ni podatka       | 50               | 60                     | Ni podatka              | 50                     | 90               |
| Vir in leto izdaje                  |                    | (EPD1, 2006)     | (EPD2, 2015)     | (EPD3, 2015)           | (EPD4, 2010)            | (EPD5, 2014)           | (EPD6, 2013)     |
| Globalno segrevanje ozračja         | kg CO <sub>2</sub> | 231,04           | 5,16             | 2,21                   | 17,27                   | 2,77                   | 0,28             |
| Poraba energije                     | MJ                 | 1878,98          | 45,1             | 98,94                  | 273,32                  | 46,39                  | 5,77             |
| Poraba neobnovljivih virov energije | MJ                 | 1800,71          | 42,5             | 98,08                  | 271,19                  | 39,08                  | 5,76             |
| Poraba OVE                          | MJ                 | 78,27            | 2,6              | 0,86                   | 2,13                    | 7,31                   | 0,01             |
| Poraba vode                         | m <sup>3</sup>     | 0,59             | 0,04             | 0,045                  | 0,047                   | 0,013                  | 0,00087          |
| Proizvodnja odpadkov                | kg                 | 76,87            | 0,6              | 2,94                   | 6,16                    | 5,88                   | 0,22             |

Preglednica 10 • Vpliv uporabljenih GP na okolje

Iz preglednice 10 lahko razberemo, da so beton, ekstrudirani polistiren in ekspandirani polistiren največji onesnaževalci okolja. Beton je v primerjavi s preostalimi GP največji proizvajalec emisij CO<sub>2</sub>, saj je njegova vrednost količine ogljikovega dioksida dosti večja. Večina emisij CO<sub>2</sub> se v ozračje izpusti v proizvodni fazi, predvsem pri proizvodnji cementa. Tudi ekstrudirani polistiren ima velik vpliv na globalno segrevanje ozračja, čeprav ne tako velikega kot beton. Velika količina izpustov CO<sub>2</sub> se namreč pri XPS pojavi na koncu življenjske dobe ob sežiganju zavrženih plošč, zato je izredno pomembna, tako kot pri večini materialov, pravilna reciklaža. V veliki porabi vode in proizvodnji odpadkov izstopajo beton, ekstrudirani polistiren, ekspandirani polistiren in mavčnokartonska plošča, zato je treba najti potencial za ponovno uporabo. Tako se lahko npr. v primeru betona namesto naravnega agregata uporabijo reciklirani gradbeni odpadki in odpadna voda, ki

nastane ob čiščenju avtomesešalcev, opažev ali pri proizvodnji betona.

Pri vseh GP je bila ugotovljena velika poraba neobnovljivih virov energije, pri čemer je glede na porabo celotne energije poraba OVE povprečno le 4,63 % (pri nekaterih GP je poraba OVE celo manj kot 1 %), kar je glede na Akcijski načrt za OVE skrb zbujajoč podatek. V Akcijskem načrtu za OVE za obdobje 2010–2020 je namreč zapisano, da mora Slovenija do leta 2020 zagotoviti vsaj 25 % delež OVE v končni porabi energije (AN OVE, 2010).

## 5.2 Ekonomski vidik

### 5.2.1 Analiza stroškov porabe energije

Cene energentov so bile izračunane povprečno iz cen različnih dobaviteljev energentov, katerih imen zaradi nezaželenne promocije ne bomo navedli. Cene so bile povzete po spletnih straneh ponudnikov energentov na slo-

venskem trgu 24. 5. 2016. S programom TOST (Krainer, 2009) smo izračunali, da stavba v primeru dvoslojne zasteklitve potrebuje za ogrevanje 2724 kWh energije, v primeru troslojne zasteklitve pa 1998 kWh. V izračunih cene končne energije sta bili, če je bilo treba, upoštevani še cena dostave energenta in učinkovitost ogrevalnega sistema, ki je pri različnih energentih lahko drugačna.

Stroške umetne razsvetljave smo izračunali na podlagi potrebne energije za razsvetljavo, ki znaša 1019 kWh.

V izračunih stroškov porabljene energije za pripravo tople vode in za razsvetljavo smo prav tako upoštevali navedene energente, saj tako lahko primerjamo stroške, ki se pojavljajo. Omenjena potrebna energija je enaka za obe vrsti zasteklitve, saj od le-te ni odvisna. Stroški porabljene energije za ogrevanje, pripravo tople vode in razsvetljavo stavbe so prikazani v preglednici 11.

| Energent   | OGREVANJE             |           |                              |   |           | TOPLA VODA            |             | RAZSVETLJAVA<br>(0,1333 €/kWh) |             | SKUPAJ STROŠEK<br>(€) |           |
|--|-----------------------|-----------|------------------------------|---|-----------|-----------------------|-------------|--------------------------------|-------------|-----------------------|-----------|
|  | Končna energija (kWh) |           | Cena končne energije (€/kWh) | Cena energije za ogrevanje glede na tip zasteklitve (€) |           | Končna energija (kWh) | Strošek (€) | Končna energija (kWh)          | Strošek (€) | Dvoslojna             | Troslojna |
|  | Dvoslojna             | Troslojna |                              | Dvoslojna   | Troslojna |                       |             |                                |             |                       |           |
| Polena (bukova) <sup>α</sup>   | 3.272                 | 2.399     | 0,0247                       | 80,82   | 59,25     | 1.569                 | 38,75       | 1.019                          | 135,83      | 255,40                | 233,83    |
| Sekanci <sup>α</sup>   | 3.272                 | 2.399     | 0,0209                       | 68,38   | 50,14     | 1.569                 | 32,79       | 1.019                          | 135,83      | 237,00                | 218,76    |
| Lesni peleti <sup>α</sup>  | 3.272                 | 2.399     | 0,0488                       | 159,67  | 117,07    | 1.569                 | 76,57       | 1.019                          | 135,83      | 372,07                | 329,47    |
| Zemeljski plin <sup>β</sup>  | 2.860                 | 2.097     | 0,0724                       | 207,06  | 151,82    | 1.372                 | 99,33       | 1.019                          | 135,83      | 442,22                | 386,98    |
| Toplotna črpalka <sup>γ</sup>  | 590                   | 433       | 0,1333                       | 78,65   | 57,72     | 283                   | 37,72       | 1.019                          | 135,83      | 252,20                | 231,27    |
| <b>OPOMBE</b>  |                       |           |                              |   |           |                       |             |                                |             |                       |           |
| <sup>α</sup> Izkoristek generatorja toplote = 0,9. V izračunih je zaradi najpogostejše uporabe in visoke energetske vrednosti upoštevan bukov les. |                       |           |                              |   |           |                       |             |                                |             |                       |           |
| <sup>β</sup> Izkoristek generatorja toplote = 1,04 (kondenzacijski kotel).   |                       |           |                              |   |           |                       |             |                                |             |                       |           |
| <sup>γ</sup> Toplotna črpalka tipa zrak-voda z grelnim številom COP = 5,04.  |                       |           |                              |   |           |                       |             |                                |             |                       |           |

Preglednica 11 • Stroški porabljene energije za ogrevanje, pripravo tople vode in razsvetljavo stavbe

V našem primeru stavbe se zaradi majhne neto uporabne površine in energetske varčne gradnje pojavijo zelo nizki stroški ogrevanja. Porabljena energija za ogrevanje je, kot smo ugotovili že v analizi energetske učinkovitosti, manjša v primeru troslojne zasteklitve, tako da so posledično tudi stroški porabe energije manjši. Razlike niso pretirano velike, bi bilo pa vsekakor treba primerjati še investicijo v okna različne zasteklitve ter investicijo v različne ogrevalne sisteme in nato preveriti, kaj bi bilo ugodnejše. Ne glede na tip zasteklitve je bilo ugotovljeno, da je cena letne porabljene ogrevalne energije najnižja v primeru lesne biomase, predvsem pri lesnih sekancih in polenih. Problem tega OVE pa je, da pri nepopolnem zgorevanju v majhnih kurilnih napravah in stranskih produktih zgorevanja nastajajo zdravju škodljivi trdni delci in emisije, ki pa jih lahko omilimo s pravilnim kurjenjem (npr. s kurjenjem čim bolj suhih polen, zagotovitev zadostne količine kisika, pravilne temperature v kurišču itd.). Zelo pomemben je energetski potencial lesne biomase, ki je odvisen od kakovosti lesa

(predvsem vrste lesa in vlažnosti), zato je nakup kakovostne lesne biomase vsekakor najbolje opraviti v poletnem času, ko ni kurilne sezone in so tudi cene tega energenta najnižje. Z nizko porabo energije se lahko pohvali tudi toplotna črpalka tipa zrak-voda, ki je prav tako OVE ter tako ekonomsko in okoljsko prijazna. Problem pri večini investitorjev se pojavi zaradi visoke začetne cene toplotne črpalke, ki pa jo lahko znižamo s subvencijami, npr. subvencije Eko sklada. Investicija pa se zaradi nizkih stroškov porabljene energije hitro povrne.

Stroški porabljene energije za pripravo tople sanitarne vode in za razsvetljavo so zelo visoki, zato bi bilo bolje uporabljati druge vire energije (po možnosti OVE). Kljub visokemu začetnemu finančnemu vložku bi bilo smiselno investirati v fotonapetostne sisteme, s katerimi bi pridobivali elektriko za razsvetljavo in hkrati poskrbeli za delovanje toplotne črpalke, s sončnimi sprejemniki pa bi zagotovili pripravo tople vode. Seveda pa cena porabljene energije ni odločilna za izbiro ogrevalne naprave, saj je treba upoštevati

vse stroške v celotni življenjski dobi stavbe. Velikokrat na odločitev vpliva visoka začetna investicija za nakup ogrevalne naprave, vendar se lahko ta z nizkimi obratovalnimi stroški povrne že v nekaj letih.

### 5.3 Zdravstveni vidik

#### 5.3.1 Analiza osvetljenosti za izbrani prostor

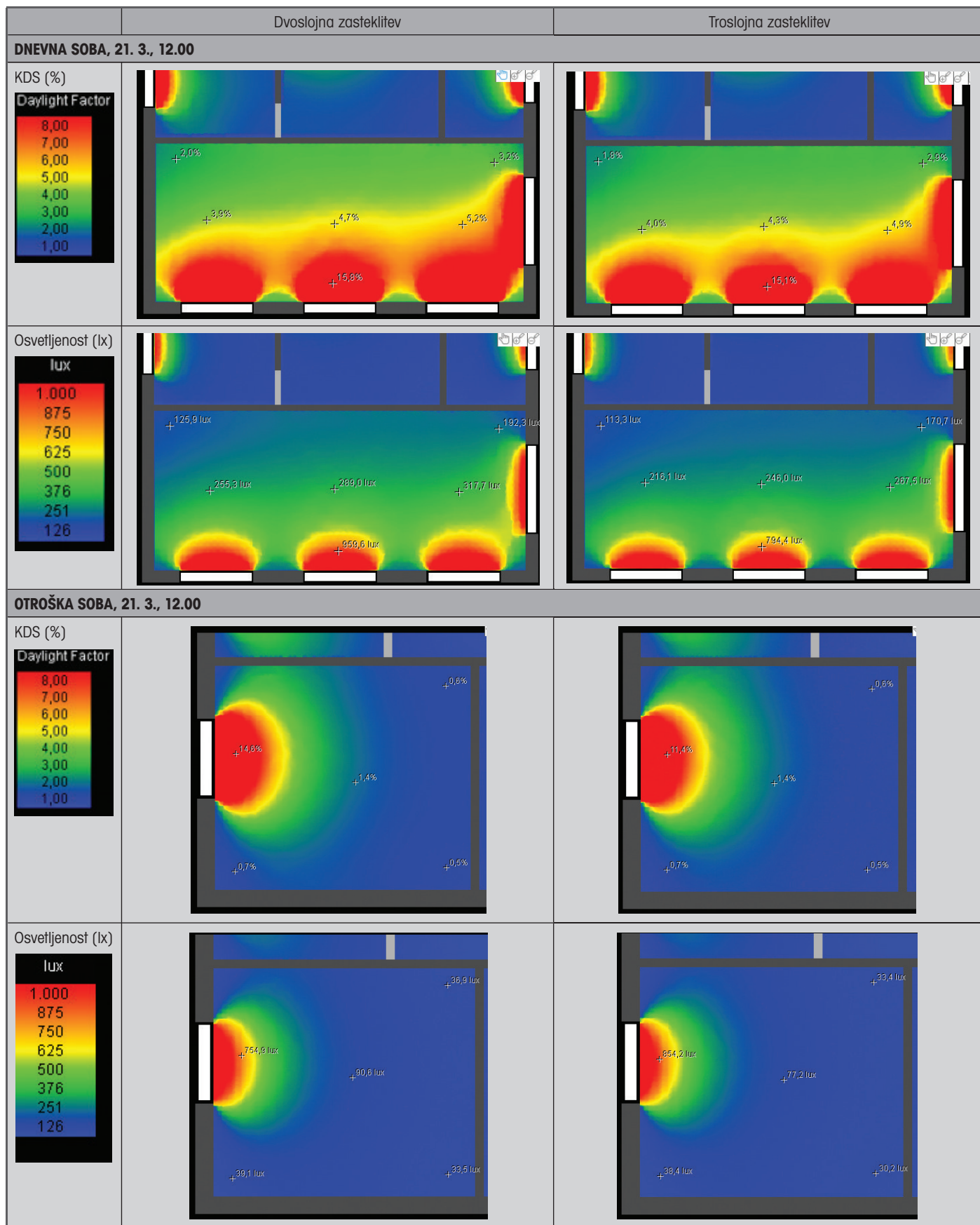
Simulacija dnevne svetlobe je bila narejena v prostoru, ki združuje namen dnevne sobe, jedilnice in kuhinje, in v otroški sobi v nadstropju. Na južni strani dnevnega prostora s kuhinjo so tri velika vrata/okna, ki vodijo na teraso, in eno manjše ozko podolgovato okno na jugovzhodni fasadi s skupno površino oken 12,66 m<sup>2</sup>. Otroško sobo osvetljuje le eno okno, orientirano proti zahodu, s površino 2,94 m<sup>2</sup>. Izračun KDS v prostoru je bil narejen za referenčni dan 21. 3. z uporabo CIE oblačnega tipa neba. Izračun osvetljenosti pa je bil narejen za dva različna tipa neba (oblačno in jasno) za isti izbran kritični dan.

**Primerjava osvetljenosti prostorov z uporabo dvoslojnih in troslojnih oken**

|   | Dvoslojna zasteklitve |                          |            | Troslojna zasteklitve |                          |            |
|---|-----------------------|--------------------------|------------|-----------------------|--------------------------|------------|
| <b>DNEVNA SOBA S KUHINJO, 21. 3., 12:00</b> |                       |                          |            |                       |                          |            |
|   | <b>KDS (%)</b>        | <b>Osvetljenost (lx)</b> |            | <b>KDS (%)</b>        | <b>Osvetljenost (lx)</b> |            |
|   | Oblačno nebo          | Oblačno nebo             | Jasno nebo | Oblačno nebo          | Oblačno nebo             | Jasno nebo |
| Povprečje                                   | 5,28                  | 322,86                   | 916,14     | 4,75                  | 291,20                   | 799,75     |
| Mediana                                     | 4,67                  | 285,25                   | 794,51     | 4,22                  | 257,65                   | 687,98     |
| Minimalna vrednost                          | 2,10                  | 132,68                   | 392,06     | 1,91                  | 118,71                   | 359,01     |
| Maksimalna vrednost                         | 14,74                 | 908,49                   | 2.432,77   | 13,28                 | 811,18                   | 2.164,13   |
| <b>OTROŠKA SOBA, 21. 3., 12:00</b>          |                       |                          |            |                       |                          |            |
|   | <b>KDS (%)</b>        | <b>Osvetljenost (lx)</b> |            | <b>KDS (%)</b>        | <b>Osvetljenost (lx)</b> |            |
|   | Oblačno nebo          | Oblačno nebo             | Jasno nebo | Oblačno nebo          | Oblačno nebo             | Jasno nebo |
| Povprečje                                   | 2,15                  | 130,90                   | 157,91     | 1,94                  | 118,44                   | 143,07     |
| Mediana                                     | 1,37                  | 83,30                    | 112,08     | 1,25                  | 75,07                    | 101,56     |
| Minimalna vrednost                          | 0,57                  | 34,32                    | 52,15      | 0,52                  | 30,83                    | 46,88      |
| Maksimalna vrednost                         | 11,93                 | 746,57                   | 712,40     | 10,94                 | 677,75                   | 643,42     |

Preglednica 12 • Vrednosti KDS za izbrani prostor na dan 21. 3. ob 12. uri





Preglednica 13 • Slikovni prikaz KDS in osvetljenosti izbranega prostora v oblačnem vremenu na dan 21. 3. ob 12. uri

Izračun  $KDS_{pov}$  v dnevnem prostoru s kuhinjo je v oblačnem vremenu pokazal, da je prostor dovolj osvetljen, da uporaba umetnih virov svetlobe ni potrebna, saj je v primeru dvoslojne zasteklitve presešel 5 %, v primeru troslojne zasteklitve pa se približal tej vrednosti (BS, 2008). Razlika med  $KDS_{med}$  in  $KDS_{pov}$  za ta prostor ni velika, tako da je, kot lahko razberemo že s slik, prostor enakomerno osvetljen. Enakomernost osvetljenosti je boljša v primeru troslojne zasteklitve, kar je pričakovano, saj ima troslojna zasteklitve nižjo LT-vrednost ter s tem manjše maksimalne vrednosti osvetljenosti v območju ob zasteklitvah. Iz obeh kriterijev tako vidimo, da dnevna soba s kuhinjo doseže zadostno količino in prostorsko enakomerno osvetlitev z dnevno svetlobo, zato je z zdravstvenega vidika prostor za svoj namen primerno osvetljen. Drugače so pokazali rezultati KDS v otroški sobi. Vrednost  $KDS_{pov}$  se v obeh primerih zasteklitve giblje okoli 2 %, kar pomeni, da ima prostor zadovoljivo osvetlitev (BS, 2008). Večja je tudi razlika med  $KDS_{med}$  in  $KDS_{pov}$  kar kaže na neenakomerno osvetljen prostor. Rezultati analize osvetljenosti otroške sobe z dnevno svetlobo so sicer zadovoljivi glede na kriterije standarda BS 8206-2, 2008, vendar bi bile zaradi narave prostora (otroška soba, v kateri lahko pričakujemo daljše zadrževanje otroka in opravljanje vizualno bolj zahtevnega dela – učenje) smiselne izboljšave. Izboljšati bi bilo smiselno tako nivo osvetljenosti (kvantitativni kriterij) kot tudi enakomernost distribucije (kvalitativni kriterij).

Na osvetljenost obeh prostorov pa vpliva tudi izbor zasteklitve. V primeru troslojne zasteklitve (povprečna osvetljenost ob oblačnem nebu za dnevno sobo s kuhinjo = 291,20 lx, za otroško sobo = 118,44 lx) je namreč osvetljenost prostora manjša kot v primeru dvo-

slojne zasteklitve (povprečna osvetljenost ob oblačnem nebu za dnevno sobo s kuhinjo = 322,86 lx, za otroško sobo = 130,90 lx), ki v prostor prepušča več dnevne svetlobe. Zato je s tega vidika boljše izbrati dvoslojna okna. Če pa se odločamo o bolj enakomerni osvetlitvi prostora, kar se je pokazalo v primeru dnevne sobe s kuhinjo, je boljša izbira oken s troslojno zasteklitvijo. Razlika osvetljenosti pri različnih zasteklitvah sicer ni zelo velika, saj obstaja več drugih bolj pomembnih dejavnikov, ki preprečujejo dnevni svetlobi, da bi prodrla v notranjost prostora. Pomembnejši med njimi so velikost okenske površine in količina, orientacija, razporeditev okenskih odprtin, okenski okvir, zunanje ovire (npr. drevo pred oknom, sploh v toplejšem delu leta, preprečuje dostop svetlobi v prostor) itd. Pomembna pa sta tudi faktor umazanosti stekel in vpadni kot sončne svetlobe, saj se lahko osvetljenost z dnevno svetlobo v realnih razmerah v primerjavi z idealnimi razmerami (čisto steklo in vpadni kot sončne svetlobe 90°) zmanjša kar za 38 % (Krainer, 2008).

Izbrana prostora sta zadostno osvetljena, zato načeloma ni potrebe po dodatnih oknih, drugačni razporeditvi in postavitvi oken, svetlobnih policah itd. Kljub temu pa bi bilo za otroško sobo zaradi narave prostora smiselno razmisliti o potencialnih spremembah pri zasnovi odprtin ter s tem povečati osvetljenost prostora in tako izboljšati vizualno okolje le-fega. Oba prostora imata relativno visok  $KDS_{pov}$  kar pomeni, da naj bi bila uporaba električne razsvetljave podnevi bolj izjema kot pravilo. Za natančno določitev porabljene energije za umetno razsvetljavo pa bi bilo treba opraviti bolj podroben, celoleten izračun dnevne osvetljenosti ter natančno definirati vzorce uporabe prostorov (Eržen, 2016). Zaradi omejitev in poenostavitev pričujoče

analize takšen izračun ni bil izvedljiv. Veliko dnevne naravne svetlobe bo zelo dobro vplivalo tudi na uporabnika stavbe tako z zdravstvenega kot s socialnega vidika.

### 5.3.2 Analiza GP z možnim negativnim vplivom na zdravje

Tretja osnovna zahteva Uredbe št. 305/2011, tj. Higiena, zdravje in okolje, pravi, da morajo biti gradbeni objekti načrtovani in grajeni tako, da v celotni življenjski dobi ne bodo ogrožali higijene ali zdravja in varnosti delavcev, oseb v objektu ali sosedov ali povzročali čezmernih posledic za kakovost okolja ali podnebje v njihovem celotnem življenjskem ciklu (Uredba, 2011). Izjava o lastnostih bi morala po potrebi vključevati tudi informacije o vsebnosti nevarnih snovi v GP, da bi izboljšali možnosti za trajnostno gradbeništvo in olajšali razvoj okolju prijaznih GP.

S stališča vpliva na zdravje smo pri pregledu GP, ki se pojavijo v stavbi, našli več GP, ki vsebujejo potencialno zdravju škodljive snovi. Za primer podajamo ugotovitve študij za GP iz lesa, ki vsebujejo formaldehid (preglednica 14). Na enak način pa bi lahko analizirali tudi preostale GP. Na osnovi analize se odločimo za zdravju najprijaznejši izdelek.

Formaldehid prištevamo med pomembne onesnaževalce notranjega zraka, kjer koncentracije pogosto presežejo zunanje vrednosti (Šestan, 2013). Formaldehid vsebujejo polikondenzacijska lepila, ki se uporabljajo pri proizvodnji GP iz lesa. Na stopnjo emisije formaldehida imajo vpliv starost vira, vrste materialov, način ogrevanja in prezračevanja, mikroklimatske razmere in prisotnost sekundarnih virov. Obširen pregled študij je dokazal, da so koncentracije, izmerjene v analiziranih študijah, presegle predpisane ali priporočene mejne vrednosti, kar lahko pri izpostavljenih

| GP         | Konstrukcijski sklop                  | Zdravju škodljiva sestavina | Možen vpliv sestavin na zdravje  | Viri  |
|------------|---------------------------------------|-----------------------------|--|---|
| OSB-plošče | Zunanja stena, medetažna konstrukcija | Formaldehid                 | Koncentracije, izmerjene v analiziranih študijah, so pogosto presegle predpisane ali priporočene mejne vrednosti, kar lahko pri izpostavljenih ljudeh povzroča negativne vplive na zdravje, kot so na primer draženje dihalnih poti, glavobol, krči itd. | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Formaldehid v grajenem okolju in možen vpliv na zdravje ljudi (Šestan, 2013).</li> <li>– Volume 88, Formaldehyde, 2-Butoxyethanol and 1-tert-Butoxypropan-2-ol. World Health Organization (WHO, 2006).</li> <li>– Formaldehyde. Occupational Safety and Health Administration (OSHA, 2011).</li> <li>– Formaldehyde - ToxFQA<sup>SM</sup>, Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR, 2015).</li> <li>– Life Cycle Assessment of Urea Formaldehyde Resin (Silva, 2013).</li> <li>– Air change rate and concentration of formaldehyde in residential indoor air (Gilbert, 2008).</li> </ul> |

Preglednica 14 • Možen vpliv OSB-plošč na zdravje ljudi

ljudih povzročajo negativne vplive na zdravje, kot je na primer draženje dihalnih poti. Vpliv na zdravje snovi je namreč odvisen od vrste snovi, časa izpostavljenosti, doze in individualnih značilnosti posameznika (Yassi, 2001). Formaldehid je problematičen v celotni življenjski dobi stavbe in GP. Salthammer s sodelavci poudari, da se v novejših stavbah in ob spremenjenih mikroklimatskih razmerah pogosto pojavijo mnogo višje povprečne in maksimalne koncentracije, ki vodijo do večje

izpostavljenosti in zdravstvenega tveganja, predvsem med občutljivimi posamezniki (Salthammer, 2010).

Nadzor pri viru z izborom GP in opreme, ki so nizkoemisijski, je tudi glavni ukrep za doseganje dobre kvalitete notranjega zraka in učinkovitega zmanjševanja tveganja zaradi izpostavljenosti onesnaževalcem ((Raw, 2004), (Tuomainen, 2001), (CR, 1998)). Da se zaščitijo tudi občutljivi posamezniki, je treba izpeljati celovite ukrepe in preprečiti emisije

nevarnih snovi iz GP in opreme v okolje. Eden bistvenih ukrepov po navedbah (v (Šestan, 2013)) je, da mora biti proizvodnja usmerjena v zdravju in okolju prijazne alternative, kot so izdelki brez vsebnosti formaldehida, ki so že na tržišču. Evropska agencija za kemikalije (ECHA) je objavila, da je formaldehid, ki se med drugim pojavlja tudi v OSB-ploščah, rakotvorna snov, zato bo po uredbi Reach od leta 2017 ta kemikalija prepovedana (ECHA, 2015).

## 6 • DISKUSIJA

Ugotovljeno je bilo, da slovenski proizvajalci montažnih hiš oglašujejo svoje hiše kot pasivne, ničenergijske, nizkoenergijske, zelo dobre nizkoenergijske, visoko učinkovite nizkoenergijske, plusenergijske, eko hiše itd., nikjer pa ni najti hiše, ki bi ustrezala celovito obravnavanim načelom trajnostne stavbe. Pri vseh omenjenih namreč močna vidika okolja in ekonomije zasenčita socialni vidik, sploh pa zdravstvenega. Proizvajalci namreč želijo z zagotavljanjem manjše porabe energije doseči, da bo kupec hiše imel čim manjše stroške

obratovanja, vendar pa pri tem spregledajo, da ta dva vidika posledično lahko slabo vplivata na socialni in zdravstveni vidik.

Razlogov za potenciranje okoljskega in nato ekonomskega vidika je lahko več. Od tega, da verjetno definicija Brundtlantine komisije (WCED, 1987) ni najbolj praktična (ni merljiva, zato se pojavljajo vprašanja, kako sploh oceniti socialni in zdravstveni vidik), interesov po dobičku (to se zgodi le s prodajo, in to konstantno, ali še boljše – naraščajočo prodajo) do tega, da so v veliki večini metode za certi-

ficiranje stavb namenjene inženirjem, katerim pa je poznavanje okolja in ekonomije bližje kot poznavanje zdravstva in sociale.

V preglednici 15 je za konkreten primer enodružinske hiše slovenskega proizvajalca montažnih hiš prikazan doseg ciljev. Cilje smo definirali v koraku 3 na podlagi določenih kazalnikov in njihovih parametrov (korak 2) za vsak vidik posebej. Cilje smo dosegli na področju energetske učinkovitosti stavbe. Na področju vpliva GP na okolje in zdravje, pri analizi stroškov porabe energije ter analizi dnevnega osvetljevanja prostorov pa smo cilje le delno izpolnili. Zato smo določili predloge, s katerimi bi lahko dosegli bolj trajnostno stavbo.

| Vidik       | Analiza   | Kriterij                       | Izbrani parameter   | Doseg ciljev  | Predlogi za izboljšanje  |
|-------------|---|--------------------------------|---|---|--|
| OKOLJSKI    | Analiza energetske učinkovitosti stavbe           | Energetska učinkovitost stavbe | Q primarna, RER   | – Izpolnjevanje zahtev po PURES 2010 in TSG4,<br>– RER > 50 % => dosežen minimalni delež OVE po AN sNES   | /  |
|             | Analiza vpliva GP na okolje                       | Vpliv GP                       | Parametri iz EPD  | – Prevelika količina izpustov CO <sub>2</sub> v celotni življenjski dobi GP<br>– Ni dosežen minimalni delež OVE v končni porabi energije po AN OVE 2010   | – Uporaba okolju prijaznih alternativ GP, ponovna uporaba GP<br>– Vpeljava več OVE v celotni življenjski dobi GP   |
| EKONOMSKI   | Analiza stroškov porabe energije                  | Energetska učinkovitost stavbe | Cena ogrevanja, razsvetljave na podlagi končne energije               | – Primerljivi nizki stroški porabljene energije za delovanje TČ z lesno biomaso<br>– Razlika: visoka začetna investicija TČ   | – Pred nakupom energenta narediti stroškovni pregled v celotni življenjski dobi energenta<br>– Izbira srednjega kakovostnega in cenovnega razreda              |
| ZDRAVSTVENI | Analiza osvetljenosti za izbrani prostor          | Dnevno osvetljevanje prostorov | KDS, osvetljenost   | – Dnevna soba s kuhinjo: dosežena zadostna osvetlitev in enakomerna osvetljenost prostora<br>– Otroška soba: zadovoljiva osvetlitev s pogostejšo uporabo umetne razsvetljave in neenakomerna osvetljenost | – Pri nakupu in vgradnji oken se osredotočiti predvsem na njihovo število, velikost, postavitev in orientiranost (manj na zasteklitev) ter na primerna senčila |
|             | Analiza GP z možnim negativnim vplivom na zdravje | Možen vpliv GP                 | Prisotnost snovi, ki imajo možen negativen vpliv na zdravje in udobje | – Prisotnost GP v stavbi, ki vsebujejo potencialno zdravju škodljive snovi  | – Uvedba zdravju prijaznih alternativ GP<br>– Prepoved GP z vsebnostjo zdravju škodljivih snovi  |

Preglednica 14 • Možen vpliv OSB-plošč na zdravje ljudi

Po podatkih Statističnega urada Republike Slovenije (SURS) je bilo v letu 2014 v slovenskih gospodinjstvih 61 % celotne porabljene energije namenjene za ogrevanje prostorov. Sledi: več kot 17 % za ogrevanje sanitarne vode, za razsvetljavo in električne naprave več kot 15 %, za kuhanje okrog 5 %, za hlajenje prostorov pa približno 0,5 % vse porabljene energije (SURS, 2014). Poraba energije za ogrevanje prostorov je izrazita še posebno v zimskem času, ko se soočimo z visokimi stroški kurjave. Velika poraba energije negativno vpliva tudi na okolje, saj povzroči več izpusta toplogrednih plinov v ozračje. Zato je pomembno, da v stavbi z dobro toplotno izolacijo vseh površin ter s primernimi in zatesnjenimi okni, vrati in drugimi odprtinami poskrbimo za čim manjše toplotne izgube skozi ovoj stavbe, z mehanskim in/ali naravnim prezračevanjem pa zmanjšamo izgube pri prezračevanju. Za ogrevanje, hlajenje, pripravo tople sanitarne vode ter umetno razsvetljavo uporabimo v čim večjem obsegu OVE. Čedalje večja uporaba elektronskih izdelkov in ogromno časa, preživetega v prostoru, kjer je velikokrat potrebna umetna razsvetljava, povzroči, da so tudi stroški razsvetljave čedalje večji. V cilju doseganja večjih finančnih prihrankov in s tem manjšega vpliva na okolje je že v času načrtovanja stavbe bolj smotrna uporaba OVE, ki so tudi okolju bolj prijazni. Analiza energetske učinkovitosti izbrane montažne stavbe je pokazala, da toplotna prehodnost podanih konstrukcijskih sistemov, toplotne izgube in letna potrebna toplota za namen ogrevanja in hlajenja stavbe ustrezajo kriterijem po Pravilniku o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES, 2010) in po Tehnični smernici za graditev (TSG, 2010), kar pomeni, da je izbrani objekt dobro toplotno izoliran in energetsko učinkovit. Za doseganje primerne bivalne klime pa je treba poskrbeti še za stalno prezračevanje stavbe, ustrezno namestitev senčil, potencialno vgraditev klimatske naprave ipd.

V koraku 4 smo ocenili možen vpliv GP na okolje. Izkazalo se je, da imajo uporabljeni GP velik negativen vpliv na okolje in so veliki onesnaževalci. Zato bi bilo treba nujno zmanjšati izpuste CO<sub>2</sub>, zmanjšati porabo vode in energije ter poskrbeti za čim manj

odpadkov. To lahko dosežemo le s čim večjo uporabo OVE, pravilno reciklažo odpadkov ali še bolje, s ponovno uporabo odpadkov kot surovine za nove, z uporabo odpadne vode itd., kjer pa ne moremo izboljšati okoljskih vplivov, pa najti zamenjave GP za okolju bolj prijazne.

Z vidika vlaganj v gradbeni objekt ali GP se investitorji običajno zaradi visokih začetnih stroškov odločajo za najcenejšo možnost. Vendar ta ni vedno najugodnejša, saj je treba upoštevati vseživljenjske stroške gradbenega objekta ali GP. Tako je treba vedno upoštevati začetne stroške ob nakupu, stroške vgradnje oz. gradnje, stroške obratovanja, stroške vzdrževanja, stroške popravil in obnove, stroške ob veliki porabi energije, stroške v primeru krajše življenjske dobe starega in ob nakupu novega GP, stroške zaradi negativnega vpliva na okolje, stroške ob porušitvi in demontaži, stroške zaradi odpadkov in recikliranja itd. Izbor GP ne sme biti opravljen zgolj glede na ceno.

Človek v sodobnem času več kot 90 % časa preživi v zaprtem prostoru (Evans, 1998), zato je primerna osvetljenost delovnih in bivalnih prostorov z dnevno svetlobo ključna za zdravo in udobno bivanje (Košir, 2011). Pomanjkanje dnevne svetlobe namreč lahko privede do sindroma bolne stavbe (SBS) (Kukec, 2014), zmanjšanja koncentracije, izgube energije, zaspanosti, depresije, večje možnosti obolenja za različnimi boleznimi (Boubekri, 2008) itd. Zato je ključnega pomena primerno načrtovana osvetljenost stavbe z dnevno svetlobo. Pri tem je potrebna posebna pozornost pri zadostni količini, distribuciji in preprečevanju bleščanja ter drugih negativnih pojavov, povezanih z dnevno svetlobo.

Okna s troslojno zasteklitvijo imajo boljšo toplotno izolativnost kot okna z dvoslojno zasteklitvijo, vendar pa imajo zaradi večjega števila šip posledično manjšo prepustnost za vidno svetlobo kot tudi za celoten sončni spekter. Zato so z vidika energije res učinkovitejša, ker pa je ta prihranek energije zanemarljiv, so dvoslojna tudi zaradi manjše količine porabljenega materiala ekološko bolj prijazna. Ker dvoslojno zastekljena okna prepuščajo več sončne energije kot troslojna, s tem vplivajo na boljše zdravje in počutje ljudi, njihovo

večjo zbranost in učinkovitost, tako da s tem ustrezemo tudi socialnemu in zdravstvenemu vidiku. Če pa se osredotočimo na vidik enakomernosti osvetlitve, je boljše izbrati troslojna okna, vendar bi lahko enake ali še boljše rezultate dosegli z dvoslojno zasteklitvijo v kombinaciji s primernimi senčili. Senčila pa bi bila dobrodošla tudi s stališča energetske učinkovitosti, saj bi zmanjšala pregrevanje stavbe. Pri obravnavanem primeru se je izkazalo, da izbira zasteklitve ni odločilen kriterij, temveč so bolj pomembni število, velikost, postavitve in orientiranost okenskih površin ter predvsem primerna senčila.

GP pomembno vplivajo na zdravo in udobno bivalno ter delovno vzdušje v prostoru, poleg tega jim ob poplavi informacij o škodljivih energentih, ki jih uporabljamo za ogrevanje stavb, posvečamo premalo pozornosti. V času gradnje namreč poleg GP uporabljamo razna lepila, lake, barve, protipožarne premaze, zaščitna sredstva in druge kemikalije, ki lahko vsebujejo potencialne škodljive snovi, ki se sproščajo v celotni življenjski dobi, vsebujejo zdravju škodljive sestavine ali izpuščajo škodljive hlape in strupene snovi. Zato je pri gradnji stavbe treba preveriti kakovost GP, njihovo vrsto, uporabo, način vgradnje itd. Prav tako je treba preveriti dolgoročen vpliv GP na zdravje, saj se nekatere bolezni pojavijo šele po nekajletni izpostavljenosti GP, in tudi vplive, ki se lahko pojavijo ob uporabi več različnih GP hkrati. Preveriti je treba tudi reakcije GP v posebnih razmerah (velika sprememba temperature, požar itd.), saj se lahko negativni vplivi na zdravje pokažejo šele takrat. Vse to je pomembno preveriti, da uporabniku zagotovimo zdrave bivalne razmere. V procesu gradnje stavbe je ključnega pomena multidisciplinarno sodelovanje, kjer poleg že pristojnih deležnikov po Zakonu o graditvi objektov (ZGO-1, 2015) sodelujejo tudi strokovnjaki javnega zdravja in sanitarnega inženirstva, varstva okolja, strokovnjaki socialnih ved in ekonomije. Multidisciplinarni pristop pa je danes žal redkost. Če želimo celovito oceniti trajnostne vidike stavb, je pomembno, da se vključi tudi zdravstveni vidik, treba je poiskati alternative zdravju škodljivim GP, ozaveščati ljudi o vsebnosti nevarnih snovi v GP, razvijati okolju prijazne GP itd.

rak 2 – definicija trajnostnih kazalnikov, korak 3 – definicija trajnostnih ciljev, korak 4 – analiza in končna ocena. Analiza dejanskega stanja (korak 1) je pokazala, da obstoječi viri literature o ocenjevanju trajnosti večinoma ne vključujejo zdravstvenega vidika. Kazalnike na področju

## 7 • SKLEP

V raziskavi je predstavljena celovita ocena trajnostnih vidikov na konkretnem primeru hiše

slovenskega proizvajalca. Izvedli smo štiri korake: korak 1 – analiza dejanskega stanja, ko-

energetske učinkovitosti objekta, vpliva GP na okolje, stroškov za ogrevanje in razsvetljavo, dnevnega osvetljevanja prostorov in možnega vpliva GP na zdravje smo določili v koraku 2. Analiza in končna ocena trajnosti (korak 4) sta bili opravljeni s pomočjo določenih ciljev in

mejnih vrednosti (korak 3). Analizirani primer enodružinske hiše hkrati ne upošteva vseh štirih vidikov trajnostnega razvoja, saj močna vidika okolja in ekonomije zasenčita zdravstvenega. Raziskava vpeljuje zdravstveni vidik, njegove kazalnike in cilje, z namenom celovitega ocenje-

vanja trajnostnih vidikov gradnje. Predstavljeno oceno je mogoče uporabiti za načrtovanje GP kot tudi stavb v celoti, od faze načrtovanja do odpadka oziroma njegove ponovne uporabe. Pri trajnostni gradnji je v vseh fazah ključno multidisciplinarno sodelovanje.

## 8 • LITERATURA

- AN OVE, Akcijski načrt za obnovljive vire energije za obdobje 2010–2020, Republika Slovenija, Vlada Republike Slovenije, št. 36000-10/2009/27, 8. 7. 2010.
- AN sNES, Akcijski načrt za skoraj ničenergijske stavbe za obdobje do leta 2020, Republika Slovenija, Vlada Republike Slovenije, št. 35100-1/2015/8, 22. 4. 2015.
- Asimow, M., *Introduction to Design*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1962.
- ATSDR, Formaldehyde – ToxFAQs™, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, CAS # 50-00-0, povzeto 15. 1. 2016 po <http://www.atsdr.cdc.gov/toxfaqs/tfacts111.pdf>, 2015.
- Boubekri, M., *Daylighting, architecture and health: Building design strategies*, Oxford: Elsevier, 144, 2008.
- BREEAM, the BRE Environmental Assessment Method, povzeto 19. 11. 2015 po <http://www.breeam.org/index.jsp>, 2015.
- BS, British Standard BS 8206-2 (2008) *Lighting for Buildings, Part 2: Code of Practice for Daylighting*, 2008.
- CASBEE, Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency, povzeto 19. 11. 2015 po <http://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/index.htm>, 2015.
- CIE S 011/E:2003/ISO 15469:2004 (E), *Spatial Distribution of Daylight, CIE Standard General Sky*, 2003.
- CR 1752, *Ventilation for buildings-Design Criteria for the indoor environment*, Technical Committee CEN/TC 156, 1998.
- Dovjak, M., Krainer, A., *A tool for the design of sustainable building concepts*, V: Conference SB13 Munich, *Implementing Sustainability – Barriers and Chances*, Munich, 24.–26. april, 2013.
- Dovjak, M., Kristl, Ž., Košir, M., Krainer, A., *Assessment of Sustainability Aspects of Daylighting in Buildings*, ISES Conference EuroSun, Aix-les-Bains (France), 16.–19. september, 2014.
- ECHA, Formaldehyde, Annex XIV of REACH (»Authorisation List«), European Chemicals Agency, povzeto 15. 1. 2016 po <http://echa.europa.eu/addressing-chemicals-of-concern/authorisation/recommendation-for-inclusion-in-the-authorisation-list/authorisation-list/-/substance-rev/75/term>, 2015.
- EPD1, Okoljska izjava za beton, Environmental Product Declaration (EPD), povzeto 25. 1. 2016 po <http://gryphon.environdec.com/data/files/6/7503/epd108e.pdf>, 2006.
- EPD2, Okoljska izjava za cementni estrih, Environmental Product Declaration (EPD), povzeto 25. 1. 2016 po [http://gryphon.environdec.com/data/files/6/11250/epd651\\_Weber\\_Floor.pdf](http://gryphon.environdec.com/data/files/6/11250/epd651_Weber_Floor.pdf), 2015.
- EPD3, Okoljska izjava za ekspanzirani polistiren (EPS), Environmental Product Declaration (EPD), povzeto 25. 1. 2016 po [http://gryphon.environdec.com/data/files/6/11261/epd695\\_eps\\_insulation\\_board\\_ANIQ.pdf](http://gryphon.environdec.com/data/files/6/11261/epd695_eps_insulation_board_ANIQ.pdf), 2015.
- EPD4, Environmental Construction Products Organisation, Okoljska izjava za ekstrudirani polistiren (XPS), povzeto 25. 1. 2016 po [http://www.ursa.si/sl-si/izdelki/documents/exiba\\_epd\\_za\\_xps-slo.pdf](http://www.ursa.si/sl-si/izdelki/documents/exiba_epd_za_xps-slo.pdf), 2010.
- EPD5, Environmental Product Declaration, Okoljska izjava za mavčno kartonsko ploščo, povzeto 25. 1. 2016 po <http://gryphon.environdec.com/data/files/6/10311/epd582%2012.5mm%20Gyproc%20WallBoard.pdf>, 2014.
- EPD6, Okoljska izjava za bitumenski trak, Environmental Product Declaration (EPD), povzeto 25. 1. 2016. po [http://gryphon.environdec.com/data/files/6/9113/epd414e\\_Bitumem\\_Waterproofing\\_Association\\_Rev1.1\\_.pdf](http://gryphon.environdec.com/data/files/6/9113/epd414e_Bitumem_Waterproofing_Association_Rev1.1_.pdf), 2013.
- Eržen, J., Košir, M., *Dinamične metrike za oceno dnevne osvetljenosti in njihova uporaba pri analizi učilnic v slovenskih osnovnih šolah*, *Gradbeni vestnik* 65, 41–53, 2016.
- Evans, G. W., McCoy, J. M., *When buildings don't work: The role of architecture in human health*, *Journal of Environmental Psychology*, Elsevier, l. 18, str. 85–94, 1998.
- GBTool, Green Building Tool, povzeto 19. 11. 2015 po <http://iisbe.org/iisbe/gbc2k5/gbc2k5-start.htm>, 2005.
- Gilbert, N. L., Guay, M., Gauvin, D., Dietz, R. N., Chan, C. C., Levesque, B., *Air change rate and concentration of formaldehyde in residential indoor air*, *Atmospheric Environment* 42: 2424–2428, 2008.

- Hikmat, H. A., Saba, F. A. N., Developing a green building assessment tool for developing countries – Case of Jordan, *Building and Environment*, Volume 44, Issue 5, str. 1053–1064, maj 2009.
- ISJFR, Inštitut za slovenski jezik Frana Ramovša, povzeto 11. 10. 2016 po <http://isjfr.zrc-sazu.si/sl/terminologisce/svetovanje/trajnostni-trajnostnost#v>, 2016.
- ISO 14025:2006. Environmental labels and declarations – Type III Environmental declarations – Principles and procedures. ISO: 25 str., 2006.
- Košir, M., Krainer, A., Dovjak, M., Kristl, Ž., Automatically controlled daylighting for visual and non-visual effects, *Lighting Research and Technology*, SAGE, l. 43, št. 4, str. 439–455, 2011.
- Krainer, A., Košir, M., Kristl, Ž., Dovjak, M. Pasivna hiša proti bioklimatski hiši, *Gradbeni vestnik* 57: 58–68, 2008.
- Krainer, A., Predan, R. Računalniški program (TOST) za izračun podatkov, potrebnih za končno poročilo oziroma dokaz o ustreznosti toplotne zaščite stavbe. Ljubljana, UL FGG, 2009.
- Kukec, A., Dovjak, M. Prevention and control of sick building syndrome (SBS), Part 1, Identification of risk factors, *Sanitarno inženirstvo*, ISSN 1854-0678, dec. 2014, no. 1, vol. 8, str. 16–40, 2014.
- Kukec, A., Dovjak, M. Prevention and control of sick building syndrome (SBS). Part 2, Design of a preventive and control strategy to lower the occurrence of SBS. *Sanitarno inženirstvo*, ISSN 1854-0678, dec. 2014, no. 1, vol. 8, str. 41–55, 2014.
- LEED, Leadership in Energy and Environmental Design, povzeto 19. 11. 2015 po <http://www.leed.net/>, 2010.
- OSHA, Formaldehyde, Occupational Safety and Health Administration, povzeto 15. 1. 2016 po [https://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH\\_242600.html](https://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH_242600.html), 2011.
- Pheasant, S., Ergonomics, work and health. Houndmills, London, MacMillan Press, 1991, 358 str.
- PURES, Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah, Uradni list RS, št. 52/2010.
- Raw, G. J., Coward, S. K. D., Brown, V. M., Crump, D. R., Exposure to air pollutants in English homes, *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, l. 14, S85–S94, 2004.
- Rio Declaration on Environment and Development, The United Nations Conference on Environment and Development, povzeto 17. 11. 2015 po <http://habitat.igc.org/agenda21/rio-dec.htm>, 1992.
- Salthammer, T., Mentese, S., Marutzky R., Formaldehyde in the Indoor Environment, *Chem Rev.*, l. 110, št. 4, str. 2536–2572, 2010.
- Silva, D. A. L., Mendes, N. C., Varanda, L. D., Ometto, A. R., Lahr, F. A. R., Life Cycle Assessment of Urea Formaldehyde Resin: Comparison by CML (2001), EDIP (1997) and USEtox (2008) Methods for Toxicological Impact Categories, V: Re-engineering Manufacturing for Sustainability: Proceedings of the 20th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, Singapore, 529-534, 17.–19. april, 2013.
- SIST EN 12464-1:2011, Svetloba in razsvetljava – Razsvetljava na delovnem mestu, 1. Del, Notranji delovni prostori, 2011.
- SIST EN 15193: 2007, Energijske lastnosti stavb – Energijske zahteve za osvetlitev, 2007.
- SURS, Poraba energije in goriv v gospodinjstvih, Slovenija, Statistični urad Republike Slovenije, povzeto po <http://www.stat.si/StatWeb/prikazinovico?id=5495&idp=5&headerbar=4>, 2014.
- Šestan, P., Kristl, Ž., Dovjak, M. Formaldehid v grajenem okolju in možen vpliv na zdravje ljudi, *Gradbeni vestnik* 62: 190–203, 2013.
- Tehnična smernica za graditev TSG-1-004:2010. Učinkovita raba energije. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor: 106 str., 2010.
- Török, T. Metoda za načrtovanje trajnostne stavbe, Diplomsko naloga, Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 109 str, 2013.
- Tuomainen, M., Pasanen, A.L., Tuomainen, A., Liesvuori, J., Juvonen, P., Usefulness of the Finnish classification of indoor climate, construction and finishing materials: comparison of indoor climate between two new blocks of flats in Finland, *Atmospheric Environment*, l. 35, št. 2, str. 305–313, 2001.
- Uredba št. 305/2011 Evropskega parlamenta in Sveta z dne 9. marca 2011 o določitvi usklajenih pogojev za trženje gradbenih proizvodov in razveljavitvi Direktive sveta 89/106/EGS. Uradni list Evropske unije, L88, 4. 4. 2011.
- VELUX Daylight Visualizer 3. Računalniški program. Povzeto 20. 2. 2016 po: <http://viz.velux.com/>, 2016.
- Vovk, M., Priročnik za načrtovanje in prilagajanje grajenega okolja v korist funkcionalno oviranim ljudem, Urbanistični inštitut RS, 2000.
- WCED, Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future, World Commission on Environment and Development, povzeto 17. 11. 2015 po <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>, 1987.
- WHO, World Health Organization, Formaldehyde, Volume 88, 2-Butoxyethanol and 1-tert-Butoxypropan-2-ol, IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, povzeto 15. 1. 2016 po <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol88/mono88.pdf>, 2006.
- Wikipedia, Sustainability, povzeto 2. 12. 2015 po <https://en.wikipedia.org/wiki/Sustainability>, 2015.
- Wikipedia, Sustainable development, povzeto 2. 12. 2015 po [https://en.wikipedia.org/wiki/Sustainable\\_development](https://en.wikipedia.org/wiki/Sustainable_development), 2015.
- Yassi, A., Kjellström, T., de Kok, T., Guidotti, T., Basic Environmental Health, Oxford, Oxford University Press, 2001.
- ZGO-1, Zakon o graditvi objektov (ZGO-1), Uradni list RS, št. 102/04 – uradno prečiščeno besedilo, 14/05 – popr., 92/05 – ZJC-B, 93/05 – ZVMS, 111/05 – odl. US, 126/07, 108/09, 61/10 – ZRud-1, 20/11 – odl. US, 57/12, 101/13 – ZDavNep, 110/13 in 19/15, 2015.

# NOVA METODA ZA IZRAČUN KAPACITETE KROŽNEGA KRIŽIŠČA Z UPOŠTEVANJEM VPLIVA IZVOZNEGA TOKA

## NEW METHOD FOR THE CALCULATION OF ROUNDABOUT CAPACITY CONSIDERING EXITING FLOW IMPACT

**mag. Simona Perme, univ. dipl. inž. grad.**

simona.perme@dri.si

DRI upravljanje investicij, d. o. o.

Kotnikova 40, Ljubljana

**doc. dr. Tomaž Maher, univ. dipl. inž. grad.**

tomaz.maher@fgg.uni-lj.si

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

Jamova 2, Ljubljana

**Znanstveni članek**

UDK 625.739:656.021-047.58

**Povzetek** | Analiza pretoka prometa in izračun kapacitete uvoznega kraka v krožno križišče sta predmet raziskav številnih avtorjev v zadnjih desetletjih. Večina analiz temelji na empiričnih in stohastičnih modelih, med seboj pa se razlikujejo po definiciji konfliktnega toka. Modeli, ki temeljijo na teoriji sprejemljivih časovnih praznin, ne upoštevajo izvoznega prometnega toka, temveč za konfliktni tok upoštevajo samo krožni prometni tok, ki je v krožnem križišču pred posameznim uvozom v krožno križišče. Nova oziroma predpostavljena metoda PTI temelji na uporabi modelov sprejemljivih časovnih praznin in teorije strežbe, pri čemer sta za konfliktni tok upoštevana krožni in izvozni prometni tok pred analiziranim uvozom v krožno križišče. Za osnovo smo uporabili model sprejemljivih časovnih praznin, ki je znan kot Brilonov model. Predlagana metoda je preverjena na enopasovnem krožnem križišču z enopasovnima uvozom in izvozom, glede na izpeljavo metode pa bi lahko veljala tudi za večpasovna krožna križišča. Rezultate smo primerjali z rezultati uveljavljenih modelov avtorjev Brilona in Bovyja. S pomočjo enačbe za izračun povprečnih zamud so na osnovi izračunane kapacitete določene zamude, ki pa smo jih medsebojno primerjali na osnovi rezultatov mikroskopske simulacije s programskim orodjem PTV VISSIM.

**Ključne besede:** krožno križišče, kapaciteta, zamude

**Summary** | Analysis of traffic flow in roundabouts and calculation of their entry lane capacity has been a subject of research of several authors in the last decades. The majority of methods focus on empirical and stochastic models which differ in the definition of the conflict flow. No gap acceptance model in the literature takes the exiting traffic flow into account when estimating capacity – all methods are based on taking into account only circulating flow. The proposed PTI method is based on the models developed using the gap acceptance and queuing theory. It extends the most widely used Brilon model by considering both the circulating and the exiting flow. The proposed method was tested on a simple roundabout with one entry, exit and circulating lane. The roundabout entry capacity and the average delay per vehicle were calculated using the PTI method and Brilon and Bovy model. The average driver's delay for all analytical models is calculated by the same delay equation. The results were compared to the quasi observed data. Sources of the quasi observed data were compared with the results of the microscopic simulation using the PTV VISSIM software.

**Keywords:** roundabout, capacity, delays

## 1 • UVOD

Nivojska križišča prometnic so bila zaradi svojega pomena že od nekdaj predmet raziskav in skrbnega načrtovanja prometnih strokovnjakov. Križišča so kritični element učinkovitosti cestne mreže, njihova prepustnost pa lahko pomeni ozko grlo. Izbira vrste križišča temelji na različnih kriterijih. Kapaciteta oziroma kriterij pretočnosti je vsekakor eden ključnih. Večina analiz za določitev kapacitete uvozov v krožno križišče temelji na empiričnih in analitičnih modelih. Določitev kapacitete uvoznega pasu in/ali povprečne zamude voznikov sta glavna kazalnika pretočnosti križišča. Vse metode za določitev kapacitete temeljijo na odvisnosti primarnih oziroma konfliktnih in sekundarnih tokov. Metode se razlikujejo le po definiciji

konfliktnega toka. Nekateri avtorji menijo, da ima izvozni tok ravno tako vpliv na kapaciteto uvoznega pasu (Fortuijn, 2009). Potreba po upoštevanju vpliva izvoznega toka tik pred analiziranim uvozom v krožno križišče na kapaciteto uvoza temelji na dejstvu, da le del voznikov, ki zapuščajo krožno križišče, nakaže svojo namero z desnimi utripalkami. To pomeni, da bi bilo treba pri izračunu kapacitete upoštevati ne samo krožnega prometnega toka v krožnem križišču, ampak vsaj delno tudi izvozni tok. V kolikšni meri se upošteva izvozni tok, pa je odvisno od razdalje med točko uvoza in izvoza ter voznikovih reakcij oziroma voznikovega obnašanja. Če je za naključnega voznika pri uvozu sprejem-

ljiva mejna časovna praznina v krožnem toku manjša kot čas, ki je potreben, da vozilo v tem toku prevozi razdaljo med točko uvoza in izvoza, na kapaciteto uvoza vpliva samo jakost krožnega prometnega toka v krožnem križišču, sicer pa menimo, da je treba pri izračunu kapacitete upoštevati tudi prometni tok, ki pred analiziranim uvozom zapušča krožno križišče.

Nova oziroma predpostavljena metoda (v nadaljevanju poimenovana metoda PTI) temelji na uporabi modelov sprejemljivih časovnih praznin, pri čemer sta za konfliktni tok upoštevana tako krožni kot izvozni prometni tok. Za model sprejemljivih časovnih praznin je uporabljen najbolj pogosto zastopan t.i. Brilonov model (Brilon, 1997).

Namen članka je prikaz izpeljave nove metode za izračun kapacitete uvoza z upoštevanjem izvoznega toka pri krožnih križiščih.

## 2 • DOSEDANJE RAZISKAVE KAPACITETE KROŽNIH KRIŽIŠČ

Pri določanju kapacitete krožnih križišč lahko ločimo dva pristopa – empirični modeli in stohastični modeli, kot so na primer modeli sprejemljivih časovnih praznin.

Pri empiričnih modelih matematično razmerje med jakostjo konfliktnega prometnega toka pred uvozom v krožno križišče ( $Q_C$ ) in kapaciteto uvoznega kraka ( $C_E$ ) izhaja iz meritev pri obstoječih krožnih križiščih. Leta 1980 je Kimber izpeljal linearno odvisnost med  $Q_C$  in  $C_E$ . V letu 1986 se je tudi Cetur pojavil s formulo, ki je temeljila na linearni odvisnosti. 1991. pa je Ceturjevo formulo nekoliko prilagodil švicarski raziskovalec Bovy (Yperman, 2003).

$$C_E = \frac{1500 - \frac{8}{9} \cdot Q_C}{\gamma} \quad (1)$$

$$Q_C = \beta \cdot Q_R + \alpha \cdot Q_S \quad (2)$$

Kjer je:

$C_E$  – kapaciteta uvoza (EOV/h);

$Q_C$  – jakost konfliktnega prometnega toka (EOV/h);

$Q_R$  – jakost krožnega prometnega toka (EOV/h);

$Q_S$  – jakost prometnega toka pri izvozu (EOV/h);

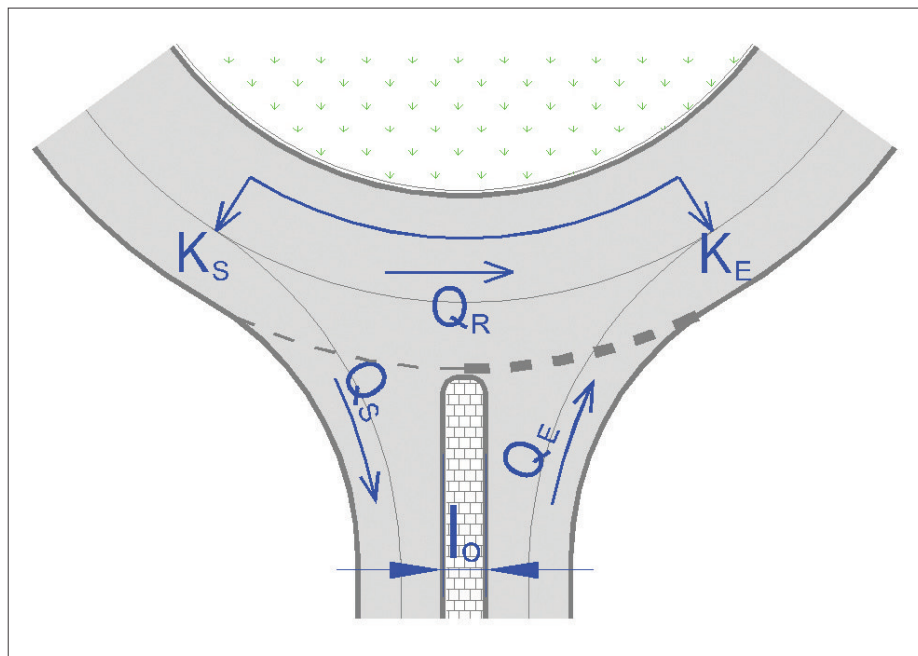
$\alpha$  – faktor ločne razdalje  $K_S$ - $K_E$  (-);

$\beta$  – faktor števila voznih pasov v krožnem vozišču (1:  $0,9 \leq \beta \leq 1$ ; 2:  $0,6 \leq \beta \leq 0,8$ ; 3:  $0,5 \leq \beta \leq 0,6$ );

$\gamma$  – faktor števila voznih pasov pri uvozu (1:  $\gamma = 1$ ; 2:  $0,6 \leq \gamma \leq 0,7$ ; 3:  $\gamma = 0,5$ ).

Faktor  $\alpha$ , določa vpliv izhodnega prometnega toka na kapaciteto uvoza v krožno križišče in je odvisen od geometrije krožnega križišča oziroma od razdalje krožnega loka  $K_S$ - $K_E$ , kot je prikazano na sliki 1.

Večina analiz, ki obravnavajo promet v nese-maforiziranem križišču, temelji na stohastičnih modelih. Primer je teorija sprejemljive časovne praznine med vozili, pri kateri je predpostavljeno, da neprednostni tok vozil lahko uvozi v križišče le, ko je interval do naslednjega prihajajočega vozila s prednostjo večji od mejne časovne praznine. Več vozil z neprednostne smeri zaporedno uvozi v križišče v intervalu časovnih praznin sledenja, dokler na prednostni smeri ne pripelje naslednje vozilo. Osnova za model, ki temelji na metodi



Slika 1 • Prometni tokovi: uvozni  $Q_C$ , krožni  $Q_R$  in izvozni  $Q_S$ , ter ločna razdalja  $K_S$ - $K_E$



sprejemljivih časovnih praznin, je Tannerjeva enačba, ki jo je Wu prilagodil izračunu kapacitete za krožna križišča (Brilon, 2011). Enačba se imenuje tudi Brilonova enačba oziroma Brilonov model.

$$C_E = 3600 \cdot \left(1 - \frac{t_{min} \cdot Q_R}{n_c \cdot 3600}\right)^{n_c} \cdot \frac{n_s}{t_f} \cdot e^{-\frac{Q_R}{3600} \left(t_c - \frac{t_f}{2} - t_{min}\right)} \quad (3)$$

Kjer je:

$C_E$  – kapaciteta uvoza (EOV/h);

$Q_R$  – obremenitev v krožnem vozlišču (EOV/h);

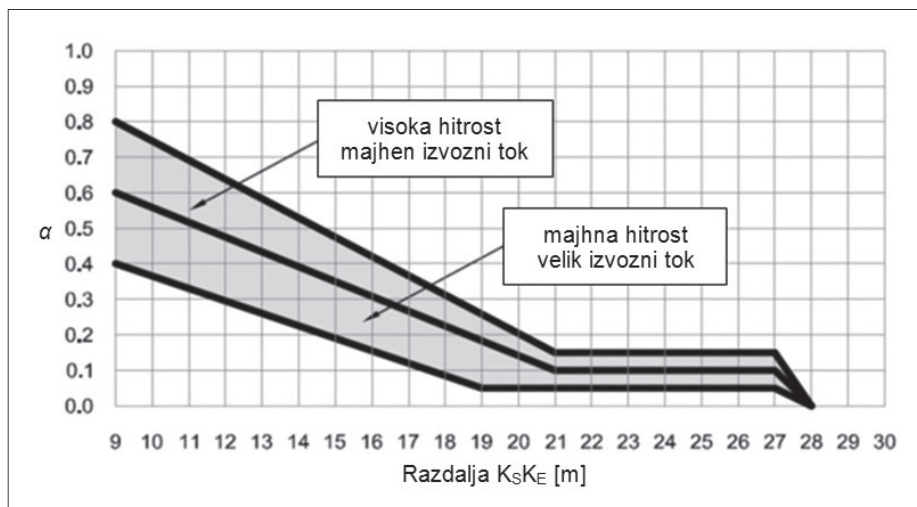
$n_c$  – število voznih pasov v krožnem križišču (-);

$n_s$  – število pasov pri uvozu (-);

$t_c$  – mejna časovna praznina (s);

$t_f$  – časovna praznina sledenja (s);

$t_{min}$  – minimalna časovna praznina med vozili v krožnem toku (s).



Slika 2 • Definicija faktorja  $\alpha$  (Kenjić, 2009), str. 32

### 3 • IZPELJAVA ENAČBE ZA IZRÄČUN KAPACITETE Z UPOŠTEVANJEM IZVOZNEGA TOKA PRI KROŽNIH KRIŽIŠČIH

Če je kritična oziroma mejna časovna praznina  $t_c$ , ki omogoča vozilu pri uvozu, da se vključi v krožno križišče, manjša od časa, potrebnega za vožnjo od točke izvoza do točke uvoza, potem voznik upošteva za konfliktni tok le krožni prometni tok. Če pa je mejna časovna praznina večja od časa, potrebnega za vožnjo od točke izvoza do točke uvoza, mora upoštevati poleg krožnega prometnega toka tudi izvozni tok.

Osnovna ideja predlagane metode, ki jo bomo v nadaljevanju zaradi lažjega opisovanja poimenovali tudi metoda PTI, je, da se najprej določi delež vozil, ki imajo mejno časovno praznino manjšo od časa  $t_K$ , potrebnega za vožnjo od točke  $K_E$  do točke  $K_S$ . Ta čas je poleg hitrosti odvisen tudi od širine otoka  $l_o$  med uvoznim in izvoznim pasom (slika 2.1)

#### 3.1 Izračun deleža vozil z mejno časovno praznino $t_c$ manjšo od časa $t_K$

Predpostavi se, da je mejna časovna praznina  $t_c$  porazdeljena z Erlangovo verjetnostno funkcijo, kot jo je predpostavil tudi Wu (Wu, 2001).

$$f(t_c) = \frac{\lambda}{(\alpha - 1)!} \cdot (\lambda t_c)^{\alpha - 1} \cdot e^{-\lambda t_c} \quad (4)$$

Kumulativna porazdelitvena funkcija je prikazana v enačbi (5).

$$F(t_c) = 1 - \sum_{n=0}^{\alpha-1} e^{-\lambda t_c} \cdot \frac{(\lambda t_c)^n}{n!} \quad (5)$$

$$\lambda = \frac{\alpha}{t_c} \quad (6)$$

Kjer je:

$\alpha$  – parameter Erlangove porazdelitvene funkcije;

$t_c$  – povprečna vrednost mejne časovne praznine.

Če se v enačbi (5) predpostavi, da je  $\alpha = 5$  (Brilon, 1997), se lahko z enačbo (7) določi delež voznikov, ki imajo mejno časovno praznino  $t_c$  manjšo od časa  $t_K$ .

$$P(t_c < t_K) = 1 - e^{-\lambda t_K} - e^{-\lambda t_K} \cdot \lambda t_K - \frac{e^{-\lambda t_K} \cdot (\lambda t_K)^5}{120} - \frac{e^{-\lambda t_K} \cdot (\lambda t_K)^2}{2} - \frac{e^{-\lambda t_K} \cdot (\lambda t_K)^3}{6} - \frac{e^{-\lambda t_K} \cdot (\lambda t_K)^4}{24} \quad (7)$$

Delež voznikov, ki pa imajo časovno praznino  $t_c$  večjo od časa  $t_K$ , pa se določi z enačbo (8).

$$P(t_c > t_K) = 1 - (P(t_c < t_K)) \quad (8)$$

#### 3.2 Izpeljava kapacitete

Pri izračunu kapacitete uvoza je pomembno, kateri konfliktni tok se upošteva:

- če je mejna časovna praznina manjša od časa, potrebnega za vožnjo od izvozne točke do točke uvoza, potem na kapaciteto uvoza vpliva samo krožni prometni tok  $Q_R$ ;
- če pa je mejna časovna praznina večja od časa, potrebnega za vožnjo od izvozne točke do točke uvoza, na kapaciteto uvoza poleg krožnega prometnega toka  $Q_R$  vpliva tudi izvozni prometni tok  $Q_S$ .

Kapaciteta uvoza  $C_E$  se zapiše z enačbo (9).

$$C_E = P(t_c < t_K) \cdot C_E(Q_R) + P(t_c > t_K) \cdot C_E(Q_R + Q_S) \quad (9)$$

Za izračun  $C_E(Q_R)$  in  $C_E(Q_R + Q_S)$  se uporabi Brilonova enačba (3).

$$C_E(Q_R) = 3600 \cdot \left(1 - \frac{t_{min} \cdot Q_R}{n_c \cdot 3600}\right)^{n_c} \cdot \frac{n_s}{t_f} \cdot e^{-\frac{Q_R}{3600} \left(t_c - \frac{t_f}{2} - t_{min}\right)} \quad (10)$$

$$C_E(Q_R + Q_S) = 3600 \cdot \left(1 - \frac{t_{min} \cdot (Q_R + Q_S)}{n_c \cdot 3600}\right)^{n_c} \cdot \frac{n_s}{t_f} \cdot e^{-\frac{(Q_R + Q_S)}{3600} \left(t_c - \frac{t_f}{2} - t_{min}\right)} \quad (11)$$

### 3.3 Primerjava predlagane metode z drugimi modeli

Metoda PTI je preizkušena na enopasovnem krožnem križišču z enopasovnim uvozom in izvozom ter notranjim polmerom 17,25 m ter voznim pasom širine 5 m. Za primerjavo rezultatov, pridobljenih z metodo PTI, je kapaciteta določena tudi z dvema uveljavljenima modeloma, in sicer z Brilonovim modelom, ki temelji na teoriji sprejemljivih časovnih praznin, ter Bovyjevem empiričnim modelom. S pomočjo enačbe (12), ki predstavlja izračun povprečnih zamud (HCM, 2000), so iz kapacitete določene zamude, ki pa so primerjane z rezultati mikroskopske simulacije, izdelane s programskim orodjem PTV VISSIM.

$$d_E = \frac{3600}{C_E} + 900 \cdot T \cdot \left[ \frac{Q_E}{C_E} - 1 + \sqrt{\left( \frac{Q_E}{C_E} - 1 \right)^2 + \frac{3600 \cdot Q_E}{C_E \cdot C_E \cdot 450 \cdot T}} \right] \quad (12)$$

Kjer je:

$d_E$  – povprečna zamuda na vozilo pri uvozu v krožno križišče (s);

$Q_E$  – uvozni prometni tok (EOV/h);

$C_E$  – kapaciteta uvoza (EOV/h);

$T$  – čas analize (h).

Za konfliktno tokove smo upoštevali: krožni prometni tok  $Q_R$ , vstopni prometni tok  $Q_E$  in izvozni prometni tok  $Q_S$  v vrednostih po 100 EO/h od 0 do 500 EO/h. Pri izračunu kapacitete oziroma zamud so izdelane vse kombinacije med vrednostmi prometnih tokov.

Glede na to, da je vpliv izvoznega toka pri predlagani metodi PTI odvisen od razdalje med točko uvoza in izvoza (razdalja  $K_S - K_E$ ), so v primeru obravnavane različne dolžine te razdalje, in sicer po 2 m, od 16 do 24 m. Pri izračunu časa  $t_k$ , potrebnega za prevoz te razdalje, je upoštevana hitrost vozil 25 km/h.

Pri Bovyjevem modelu so upoštevani naslednji faktorji:

$\gamma = 1$

$\beta = 0,95$

V Brilonovem modelu pa so predpostavljene naslednje časovne praznine:

$\bar{t}_c = 3,3$  s

$t_f = 3,0$  s

$t_{min} = 2,0$  s

### 3.4 Izračun kapacitete in zamud

Za vse kombinacije prometnih obremenitev in razdalje med uvoznim in izvoznim tokom, skupaj jih je 900, je bila simulacija prometa za en krak krožnega križišča izdelana s programskim orodjem PTV VISSIM. Obdelava rezultatov izračunov za metodo PTI ter za Brilonov in Bovyjev model je bila izdelana s programskim orodjem MS Access.

Na sliki 3 so za vse primere prikazane naraščajoče zamude, in sicer glede na rezultate povprečnih zamud iz simulacije, s programskim orodjem VISSIM. Opazi se, da zamude pri simulaciji narastejo čez 350 s, pri čemer vsa vozila ne pridejo skozi krožno križišče, kar pomeni, da je križišče že doseglo stopnjo zasičenosti. Zamude pri metodi PTI veliko počasneje naraščajo in znašajo največ nekaj čez 20 s, pri Bovyjevem in Brilonovem modelu pa ne presežejo 10 s.

Za preveritev zanesljivosti in verodostojnosti metode smo rezultate metode primerjali z rezultati simulacije s programskim orodjem PTV VISSIM.

Primerjava je narejena glede na posamezne zamude, in sicer z naslednjima dvema meriloma:

- statistično analizo vrednosti GEH in
- regresijsko analizo.

GEH je metoda za oceno ustreznosti prometnega modela, ki jo priporoča angleški Department for Transport v svojem priročniku Design Manual for Roads and Bridges (DMRB, 1997). Statistična metoda GEH je empirična formula, ki se je izkazala za koristno pri različnih namenih analize prometa, predvsem analizi prometnih obremenitev.

$$GEH = \sqrt{\frac{2 \cdot (M - C)^2}{M + C}} \quad (13)$$

Kjer je:

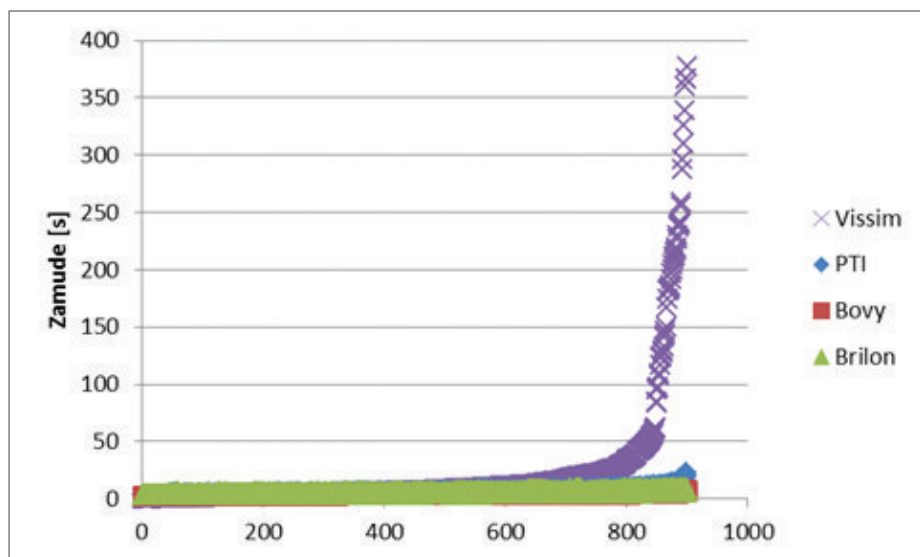
$M$  – prometna obremenitev pri modelu;

$C$  – prometna obremenitev pri šteju prometa.

Po smernicah DMRB je priporočeno, da 85 % posameznih primerov naj ne bi imelo vrednosti GEH večje kot 5.

| Prometni tok | (EOV/h) |     |     |     |     |     |
|--------------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|
| $Q_R$        | 0       | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 |
| $Q_S$        | 0       | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 |
| $Q_E$        |         | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 |

Preglednica 1 • Vrednosti krožnega  $Q_R$ , izvoznega  $Q_S$  in uvoznega  $Q_E$  prometnega toka



Slika 3 • Povprečne zamude na vozilo po velikosti glede na rezultat simulacije s programskim orodjem VISSIM za 900

V obravnavanem primeru se namesto para- metra prometnih obremenitev uporabi para- meter zamude, model predstavlja predlaga- na metoda, štetje prometa pa se nadomesti z zamudami, pridobljenimi s simulacijo pro- meta s programskim orodjem VISSIM.

$M \rightarrow d_{PTI}$  – zamuda pri metodi PTI (s)

$C \rightarrow d_{VISSIM}$  – zamuda pri simulaciji pro- meta s programskim orodjem VISSIM (s)

Rezultat statistične metode GEH je prikazan v preglednici 2. Za primerjavo sta poleg metode PTI dodana tudi Bovyjev in Brilonov model. Vrednost GEH je pri metodi PTI v 38 primerih od 835 večja od 5, kar pomeni, da je v 95,8 % primerov vrednost GEH < 5. Rezultat pri Bovyjevem in Brilonovem modelu je neko- liko slabši od rezultata za metodo PTI, vendar je rezultat še vedno v predpisanih mejah. Na osnovi rezultata statistične metode GEH se ocenjuje, da je metoda PTI ustrezna.

Regresijska analiza je pomembna za opis zveze med eno ali več neodvisnimi spremen- ljivkami in odvisno spremenljivko z ustreznim regresijskim modelom. Koefficient  $R^2$ , s kate- rim se meri povezava, določena z regresijsko premico med neodvisno spremenljivko  $x$  in odvisno spremenljivko  $y$ , se imenuje determi- nacijski koeficient ali koeficient določenosti.  $R^2$  zavzema vrednosti od 0 do 1. V primeru, ko je  $R^2 = 1$ , je napaka modela  $E = 0$ , in je med spremenljivkama  $x$  in  $y$  popolna povezava. Ko pa je  $R^2 = 0$ , takrat med spren- menjivkama ni odvisnosti. V situaciji, ko je  $0 < R^2 < 1$ , sta spremenljivki  $x$  in  $y$  povezani: če je  $R^2$  večji in bližje 1, se izbrana funkcija bolje prilega podatkom, in nasprotno, če je  $R^2$  majhen, se izbrana funkcija ne prilega dobro podatkom in model ni dober za dane podatke (Korenjak, 2010).

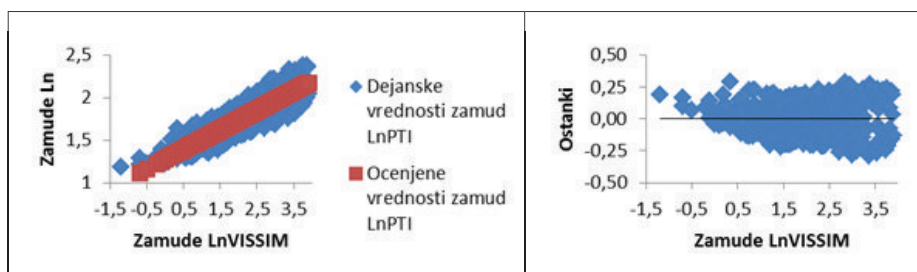
Poleg vrednosti  $R^2$  je pomemben tudi rezultat grafičnega prikaza regresijske funkcije, okrog katere morajo vrednosti variirati s konstantno varianco. Če je model pravilen, so ostanki simetrično razporejeni okrog premice (hori- zontalne črte) s povprečno vrednostjo 0.

Za regresijsko analizo je izbrana potenčna regresijska krivulja, saj je v primeru, ko neka spremenljivka narašča eksponencialno, odnos med spremenljivkama  $x$  in  $y$  v obliki krivulje (Baker, 2008).

Na sliki 4 je prikazan razsevni diagram za logaritmirane zamude metode PTI v odvis- nosti od logaritmiranih zamud VISSIM. Na desnem diagramu so prikazane vrednosti ostankov (residualov) med dejanskimi in

|                | Število primerov z GEH > 5 | Odstotek primerov z GEH < 5 | Povprečni GEH |
|----------------|----------------------------|-----------------------------|---------------|
| Metoda PTI     | 38                         | 95,8 %                      | 1,56          |
| Bovyjev model  | 67                         | 92,6 %                      | 1,94          |
| Brilonov model | 50                         | 94,4 %                      | 1,74          |

Preglednica 2 • Rezultat statistične metode GEH za zamude pri metodi PTI ter Bovyjevem in Brilonovem modelu v primerjavi z rezultati simulacije prometa s programskim orodjem VISSIM



Slika 4 • Razsevni diagram za logaritmirane zamude VISSIM in PTI z vrisano logaritmirano potenčno regresijsko krivuljo (levo) ter diagram ostankov (desno) za metodo PTI

ocenjenimi vrednostmi logaritmiranih zamud. Na levem diagramu je razvidno, da vrednosti variirajo okrog regresijske premice s kon- stantno varianco, ostanki na desnem dia- gramu pa so simetrično porazdeljeni okrog premice z vrednostjo 0. Glede na grafične re- zultate menimo, da je metoda PTI ustrezna. V preglednici 3 so prikazani povzetki rezultatov regresijske analize (ANOVA) za vse tri primere (metoda PTI ter Bovyjev in Brilonov model). Glede na rezultate menimo, da je regresijski model za metodo PTI ustrezen. Glede na rezultate statistične analize vrednosti GEH in regresijske analize je metoda PTI ustre- na in je primerna za nadaljnjo uporabo.

### 3.5 Analiza rezultatov

V nadaljevanju je v obliki preglednice in dia- grama prikazana analiza rezultatov nekate- rih primerov. Razvidno je, da je kapaciteta, določena z metodo PTI, manjša od kapa- citete, določene z Bovyjevem in Brilonovim modelom. V primeru, ko izvozni prometni tok ( $Q_s$ ) narašča ali ko narašča razdalja od točke  $K_E$  do točke  $K_S$ , ki jo v nadaljevanju poimenujemo  $l_K$ , se vidi, da so zamude, določene z Brilonovim modelom, ves čas konstantne, medtem ko zamude, določene z drugimi metodami, padajo, kar je po našem mnenju pravilno in ustrezno.

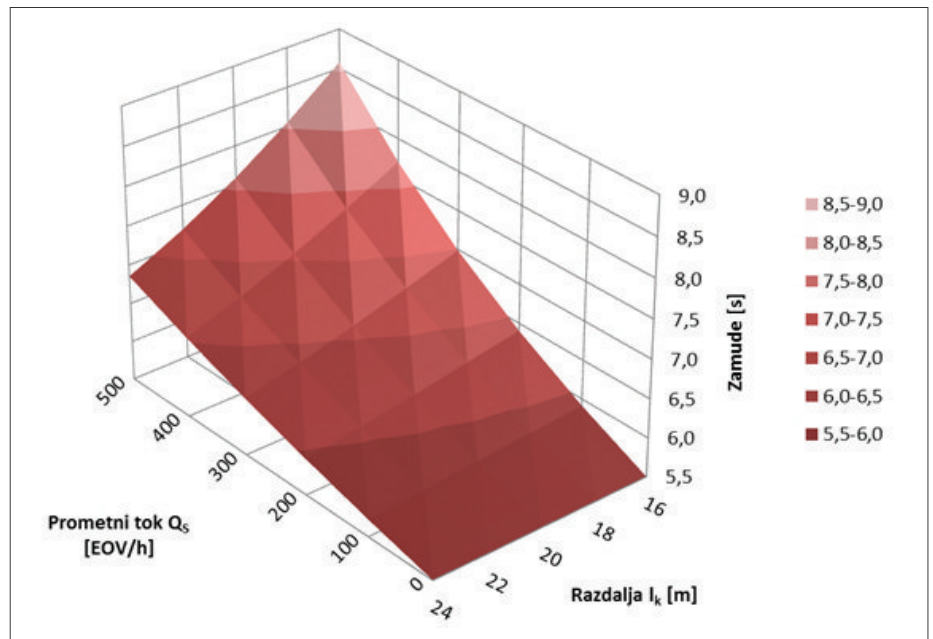
|                | $R^2$ | Standardna napaka | P-vrednost |
|----------------|-------|-------------------|------------|
| Metoda PTI     | 0,747 | 0,130             | 0,000      |
| Bovyjev model  | 0,713 | 0,106             | 0,000      |
| Brilonov model | 0,523 | 0,157             | 0,000      |

Preglednica 3 • Rezultat regresijske analize za zamude pri metodi PTI ter Bovyjevem in Brilonovem modelu v primerjavi z rezultati simulacije prometa s programskim orodjem VISSIM

| Vhodni podatki |       | Kapaciteta |      |        | Zamude |     |      |        |
|----------------|-------|------------|------|--------|--------|-----|------|--------|
| $Q_s$          | $I_k$ | PTI        | Bovy | Brilon | VISSIM | PTI | Bovy | Brilon |
| 0              | 16    | 954        | 1162 | 954    | 6,8    | 5,5 | 4,2  | 5,5    |
| 0              | 18    | 954        | 1162 | 954    | 6,6    | 5,5 | 4,2  | 5,5    |
| 0              | 20    | 954        | 1162 | 954    | 6,7    | 5,5 | 4,2  | 5,5    |
| 0              | 22    | 954        | 1162 | 954    | 6,8    | 5,5 | 4,2  | 5,5    |
| 0              | 24    | 954        | 1162 | 954    | 6,8    | 5,5 | 4,2  | 5,5    |
| 100            | 16    | 908        | 1135 | 954    | 9,6    | 5,9 | 4,3  | 5,5    |
| 100            | 18    | 914        | 1142 | 954    | 9,1    | 5,9 | 4,3  | 5,5    |
| 100            | 20    | 919        | 1150 | 954    | 9,2    | 5,8 | 4,2  | 5,5    |
| 100            | 22    | 924        | 1153 | 954    | 9,2    | 5,8 | 4,2  | 5,5    |
| 100            | 24    | 929        | 1153 | 954    | 8,6    | 5,7 | 4,2  | 5,5    |
| 200            | 16    | 862        | 1107 | 954    | 11,1   | 6,4 | 4,5  | 5,5    |
| 200            | 18    | 873        | 1122 | 954    | 10,6   | 6,3 | 4,4  | 5,5    |
| 200            | 20    | 883        | 1137 | 954    | 11     | 6,2 | 4,3  | 5,5    |
| 200            | 22    | 894        | 1144 | 954    | 10,8   | 6,1 | 4,3  | 5,5    |
| 200            | 24    | 903        | 1144 | 954    | 11     | 6   | 4,3  | 5,5    |
| 300            | 16    | 815        | 1080 | 954    | 17,3   | 7   | 4,6  | 5,5    |
| 300            | 18    | 831        | 1102 | 954    | 16,7   | 6,8 | 4,5  | 5,5    |
| 300            | 20    | 847        | 1124 | 954    | 14,1   | 6,6 | 4,4  | 5,5    |
| 300            | 22    | 863        | 1136 | 954    | 12,1   | 6,4 | 4,3  | 5,5    |
| 300            | 24    | 878        | 1136 | 954    | 11,6   | 6,2 | 4,3  | 5,5    |
| 400            | 16    | 767        | 1053 | 954    | 26,1   | 7,7 | 4,8  | 5,5    |
| 400            | 18    | 789        | 1082 | 954    | 23,7   | 7,4 | 4,6  | 5,5    |
| 400            | 20    | 811        | 1112 | 954    | 22     | 7   | 4,4  | 5,5    |
| 400            | 22    | 832        | 1127 | 954    | 21,7   | 6,8 | 4,4  | 5,5    |
| 400            | 24    | 851        | 1127 | 954    | 20,4   | 6,5 | 4,4  | 5,5    |
| 500            | 16    | 719        | 1025 | 954    | 123,3  | 8,6 | 5    | 5,5    |
| 500            | 18    | 746        | 1062 | 954    | 56,1   | 8,1 | 4,7  | 5,5    |
| 500            | 20    | 774        | 1099 | 954    | 51,6   | 7,6 | 4,5  | 5,5    |
| 500            | 22    | 800        | 1118 | 954    | 42,5   | 7,2 | 4,4  | 5,5    |
| 500            | 24    | 825        | 1118 | 954    | 26,4   | 6,9 | 4,4  | 5,5    |

 Preglednica 4 • Kapaciteta in zamude za konstantne vrednosti  $Q_R = 400$  EO/h in  $Q_E = 300$  EO/h ter variacija  $Q_s$  od 0 do 500 EO/h in  $I_k$  od 16 do 24 m

Na sliki 5, kjer so prikazane zamude za različne vrednosti  $Q_S$  pri metodi PTI v odvisnosti od razdalje  $l_k$ , pri čemer sta  $Q_R$  in  $Q_E$  konstantni vrednosti, se vidi, da se zamude zmanjšujejo s povečevanjem razdalje  $l_k$ . Pri vrednosti  $Q_S = 0$  EO/h pa je zamuda konstantna za vse vrednosti  $l_k$ .



Slika 5 • Diagram zamud pri metodi PTI za različne vrednosti izvoznega toka  $Q_S$  (EOV/h) v odvisnosti od razdalje  $l_k$  pri vrednosti  $Q_R = 400$  EO/h in  $Q_E = 300$  EO/h

#### 4 • SKLEP

Nova oziroma predpostavljena metoda temelji na uporabi modelov sprejemljivih časovnih praznin, pri čemer sta za konfliktni tok upoštevana tako krožni kot izvozni prometni tok. Za model sprejemljivih časovnih praznin je najbolj pogosto uporabljen Brilonov model. Predlagana metoda PTI je preizkušena na enopasovnem krožnem križišču z enopasovnim uvozom in izvozom ter primerjana z uveljavljenima modeloma – z Brilonovim in Bovyjevim modelom. Z enačbo za izračun povprečnih zamud so iz kapacitete določene zamude, ki so primerjane z rezultati mikroskopske simulacije s programskim orodjem VISSIM. Z regresijsko analizo in statistično analizo GEH je ugotovljena primernost predpostavljenega modela v primerjavi z rezultati simulacije prometa. Metoda PTI se glede na rezultate bolj približa rezultatom simulacije prometa s programskim orodjem VISSIM kot pri Brilonovem in Bovyjevem modelu, zato je mogoče trditi, da je metoda PTI nadgradnja Brilonovega modela, ki poleg spremenljivih časovnih praznin upošteva tudi izvozni prometni tok, ki ga Brilonov model ne, in je zato mogoče trditi, da metoda PTI izkazuje bolj realne rezultate kot Brilonov model. Glede na vse predpostavke, ki so upoštevane pri izpeljavi metode PTI ter pri poskusu na primeru, smo ugotovili:

- Ideja za upoštevanje izvoznega toka pri določitvi kapacitete krožnega križišča izhaja iz dejstva, da le del voznikov spoštuje pravilo, da se pri vožnji iz krožnega križišča nakaže svoja namera z desnimi utripalkami. V metodi PTI se vsa vozila obravnavajo enako, in sicer je predpostavljeno, da noben voznik ne nakaže svojega izvoza iz krožnega križišča z utripalkami. Če voznik z utripalkami nakaže svojo pot iz krožnega križišča in je mejna časovna praznina večja od časa, potrebnega za vožnjo od izvozne točke do točke uvoza, potem po metodi PTI na kapaciteto uvoza vpliva tudi to vozilo, ki vozi iz krožnega križišča, čeprav je svojo namero nakazal z utripalkami. V metodi PTI bi bilo torej treba upoštevati delež vozil, ki z utripalkami nakažejo izvoz iz križišča, in teh dejansko ne upoštevati kot konfliktni tok.
  - Osnova za izpeljavo metode PTI je Brilonov model. Poleg uporabljenega Brilonovega modela bi bil lahko uporabljen tudi model HCM.
  - Mejna časovna praznina je porazdeljena z Erlangovo verjetnostno funkcijo s parametrom  $\alpha = 5$ . Namesto Erlangove funkcije bi bila lahko tudi katerakoli druga, na primer negativna eksponentna funkcija ali logaritemska normalna porazdelitev.
- Odločitev za Erlangovo porazdelitveno funkcijo izhaja iz teorije, ki je prikazana v članku *A universal procedure for capacity determination at unsignalized (priority-controlled) intersection* (Wu, 2001). Vrednost parametra  $\alpha$  izhaja iz članka *Useful Estimation Procedures for Critical Gaps* (Brilon, 1997), vendar je lahko tudi drugačna.
- Oblika in velikost krožnega križišča nimata vpliva, saj je dejansko pomembna samo razdalja  $l_k$  med konfliktnima točkama  $K_S-K_E$ . V primeru je preverjenih 5 različnih dolžin krožnega loka od izvozne konfliktna točke do uvozne konfliktna točke, pri čemer je pri hitrosti vozila 25 km/h čas vožnje pri najkrajši razdalji 2,3 s, kar je manj, kot je uporabljen povprečni mejni časovni razmik (3,3 s), pri najdaljši razdalji pa je čas vožnje 3,5 s, kar je več, kot je uporabljen povprečni mejni časovni razmik. Pri upoštevanju drugačne hitrosti vozil v krožnem križišču bi bile tudi vrednosti časa vožnje med konfliktnima točkama drugačne.
  - Simulacija v programskem orodju VISSIM je izvedena pri enakih pogojih, kot so predpostavke pri metodi PTI: velikost in oblika krožnega križišča, Erlangova porazdelitev mejne časovne praznine s parametrom  $\alpha = 5$ , hitrost vozil v krožnem križišču, prometne obremenitve. Če bi bile pri izračunu z metodo PTI drugačne predpostavke, bi bile te upoštevane tudi pri simulaciji s programskim orodjem PTV VISSIM.

## 5 • LITERATURA

- Baker, S. L., Non-Linear Regression. University of South Carolina, The Arnold School of Public Health, Department of Health Services Policy and Management Course Materials, <http://hspm.sph.sc.edu/courses/J716/pdf/716-5%20Non-linear%20regression.pdf>, pridobljeno 15. 1. 2013, 2008.
- Bilon, W., Studies on Roundabouts in Germany: Lessons Learned, Transportation Research Board, 3rd International Roundabout Conference, Carmel, Indiana, 17.–20. 5, 2011. <http://teachamerica.com/RAB11/RAB11Papers/RAB1122Bilon-0097.pdf>, pridobljeno 18. 1. 2012, 2011.
- Bilon, W., König, R., Troutbeck, R., Useful Estimation Procedures for Critical Gaps, 3rd International Symposium on Intersections without Traffic Signals, Portland Oregon, 21.–23. 7. 1997, [http://www.verkehr.bi.ruhr-uni-bochum.de/download/literatur/Portland97\\_Bri\\_trout\\_koen\\_2005\\_11\\_03.pdf](http://www.verkehr.bi.ruhr-uni-bochum.de/download/literatur/Portland97_Bri_trout_koen_2005_11_03.pdf), pridobljeno 22. 5. 2012, 1997.
- DMRB, Design Manual for Roads and Bridges, V: Traffic Appraisal of Road Schemes, knjiga 12, Great Britain, Department for Transport, Highways Agency, 1997.
- HCM, Highway Capacity Manual, V: Unsignalized Intersections, Washington, D.C, Transportation Research Board, National Research Council, 2000.
- Fortuijn, L. G. H., Turbo Roundabouts: Estimation of Capacity, Transportation Research Board, Journal of the Transportation Research Board, 2009.
- Kenjić, Z., Priručnik za planiranje o projektovanje kružnih raskrsnica – rotora. Sarajevo, IPSA Institut Sarajevo, 2009.
- Korenjak, A., Regresijska analiza, diplomsko delo, UM, Maribor, 2010.
- Yperman, I., Immers, B., 2003, Capacity of a turbo-roundabout determined by micro-simulation, Katholieke Universiteit Leuven, Department of Civil Engineering – Transportation Planning and Highway Engineering, <http://www.kuleuven.be/traffic/dwn/P2003D.pdf>, pridobljeno 18. 1. 2012, 2003.
- Wu, N., A universal procedure for capacity determination at unsignalized (priority-controlled) intersections, Transportation research Part B 35, 6, 2001.



**BIM 4BUILD 2016**  
SILVER RECOGNITION FOR INNOVATION  
CHAMBER OF COMMERCE AND INDUSTRY OF SLOVENIA

**4BUILD**  
managing construction projects

**PROGRAMSKA REŠITEV ZA OBVLADOVANJE  
GRADBENO-INVESTICIJSKIH PROJEKTOV**

WWW.4BUILD.EU



Vabimo vas, da s svojim znanjem in izkušnjami sodelujete na 2. slovenskem kongresu o vodah, ki bo v Podčetrtku, 19. in 20. aprila 2017.

Voda je osnovni element, potreben za obstoj živega sveta: človeka, živali in rastlin. Razpoložljivost in kakovost voda imata odločilen vpliv na družbenogospodarski razvoj. Tudi v Sloveniji sledimo globalnim trendom širjenja urbanih območij, migracij, povečevanja potencialnih onesnaževanj ter pretirani energetske porabi in izkoriščanju naravnih dobrin. Skupaj z dinamičnimi vremenskimi dogodki vse to vpliva na naše naravne vodne vire in jih ogroža. Vode v vseh svojih pojavnih oblikah (reke, jezera, podzemne vode, morja, ledeniki) so naša skupna, javna dobrina. Pri gospodarjenju z vodami in njihovem upravljanju je treba uskladiti nasprotujoče si interese vseh vpletenih deležnikov, predvsem pa moramo upoštevati zakonitosti celotnega hidrološkega cikla, ekološke lastnosti vodnega prostora, obstoječ družbeni in gospodarski standard, razvojno varstvene cilje, ki smo si jih začrtali, ter slediti znanju in naprednim tehnološkim rešitvam.

Na 2. slovenskem kongresu o vodah bomo poudarili pomen vode v krajini in vodnih sistemov, pretehtali uspešnosti in pomanjkljivosti upravljanja voda in gospodarjenja z njimi, ustreznost in kakovost tehničnih rešitev, načine trajnostne porabe voda, pomen vodnih ekosistemov, obravnavali bomo, kakšna je naša varnost, povezana z različnimi porabami voda, ter kakšna je naša prilagojenost in odpornost proti nevarnostim, povezanim z vodo.

#### TEMATSKI SKLOPI

Pripravili smo štiri tematske sklope. Ker se njihove vsebine povezujejo, se sklopi delno tudi prekrivajo.

#### 1 VARNOST OBJEKTOV NA IN OB VODAH TER VARNOST LJUDI PRED NEVARNIM DELOVANJEM VODA

Vodni objekti in objekti ob vodah so zgrajeni na območjih stalne nevarnosti erozije in poplav, zato morajo dosegati določeno odpornost proti poškodbam ali porušitvam. K temu odločilno prispeva redno vzdrževanje objektov in strug. V nevarnosti so ljudje in premoženje, ki so na območjih poplav, erozije in plazov in ne poznajo nevarnosti. Nanje morajo biti pripravljeni in ustrezno zavarovani. Prostorski razvoj, gradnja prometne in druge infrastrukture in različne človekove dejavnosti spreminjajo tokove voda tako po površini kot v podzemlju. Skupaj z dinamičnimi vremenskimi dogodki in podnebnimi spremembami vse to vpliva na naše naravne vodne vire in jih ogroža.

Zbiramo prispevke, ki obravnavajo naravno geografske, hidrogeološke, fizikalne, kemijsko-biološke, sociološke, psihološke in ekonomske vidike nevarnosti, povezanih z vodami. Skušamo poiskati odgovore na vprašanja, zakaj prihaja do neželenih in nevarnih dogodkov, kako jih lahko preprečimo, kako te dogodke dojemajo ljudje in kakšen vpliv imajo nanje. Na osnovi znanja in izkušenj bomo poiskali odgovore in rešitve, kako se konstruktivno spoprijeti s temi problemi ter krepiti družbeno in posameznikovo zavest in odpornost. Zakaj se pojavljajo dvomi o strokovnih odločitvah in nezaupanje vanje?

#### 2 UPRAVLJANJE VODA IN DEJAVNOSTI V VODNEM PROSTORU

Upravljanje voda je upravljanje življenjsko pomembnega naravnega vira. Doktrine (koncepte, načela, načine) upravljanja lahko opišemo kot KRIZNO, EKOSISTEMSKO, HOLISTIČNO, TRAJNOSTNO, ZAŠČITNIŠKO, KONSERVATIVNO, PO NAČELU NAJVEČJEGA

DONOSA, PARTICIPATORNO, PO NAČELU PODJETNIŠTVA in podobno. Kombiniramo lahko tudi več načel. Pomembni so organizacijske strukture, menedžerji, načrtovalci, izvajalci, nadzorniki, odločevalci. Razmišljamo o javnem interesu in javnem dobrem, o načinih odločanja in izvajanja. Kako preseči današnje sektorsko zapiranje? Kje je meja med strokovno odločitvijo, demokratičnim soodločanjem javnosti in političnimi odločitvami? Kakšna je razlika med upravljanjem voda in gospodarjenjem z njimi?

Pri upravljanju voda je pomembno tudi sodelovanje javnosti in vseh institucionaliziranih oblik organizirane družbe. Visoke kompetence družbe za posvetovanje in soodločanje omogočajo lažje upravljanje in povzročajo manj konfliktov. Pomemben element je tudi merjenje učinkovitosti predpisov (Regulatory Impact Analysis – RIA). Gre za presojo ekonomskih, socialnih in okoljskih učinkov predpisa. Slovenija žal še nima predpisa, ki bi urejal analiziranje učinkov predpisov, prav tako niso urejeni drugi postopki vrednotenja.

Zbiramo prispevke, ki se dotikajo vseh vidikov upravljanja voda in gospodarjenja z njimi, obravnavajo dobre in slabe prakse pri nas in v tujini, odpirajo vprašanja ter podajajo predloge in rešitve. Iščejo se oblike povezovanja politik različnih gospodarskih sektorjev, prostorskega razvoja, varstva narave ter pravnih in ekonomskih vidikov upravljanja voda. Želimo vedeti, kakšne učinke imajo različni predpisi in prakse na stanje voda in družbenoekonomске elemente.

#### 3 PORABA VODE in VODNI EKOSISTEMI

Količina, kakovost in časovna ter prostorska razporeditev vode v krajini pogojuje vrsto, kakovost in celovitost ekosistemov ter ključno vpliva na naše življenjsko okolje in dejavnosti. Za kakovostno življenje je nujno potreb-

*Dogodek poteka pod častnim pokroviteljstvom predsednika Republike Slovenije Boruta Pahorja.*



na dostopnost zadostnih količin kakovostne vode, kar je povezano s sposobnostjo krajine za zadrževanje vode. Ker imajo različni tipi krajine različno zadrževalno sposobnost za vodo, je pomembno poznavanje naravnih danosti, ki zagotavljajo zadrževalno sposobnost za vodo, njeno ohranjanje, v razrednoteni krajini pa možnost povečevanja zadrževanja vode. S tem lahko zmanjšamo ranljivost ekosistemov ob izrednih dogodkih, kot so suše, poplave itd.

Kolikšne so naše vodne zaloge za pitno vodo, za namakanje, za industrijsko in energetska porabo? Ali je voda zadosti, katera poraba ima prednost ter kdaj in kako skleniti kompromise? Ali je vzpostavljen nadzor nad porabo voda učinkovit in kako spremljamo količinsko stanje? Kako usmerjamo in načrtujemo različne porabe voda? Ali se povezujemo z drugimi razvojnimi programi? Kje v sistemu so pomanjkljivosti, kje smo dobri? Kakšno je kakovostno in biološko stanje naših voda? Kaj so naše prioritete pri pitni vodi? Kaj nam prinaša politika doseganja dobrega ekološkega stanja voda? Kaj to pomeni za prihodnost? Vedno večji antropogeni pritiski na okolje ogrožajo kakovost voda, zato obstajajo nevarnosti za zastrupitev z vodo, v sedimentih se nam nabirajo hormonski motilci in druge nevarne snovi. Kaj smo dosegli z izgradnjo kanalizacijskih sistemov ter komunalnih in industrijskih čistilnih naprav? Kako varna je oskrba s pitno vodo in kaj jo ogroža?

Zbiramo prispevke, ki se dotikajo ekoloških, hidroloških, hidrogeoloških, socioloških, ekonomskih in pravnih vidikov porabe voda in posegov v vodni prostor zaradi antropogenih aktivnosti in posegov. Kakšen je pomen življenjskih združb za kroženje in kakovost vode, o vodnih ekosistemih in njihovem spreminjanju in posledicah za kakovost, količino, sposobnost zadrževanja in

kroženja vode ter načinov izboljšanja neugodnih razmer. Ob obstoječih obremenitvah prostora predvsem načrtovane aktivnosti in posegi prinašajo nove izzive in tveganja. Kaj vse se lahko zgodi v prihodnosti, kakšni scenariji so možni in kako se nanje pripraviti? Bodo zaloge podzemnih voda v prihodnosti zadostovale tako za oskrbo s pitno vodo kakor za dejavnosti, za katere so podeljene koncesije? Je cena pitne vode ustrezna, kaj vpliva nanjo in kako cena vpliva na življenjski standard porabnikov? V kakšnem stanju so vodni ekosistemi in kako to ohraniti oziroma izboljšati? In kaj to sploh pomeni. Kaj nam zdrav ekosistem prinaša ali ponuja in kako ga prepoznamo? Interpretacije pojma »javna dobrina« ter javni interes v smislu doseganja trajnosti zagotavljanja vode kot javne dobrine. Razmislek o trajnostnem zagotavljanju pravice do vode, ki nam jo dodeljuje ustava, in kaj to pomeni. Ali bo voda še javna, če bodo lokalne skupnosti zaračunavale in zahtevale od obiskovalcev ali uporabnikov uporabo občinskega grajenega javnega dobrega (pomole, dostope) in ne bodo dopuščale prehodov in dohodov do vode izven njih?

#### 4 VODE IN PARTICIPACIJA JAVNOSTI PRI SOODLOČANJU

S pobudo o vpisu pravice do vode v Ustavo smo državljani Slovenije izkazali željo po trajni zaščiti voda kot javni dobrini. Z vizijo, da o vodah odločamo sami, smo nakazali tudi nov vzorec razvoja slovenske družbe, ki je osnovan na ideji o skupnosti in solidarnem gospodarstvu. Z visoko zavestjo, da ohranjamo zdrave vode tudi za prihodnje rodove, pa gradimo kompetentno družbo. Ta ima izobražene in dobro informirane posameznike, ki so se sposobni posvetovati, enakopravno sodelovati in soodločati o perečih sodobnih problemih, povezanih s porabo voda, izkoriščanjem vodnih moči,

s poplavami, varstvom voda, celovitostjo vodnih ekosistemov in vodami v pokrajini nasploh.

Zato je ustrezno izobraževanje na vseh ravneh izobraževalnega procesa ključnega pomena in temelj trajnostnega razvoja. Ohranjanje sedanjega standarda in spodbujanje prihodnjega razvoja pa mora potekati tako, da ohranjamo zdrave in bogate vodne vire ter naravo in naravne dobrine tudi za prihodnje generacije. Ker se stroka in njena doktrina zaradi hitrih sprememb v okolju zelo hitro spreminjata, so različne oblike neformalnega izobraževanja in ozaveščanja izredno pomembne, saj predstavljajo hiter prenos znanja in nove doktrine iz ozkih strokovnih krogov v različne segmente splošne javnosti. Le dobro informirana in podučena javnost pa lahko kompetentno sodeluje pri odločanju. V okviru tega tematskega sklopa želimo obravnavati dobre primere sodelovanja različnih strok in institucij z javnostjo, pri čemer dajemo poseben poudarek tudi na nižjo stopnjo izobraževanja, saj je prav osnovna šola tisto obdobje, ko se pri posamezniku oblikujejo temeljni vrednostnega sistema.

Učinkovito soodločanje pri upravljanju voda je povezano z razvitim civilnim dialogom. Za vrednotenje civilnega dialoga se uporablja vrsta sredstev, npr. javnomnenjske raziskave, ankete, statistike. Objave izsledkov prispevajo k večji transparentnosti in odgovornosti, vlade pa lahko na osnovi vrednotenja tudi modificirajo svoje aktivnosti ali usmeritve ter določajo svoj uspeh pri krepitvi odnosov z državljani. Na 2. slovenskem kongresu o vodah želimo spregovoriti o konceptih, teorijah in praksah civilnega dialoga, ki niso sestavljene le iz informiranja, temveč tudi posvetovanja, sodelovanja, soodločanja in vrednotenja pri upravljanju voda ter gospodarjenju in ravnanju z njimi.

*Dogodek poteka pod častnim pokroviteljstvom predsednika Republike Slovenije Boruta Pahorja.*





# DRUGI SLOVENSKI KONGRES O VODAH

PODČETRTEK, 19.-20. 4. 2017

*voda povezuje*

**POMEMBNI DATUMI**

|                 |  |
|-----------------|--|
| 30. 11. 2016    | Končni datum za oddajo povzetkov                       |
| 15. 12. 2016    | Obvestilo o sprejetju povzetkov za uvrstitev v program |
| 15. 12. 2016    | Druga objava kongresa                                  |
| 15. 1. 2017     | Oddaja prispevkov                                      |
| 31. 1. 2017     | Prva objava programa                                   |
| 15. 3. 2017     | Končna objava programa                                 |
| 19.-20. 4. 2017 | Kongres v Podčetrtku                                   |

**NAVODILA ZA ZBIRANJE PRISPEVKOV**

Prispevke zbiramo na elektronskem naslovu: [prispevki@kongresvode2017.si](mailto:prispevki@kongresvode2017.si)

Za pripravo povzetka prispevka z vsemi podatki prijaviteljev uporabite vzorec, ki ga dobite na

[www.kongresvode2017.si/vzorec-povzetek/](http://www.kongresvode2017.si/vzorec-povzetek/).

Za pripravo teksta prispevka uporabite vzorec, ki ga dobite na

[www.kongresvode2017.si/vzorec-prispevek/](http://www.kongresvode2017.si/vzorec-prispevek/).

Organizacijski in programski odbor:

dr. Lidija Globevnik (DVS), Tone Prešeren (DVS), dr. Andrej Širca (SLOCOLD), Stanka Koren (SDNO), mag. Zlatko Mikulič (SKIAH), Branka Bračič Železnik (SKIAH), doc. dr. Barbara Čenčur Curk (SKIAH), Jure Mlačnik (DHR), Anton Bergant (DHI), dr. Meta Levstek (SDZV), prof. dr. Mihael Jožef Toman (SDZV), prof. dr. Alenka Gaberščik (DBS), Mojca Turk Ravnikar (SGD), Verica Vogrinčič (DRSV), dr. Branko Zadnik (IZS), prof. dr. Mitja Brilly (UNESCO IHP), mag. Marta Vahtar (ICRO), Andrej Draksler (ZGS), prof. dr. Pavle Gantar (SSD).



*Dogodek poteka pod častnim pokroviteljstvom predsednika Republike Slovenije Boruta Pahorja.*

## PRIPRAVLJALNI SEMINARJI IN IZPITNI ROKI ZA STROKOVNE IZPITE ZA GRADBENO STROKO V LETU 2017

| SEM INAR          | IZPIT<br>Osnovni, dopolnilni in revidiranje   |
|-------------------|---|
| 13. - 15. 2. 2017 | Izpitni roki bodo objavljeni konec decembra 2016 na spletni strani IZS - MSG <a href="http://www.izs.si">www.izs.si</a> , v rubriki »Strokovni izpiti« in v decembrski številki Gradbenega vestnika |
| 3. - 5. 4. 2017   |   |
| 9. - 11. 10. 2017 |   |

### A. PRIPRAVLJALNI SEMINARJI:

Seminarje organizira **Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS), Karlovška cesta 3, 1000 Ljubljana;**

Telefon: (01) 52-40-200; Fax: (01) 52-40-199; e-naslov: [gradb.zveza@siol.net](mailto:gradb.zveza@siol.net); [gradbeni.vestnik@siol.net](mailto:gradbeni.vestnik@siol.net).

#### Uradne ure:

od ponedeljka do četrтка od 09.00 do 14.00 ure; v petek NI URADNIH UR za stranke!

Seminar vključuje **izpitne programe** za:

1. odgovorno projektiranje (osnovni in dopolnilni strokovni izpit)
2. odgovorno vodenje del (osnovni in dopolnilni strokovni izpit)
3. odgovorno vodenje posameznih del
4. Investicijski procesi in vodenje projektov (za kandidate, ki opravljajo dopolnilni strokovni izpit; predavanje se odvija v okviru rednih seminarjev).
5. Kandidati lahko poslušajo posamezna predavanja v okviru rednih seminarjev.

*(Vsi posamezni programi so dostopni na spletni strani IZS - MSG:  
<http://www.izs.si>, v rubriki »Strokovni izpiti«)*

**Cena** za udeležbo na seminarju (za predavanje in literaturo) po izpitnih programih pod 1., 2. in 3. točko znaša 623,22 EUR z DDV, pod 4. točko pa 89,10 EUR z DDV. Cena za obisk posameznega predavanja (točka 5) je 89,10 EUR z DDV.

**Kotizacijo za seminar je potrebno nakazati ob prijavi** na poslovni račun ZDGITS: **SI56 0201 7001 5398 955**.

Prijavo je potrebno poslati organizatorju (ZDGITS) najkasneje **14 dni pred pričetkom** seminarja! Prijavni obrazec je mogoče dobiti na spletni strani ZDGITS (<http://www.zveza-dgits.si>).

Izvedba seminarja je odvisna od števila prijav (najmanj 20).

### B. STROKOVNI IZPITI

potekajo pri **Inženirski zbornici Slovenije (IZS), Jarška 10-B, 1000 Ljubljana**. Informacije o strokovnih izpiti in izpitnih programih je mogoče dobiti na spletni strani IZS <http://www.izs.si>, po telefonu (01) 547-33-19 (uradne ure: ponedeljek, sredo, četrtek, petek od 10.00 do 12.00 ure; v torek od 14.00 do 16.00 ure) ali osebno na sedežu IZS (uradne ure: ponedeljek, sredo, četrtek, petek od 08.00 do 12.00 ure; v torek od 12.00 do 16.00 ure).

# NOVI DIPLOMANTI

## UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

### I. STOPNA – VISOKOŠOLSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVO

**Tjaša Balek**, Stroškovna in časovna analiza izgradnje hleva, mentor viš. pred. dr. Aleksander Srdić

### I. STOPNJA – UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVO

**Miha Poglajen**, Uporaba toplih asfaltnih zmesi in ponovna uporaba asfalta, mentor izr. prof. dr. Marijan Žura

**Grega Prelovšek**, Dopolnjevanje in testiranje programa VodU za račun vodnega udara v ceveh enotnega prereza, mentor prof. dr. Matjaž Četina

### II. STOPNJA – MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVO

**Petra Lovšin**, Standardizacija popisov del za področje zgornjega ustroja cest po konceptu parametrizacije, mentorica prof. dr. Jana Šelih, somentorja Ivan Rus in viš. pred. dr. Aleksander Srdić

**Špela Marđetko**, Optimizacija izbire ukrepov vzdrževanja za obstoječo stanovanjsko stavbo, mentorica prof. dr. Jana Šelih

### II. STOPNJA – MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM OKOLJSKO GRADBENIŠTVO

**Ana Benčina**, Možnost uporabe in omejitve gradbenih plošč iz odpadne embalaže, mentorica prof. dr. Violeta Bokan-Bosiljkov, somentor asist. dr. David Antolinc

**Nuša Brolih**, Nepremičninski posredniki kot udeleženci na trgu nepremičnin, mentorica izr. prof. dr. Maruška Šubic-Kovač

**Marijan Gorjup**, Uporaba teorije grafov za zasnovo merilnih območij v vodovodnih omrežjih, mentorica izr. prof. dr. Marjeta Kramar Fijavž, somentor asist. dr. Daniel Kozelj

**Sebastijan Robič**, Uporaba odpadne plastike v betonskih kompozitih, mentorica prof. dr. Violeta Bokan-Bosiljkov, somentor dr. Aljoša Šajna

### II. STOPNJA – MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM STAVBARSTVO

**Jure Lovšin**, Pretvorba modela BIM v energijski model stavbe (BEM), mentor doc. dr. Tomo Cerovšek

**Dejan Semič**, Analiza požarne varnosti Kristalne palače na podlagi optimiziranega modela BIM, mentor doc. dr. Tomaž Hozjan, somentor doc. dr. Tomo Cerovšek

### III. STOPNJA – DOKTORSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVA

**Lidija Avsenik**, Alternativni pomlajevalec kot dodatek za povečanje deleža recikliranega asfalta v asfaltni mešanici, mentor doc. dr. Marjan Tušar, somentorica prof. dr. Violeta Bokan-Bosiljkov

**Matej Müller**, Analiza hidrodinamičnih razmer ob zaklopnih zapornicah na bočnem prelivu, mentor doc. dr. Tom Bajcar, somentor prof. dr. Franc Steinman

**Jure Žižmond**, Projektiranje armiranobetonskih stavb na potresno obtežbo po kriteriju sil z upoštevanjem ciljne zanesljivosti, mentor prof. dr. Matjaž Dolšek

## UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO, PROMETNO INŽENIRSTVO IN ARHITEKTURO

### I. STOPNJA – VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJSKI GRADBENIŠTVA

**Nataša Jurgelj**, Idejna zasnova regulacije potoka Lahomnica na območju poplavne ogroženosti, mentorica doc. dr. Janja Kramer Stajniko, somentorica asist. Blanka Grajfoner

### II. STOPNJA – MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVA

**Blaž Felkar**, Analiza naknadno prednapete betonske plošče z nizkimi in širokimi nosilci z različnimi programskimi orodji, mentor doc. dr. Milan Kuhta, somentor Predrag Presečki, dipl. inž. građ.

**Mitja Mulec**, Informacijski model objektov skladiščnih površin na morju v sklopu širitve Luke Koper, mentor doc. dr. Milan Kuhta, somentor pred. Aljoša Klobučar

**Mitja Picej**, Določitev brezdimenzijskega faktorja za dimenzioniranje armirane voziščne konstrukcije po TSC, mentor izr. prof. dr. Bojan Žlender, somentor doc. dr. Stanislav Lenart

**Darko Tešić**, Spremljanje gradnje garažne hiše s pomočjo 4D informacijskega modela objekta, mentor izr. prof. dr. Uroš Klanšek

## UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO, PROMETNO INŽENIRSTVO IN ARHITEKTURO – EKONOMSKO POSLOVNA FAKULTETA

### 1. STOPNJA – INTERDISCIPLINARNI UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM GOSPODARSKEGA INŽENIRSTVA – SMER GRADBENIŠTVA

Študij je zaključila z diplomskim izpitom:

**Sabina Melanšek**

Rubriko ureja • Eva Okorn, gradb.zveza@siol.net

# KOLEDAR PRIREDITEV

**8.-10.1.2017**

**4th International Conference on Geological and Civil Engineering**

Penang, Malezija  
[www.icgce.org/index.htm](http://www.icgce.org/index.htm)

**19.-20.1.2017**

**PowerSkin Conference 2017**

München, Nemčija  
[www.powerskin.org/](http://www.powerskin.org/)

**6.-8.3.2017**

**11th High Performance concrete (11th HPC) and 2nd Concrete Innovation Conference (2nd CIC)**

Tromsø, Norveška  
[www.tekna.no/en/events/hpccc-tromso-2017-32076/](http://www.tekna.no/en/events/hpccc-tromso-2017-32076/)

**7.-9.3.2017**

**Smart Cities – Exhibition and Conference for South – East Europe**

Sofija, Bolgarija  
<http://viaexpo.com/en/pages/smart-cities>

**10.-12.3.2017**

**ICACE 2017 – International Conference on Architecture and Civil Engineering 2017**

Singapur, Singapur  
<http://icace.coreconferences.com/index.html>

**13.-15.3.2017**

**4th International Conference on Civil and Urban Engineering 2017**

Praga, Češka  
[www.iccue.org/](http://www.iccue.org/)

**15.-17.3.2017**

**WSCE 2017 – World Symposium on Civil Engineering 2017**

Hong Kong, Kitajska  
[www.iaeng.org/WSCE/WSCE2017/](http://www.iaeng.org/WSCE/WSCE2017/)

**19.-20.4.2017**

**2. slovenski kongres o vodah**

Podčetrtek, Slovenija  
[www.kongresvode2017.si/](http://www.kongresvode2017.si/)

**25.-28.4.2017**

**International Exhibition for Construction Technology, Equipment, Machinery, Vehicles & Materials**

Hanoi, Vietnam  
<http://contechvietnam.com/en/>

**15.-18.5.2017**

**ICBEST Istanbul – International Conference on Building Envelope Systems and Technologies**

Istanbul, Turčija  
<http://icbestistanbul.com/>

**29.5.-2.6.2017**

**4. svetovni forum o zemeljskih plazovih**

Ljubljana, Slovenija  
[www.sloged.si/?page\\_id=716](http://www.sloged.si/?page_id=716)

**7.-9.6.2017**

**S.ARCH 2017 – the 4th International Conference on Architecture S.ARCH 2017**

Hong Kong, Kitajska  
<http://s-arch.net/>

**21.-23.6.2017**

**ICNF2017 – 3rd International Conference on Natural Fibers**

Braga, Portugalska  
[www.icnf2017.fibrenamics.com/](http://www.icnf2017.fibrenamics.com/)

**15.-19.7.2017**

**GeoMEast 2017 International Conference “Sustainable Civil Infrastructures: Innovative Infrastructure Geotechnology”**

Sharm El-Sheik, Egipt  
[www.geomeast2017.org/](http://www.geomeast2017.org/)

**5.-8.9.2017**

**ISPE-2017 – XI International Symposium on Permafrost Engineering**

Magadan, Rusija  
<http://mpi.ysn.ru/en/permafrost-engineering-symposiums>

**13.-15.9.2017**

**SMAR 2017 – 4th International Conference on Smart Monitoring, Assessment and Rehabilitation of Civil Structures**

Zürich, Švica  
[www.smar2017.org/](http://www.smar2017.org/)

**2.-4.10.2017**

**3rd International Symposium on Ultra-High Performance Fibre-Reinforced Concrete (UHPFRC)**

Montpellier, Francija  
[www.afgc.asso.fr/UHPFRC2017](http://www.afgc.asso.fr/UHPFRC2017)

Rubriko ureja • **Eva Okorn**, ki sprejema predloge za objavo na e-naslov: [gradb.zveza@siol.net](mailto:gradb.zveza@siol.net)