

# 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 Brundtlantine 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 Brundtlantine 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 definiranega 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-

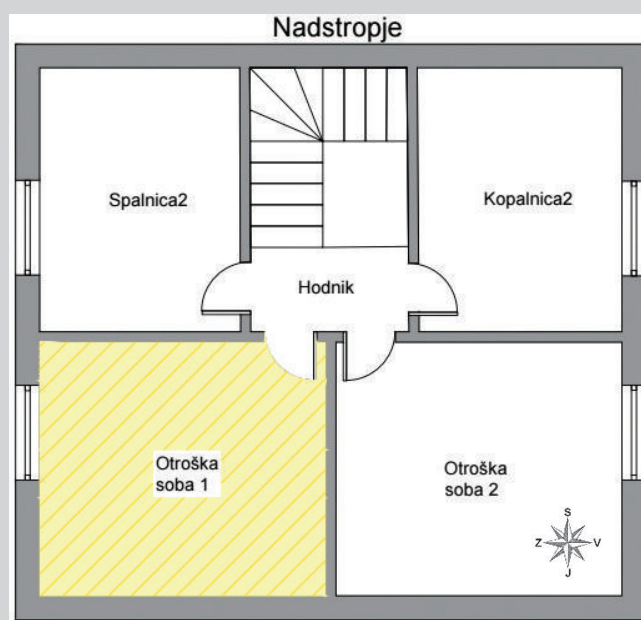
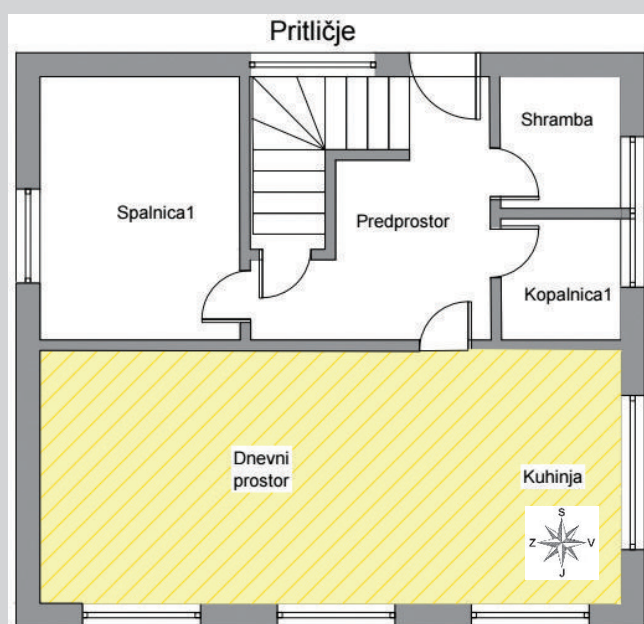
tatu iskalnika Google. Zato smo se odločili, da bomo ocenili eno izmed montažnih hiš, ki bi se lahko najbolj približala oceni, da je trajnostna.

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	<b>Analiza energetske učinkovitosti stavbe</b>	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)
	<b>Analiza vpliva GP na okolje</b>	Vpliv GP	Parametri iz EPD	LCA <sup>γ</sup> -analiza	Okoljske izjave izdelkov (EPD <sup>δ</sup> ) - Standard ISO 14025 (ISO 14025, 2006)
EKONOMSKI	<b>Analiza stroškov porabe energije</b>	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	<b>Analiza osvetljenosti za izbrani prostor</b>	Dnevno osvetljevanje prostorov	KDS <sup>ε</sup> , osvetljenost	Program za osvetljenost prostorov Velux Daylight Visualizer (Velux Daylight Visualizer 3, 2016)	Standardi in priporočila
	<b>Analiza GP z možnim negativnim vplivom na zdravje</b>	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. <sup>β</sup> PURES: Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah. <sup>γ</sup> LCA ( <i>Life Cycle Assessment</i> ): analiza, ki čez celotno življenjsko obdobje ocenjuje vplive nekega materiala oz. proizvoda na okolje. <sup>δ</sup> EPD ( <i>Environmental Product Declaration</i> ): okoljske izjave izdelkov. <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.

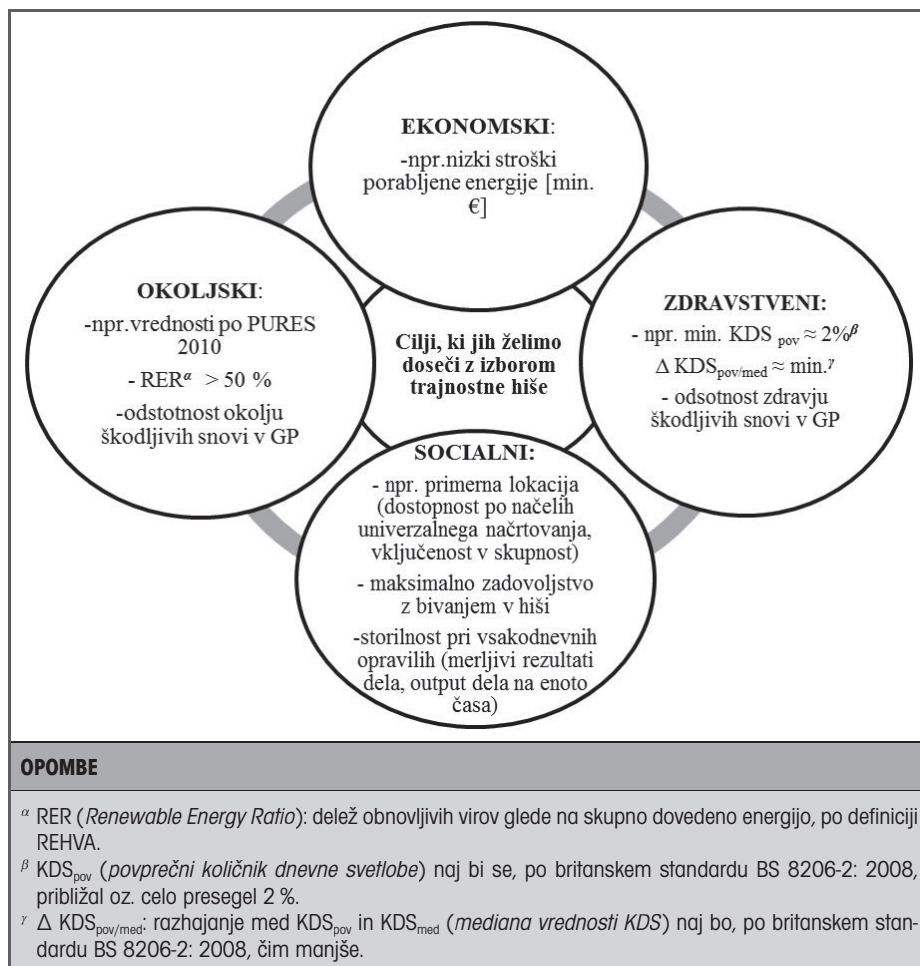
V sklopu okoljskega vidika smo s programom za izračun energetske bilance stavbe (TOST) (Krainer, 2009) preverili energetska učinkovitost stavbe, s pomočjo

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.



**OPOMBE**

<sup>α</sup> RER (*Renewable Energy Ratio*): delež obnovljivih virov glede na skupno dovedeno energijo, po definiciji REHVA.

<sup>β</sup>  $KDS_{pov}$  (*povprečni količnik dnevne svetlobe*) naj bi se, po britanskem standardu BS 8206-2: 2008, približal oz. celo presegel 2 %.

<sup>γ</sup>  $\Delta KDS_{pov/med}$ : razhajanje med  $KDS_{pov}$  in  $KDS_{med}$  (*mediana vrednosti KDS*) naj bo, po britanskem standardu BS 8206-2: 2008, čim manjše.

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, - $RER > 50\%$ => 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, - 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 - 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 energetske 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 estrihi (EPD2, 2015), ekspanzirani polistiren (EPS) (EPD3, 2015), ekstrudirani polistiren (XPS) (EPD4, 2010), mavčnokartonska ploščica (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 katera 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  $1500 \text{ h/leto}$ .

#### 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  $85 \text{ cm}$  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 OSB-plošče
Strešna konstrukcija	Celulozna vlakna
Talna plošča	Ekstrudirani polistiren (XPS) Ekspandirani polistiren (EPS) Bitumenski trak
Medetažna konstrukcija	OSB-plošče 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 (0,1333 €/kWh)		SKUPAJ STROŠEK (€)	
	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

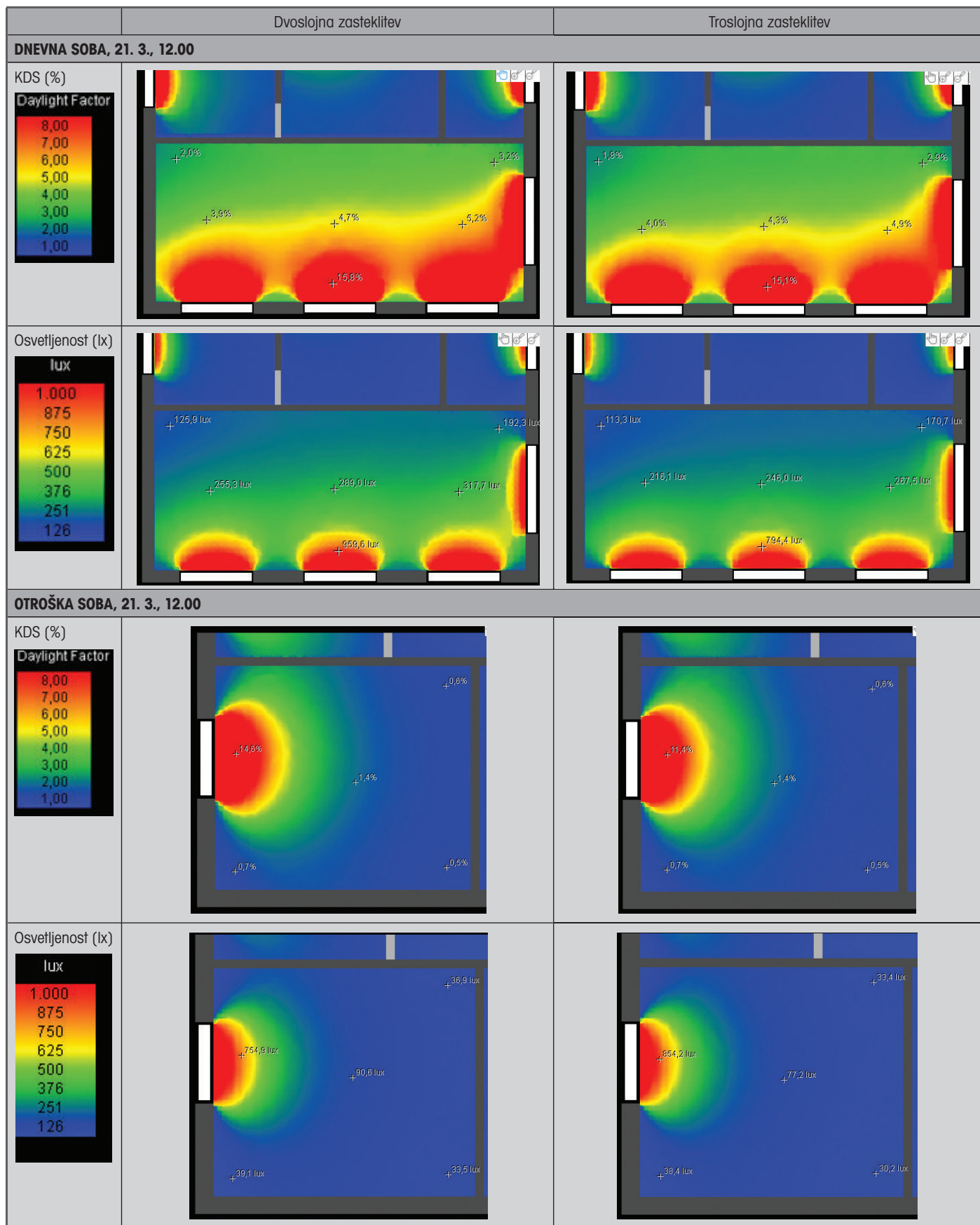
#### 5.3.1 Analiza osvetljenosti za izbrani prostor

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 odprtih, 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 odprtih ter s tem povečati osvetljenost prostora in tako izboljšati vizualno okolje le-tega. 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 poenostavitve 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 - ToxFAQs™, 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

ljudeh 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 Brundtlantinske 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, – 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 – Ni dosežen minimalni delež OVE v končni porabi energije po AN OVE 2010	– Uporaba okolju prijaznih alternativ GP, ponovna uporaba GP – 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 – Razlika: visoka začetna investicija TČ	– Pred nakupom energenta narediti stroškovni pregled v celotni življenjski dobi energenta – 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 – 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 – 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\\_zs\\_xps-slo.pdf](http://www.ursa.si/sl-si/izdelki/documents/exiba_epd_zs_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.