

PRIMERJAVA SISTEMOV MERIL TRAJNOSTNE PRENOVE POSLOVNIH STAVB

COMPARISON OF CRITERIA SYSTEMS FOR SUSTAINABLE REFURBISHMENT OF OFFICE BUILDINGS

Mojca Marinič, univ. dipl. gosp. inž.

mojca.marinic@zav-mb.si

UM FGPA, Zavarovalnica Maribor, d. d.

Cankarjeva ulica 3, 2000 Maribor,

doc. dr. Milan Kuhta, univ. dipl. inž. grad.

miso.kuhta@um.si

doc. dr. Nataša Šuman, univ. dipl. gosp. inž.

nafasa.suman@um.si

UM FGPA, Smetanova ulica 17, 2000 Maribor

Znanstveni članek

UDK 502.131.1:725

Povzetek | Stavbe obsegajo 40 % skupne porabe vse energije v EU in dosegajo 36 % vseh emisij CO₂ v EU. Na zmanjšanje porabe energije in emisij vplivamo z udeležanjem načel trajnostne gradnje, kamor poleg novogradenj spadajo tudi prenove stavb. V prispevku se osredotočamo na prenovo poslovnih stavb, v katerih aktivno prebivalstvo preživi tretjino svojega časa. Za potrebe odločanja lastnika o tem, kakšno raven in katere ukrepe trajnostne prenove poslovne stavbe naj izvede, je v članku prikazana primerjava modelov in njihovih sistemov meril, ki se uporabijo za vrednotenje trajnostne prenove stavb. V uvodu najprej podajamo pregled obstoječe literature, razpisov in programov EU pri trajnostni gradnji. V nadaljevanju sledi pregled različnih ravni prenove stavb in pregled zakonodaje, usmeritvenih dokumentov in združenj, ki spodbujajo trajnostno gradnjo. Osrednji del članka podaja pregled v svetu uveljavljenih modelov vrednotenja trajnostne gradnje, in sicer LEED, BREEAM in DGNB. Posamezni model je smiselno razdeljen v sklope, ki vsebujejo sisteme meril za izbrano vrsto stavb. Vsak sistem meril sestavljajo vplivne kategorije, znotraj katerih so zajeta različna merila trajnostnega vrednotenja.

Ključne besede: trajnostna gradnja, poslovne stavbe, prenova stavb, LEED, BREEAM, DGNB

Summary | Buildings account for 40 % of the total EU energy consumption and 36 % of the EU's total CO₂ emissions. Energy consumption and emissions can be reduced by realising sustainable construction principles, i.e. not only in new construction but also in the refurbishment of existing buildings. The article focuses on the refurbishment of office buildings where the active population spends one third of their time. In order for the owners to decide on the level and on which measures of sustainable refurbishment of an office building to implement, the article presents a comparison of models and their criteria systems that are used to assess sustainable refurbishment of buildings. It initially provides an overview of the existing literature, tenders, and EU programmes on sustainable construction. It further provides an overview of different levels of refurbishment of buildings and an overview of legislative requirements, guidance documents, and associations that promote sustainable construction. The main part of the article provides an overview of globally renowned sustainability assessment models in construction, i.e. LEED, BREEAM,

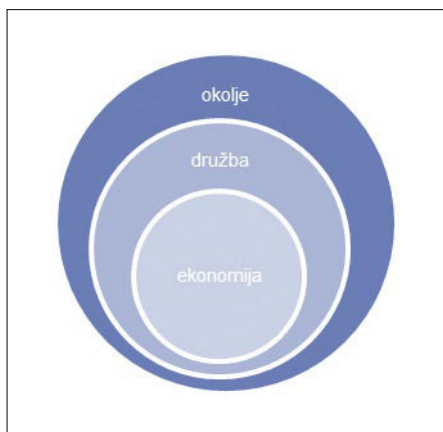
and DGNB. Every model is sensibly divided into sections, which contain criteria systems for the chosen type of buildings. Every criteria system is comprised of impact categories, which these cover different sustainability assessment criteria.

Key words: sustainable construction, office buildings, refurbishment of buildings, LEED, BREEAM, DGNB.

1 • UVOD

Trajnostni razvoj in izvajanje projektov, ki pomenijo udejanjanje načela trajnosti, postaja sedanost in je zagotovo prihodnost naše družbe. V današnjem času je v ospredju procesov, aktivnosti, usmeritev, strategij in investicij trajnostni razvoj s primarnim ciljem zmanjšanja emisij toplogrednih plinov. Za zmanjšanje emisij toplogrednih plinov pa je nujna učinkovita poraba energije in vseh drugih virov ter čim večji delež porabe obnovljive energije.

V splošnem pristop k trajnostnemu razvoju zajema okoljski, ekonomski in družbeni vidik (Shah, 2012).



Slika 1 • Prikaz pristopa k trajnostnemu razvoju (Prirejeno po (Shah, 2012))

Trajnostni razvoj in trajnostna gradnja kot njegov sestavni del sta na območju EU opredeljena kot primarna cilja in kot takšna zastopana v zakonodaji, usmeritvenih dokumentih in strategijah EU ter v nacionalnih strategijah in smernicah posamezne članice EU.

Evropska komisija je z namenom doseganja primarnih ciljev podnebne in energetske politike do leta 2030 v zeleni knjigi (EC, 2013) podala pregled zatečenega stanja, okvire politike EU in prihodnje naloge za doseg skupnih ciljev EU:

– zmanjšanje emisij toplogrednih plinov v EU do leta 2030 za 40 %, kar je osnova, da

bi do leta 2050 lahko dosegli zmanjšanje toplogrednih plinov za 80 do 95 %. To bi ustrezalo mednarodno dogovorjenemu cilju omejitve segrevanja ozračja na 2 °C,

- preoblikovanje energetskega sistema z zagotavljanjem večjega deleža obnovljive energije, izboljšanja energetske učinkovitosti in izboljšanja oz. zagotavljanja pametnejše energetske infrastrukture,
- povečanje deleža obnovljivih virov energije; po scenariju politike energetskega načrta do leta 2050 se navaja okrog 30 % delež obnovljivih virov za leto 2030,
- zagotovitev sredstev za naložbe v modernizacijo energetskega sistema, z dekarbonizacijo energetskega sistema ali brez nje, kar bo pomembno vplivalo na cene energije v obdobju do leta 2030.

Iz pregleda objav na Evropskem portalu učinkovite rabe energije (ang. The European Portal For Energy Efficiency In Buildings) je zaslediti, da se načela trajnostne gradnje ne uveljavljajo le pri novogradnjah, ampak se vse bolj uveljavljajo tudi pri prenovi obstoječega stavbnega fonda. Na tem portalu je bil februarja 2016 objavljen priročnik Praktični pristopi k energijsko učinkoviti obnovi stavb, namenjen izvajalcem obnov (ang. Energy Efficiency: Practical Approaches to the Building Renovation Challenge) (Build up, 2016).

Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport na svojih spletnih straneh predstavlja program Obzorje 2020, ki je okvirni program EU za raziskave in inovacije, aktiven v obdobju med letoma 2014 in 2020 ter razdeljen na tri tematske sklope: odlična znanost, konkurenčna industrija in družbeni izzivi (MIZŠ, 2013).

V tem programu je v okviru sklopa Družbeni izzivi v letih 2016 in 2017 za obstoječe stavbe pomemben delovni program Zanesljiva, čista in učinkovita energija (ang. SC3 – Secure, clean and efficient energy, v nadaljevanju: program SC3), katerega 3. poglavje zajema prenavo obstoječih stavb. Program SC3 želi spodbuditi energetske prenavo obstoječih

stavn in s tem zmanjšati porabo energije ter povečati porabo obnovljive energije in posledično z učinkovitimi prenavami vplivati na zmanjšanje emisij toplogrednih plinov. Da se navedeno doseže, program predvideva dvig nivoja prenav stavb s sedanjih 1,2 % na 2 % do 3 % na letni ravni (Horizon 2020, 2015). To je napoved in ob enem tudi operativni cilj Dolgoročne strategije za spodbujanje naložb energetske prenavo stavb (prenova 3 % javnih stavb v lasti ali uporabi ožjega javnega sektorja letno, kar znaša med 15.000 in 25.000 m²).

Pregled strokovne in znanstvene literature izkazuje, da je trajnostni vidik gradnje sicer najbolj zastopan pri novogradnjah (javni sektor in stanovanjske stavbe). Direktiva 2010/31/EU (EUR-Lex, 2010) podaja, da stavbe obsegajo 40 % skupne porabe energije v EU in dokument Obzorje 2020 to povzema ter podaja kot temelj za usmeritev v učinkovite prenavo obstoječih stavb javnega in zasebnega sektorja.

Eden od dokumentov usmeritev k učinkoviti rabi virov je t. i. Kažipot za učinkovito rabo virov (ang. Resource Efficiency Roadmap), ki predstavlja temelj preusmeritve gospodarstva v racionalno rabo virov in zagotavljanja trajnosti. Za oblikovanje tega dokumenta je bila ključna odločitev Evropskega sveta (ES), sprejeta na zasedanju leta 2007, o 20 % zmanjšanju emisij toplogrednih plinov do leta 2020 v primerjavi z letom 1990. Ob tej zahtevi je bil potrjen cilj o 20 % izboljšanju energetske učinkovitosti do leta 2020 (EUR-Lex, 2009).

Dodatni pomen prenavam obstoječih stavb daje podatek, da emisije CO₂, ki jih povzročijo obstoječe stavbe, dosega 36 % vseh emisij CO₂ v EU (WGBC, 2016). Na zmanjšanje odstotka emisij bomo v prihodnosti lahko vplivali le z učinkovitimi prenavami obstoječih stavb, ki bodo uvajale izkoriščanje obnovljivih virov energije in učinkovito rabo vseh virov.

Vrednotenje trajnostne gradnje stavb se izvaja po svetu z različnimi modeli in njihovimi razvitimi sistemi meril. Avtorji Zeinal in Huber (Zeinal, 2012) ter Schwartz in Raslan (Schwartz, 2013) so v prispevkih opravili primerjavo različnih modelov trajnostne gradnje. Zeinal in Huber sta pripravila splošen pregled uveljavljenih modelov DGNB (DGNB, 2016), LEED (USGBC,

2016) in BREEAM (BREEAM, 2016) ter jih podala na primeru novogradnje sosesk oziroma mestnih četrti. Schwartz in Raslan pa sta primerjala modela LEED in BREEAM za novograjene nestanovanjske stavbe.

V članku bomo podrobneje predstavili tri uveljavljene modele vrednotenja trajnostne gradnje, ki se uporabljajo po svetu, in sicer: LEED (ang. Leadership in Energy and Environmental Design – v nadaljevanju LEED), BREEAM (ang. Building Research Environmental Assessment Method) in DGNB (nem. Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen, v nadaljevanju DGNB). Vsak posamezni model je smiselno razdeljen v sklope, ki so dodatno razdeljeni na smiselno zaključene

sisteme meril. Vsak razdelani sistem meril je oblikovani za izbrano vrsto stavb in upošteva določeno število vplivnih kategorij. V okviru vsake kategorije pa so zajeta različna merila trajnostnega vrednotenja. Podatki o sistemih meril, ki jih posamezni model opredeljuje, so povzeti s spletnih strani modelov in združenj, ki le-te razvijajo.

S primerjavo treh uveljavljenih modelov in njihovih sistemov meril trajnostne prenove poslovnih stavb želimo podati pregled osnovnih značilnosti posameznega modela, vrste certifikatov, ki se podeljujejo, ter vrste stavb, ki jih modeli posamezno obravnavajo. Sledi pregled sistema meril s podanimi kategorijami in točkovanji po posameznih modelih, ki jih

predlagamo za vrednotenje prenove poslovnih stavb.

Primerjava meril vrednotenja trajnostne prenove stavb bo služila lastnikom obstoječih poslovnih stavb, saj se ti pogosto znajdejo pred odločitvijo, ali vlagati sredstva v prenovo obstoječih poslovnih stavb ali prodati lastno stavbo in urediti selitev v novogradnjo ali rušiti obstoječo stavbo in graditi novo. Pri obravnavi in primerjavi meril je upoštevan vidik lastnika, ki pojem trajnosti vidi kot priložnost, da bo prenovljena poslovna stavba v naslednjem obdobju omogočala produktivno in ugodno delovno okolje in da bodo stroški vzdrževanja, obratovanja in morebitnih okoljskih dajatev najprimernejši.

2 • PRENOVA OBSTOJEČIH STAVB

Prenovo obstoječih stavb obravnavajo različni viri in literatura ((Shah, 2012), (Yudelson, 2010)). Shah prenovo obstoječih stavb deli glede na raven potrebnih del prenove stavbe in opredeljuje pet ravni z naslednjim opisom posegov prenove:

Raven št. 1: manjši posegi oz. manjša vzdrževala dela – predstavlja raven prenove z najnižjimi vlaganji in tudi posledično najmanjšo pridobitev z vidika ohranjanja ali povečanja vrednosti stavbe. Zajema hitre in izvedbene enostavne rešitve, zlasti naslednjih vzdrževalnih del: posegi v notranjo opremo, zamenjava keramičnih oblog, zamenjava montažnega stropa, manjša popravila ter nadgradnja opreme in naprav stavbe. Z vidika prenove poslovnih stavb so pomembne tudi spremembe razporeditve v pisarniških prostorih, »osvežitev« recepcije in spremljajočih vhodnih prostorov, saj takšni posegi znatno vplivajo na stranke, obiskovalce, poslovne partnerje idr.

Navedeni posegi so največkrat uporabljeni ob zamenjavi najemnikov in v prostorih, kjer so pogosto stranke.

Raven št. 2: srednji posegi – zajema in hkrati dopolnjuje dela z ravni prenove št. 1. Dopolnitve obsegajo zlasti zamenjavo sanitarne opreme, zamenjavo razsvetljave, finalne obdelave prostorov idr. Ta raven zajema dela, ki po veljavni zakonodaji spadajo med vzdrževalna dela in zanje ni potrebna pridobitev gradbenega dovoljenja. Pri poslovnih objektih je poudarek na prostorih, kjer se zadržujejo stranke oz. obiskovalci, ter na jedru stavbe in prerezporeditvi delovnih mest (npr. prestavitve in rušitev predelnih nenosilnih sten).

Raven št. 3: večji posegi – zajema celoten obseg ravni št. 2 ter hkrati vključuje zamenjavo vodovodnih, električnih in ogrevalnih instalacij ter opreme, posege v konstrukcijske elemente (npr. zapiranje galerij, odprtín v ploščah), prenovo komunikacijskih poti in stopniščnih jeder. Posegi so skrbno načrtovani, upoštevajo veljavno zakonodajo in (načeloma) zahtevajo pridobitev gradbenega dovoljenja. Z izvedbo te ravni prenove poslovno stavbo posodobimo za 15 do 20 let.

Raven št. 4: celostna prenova – je prenova, ki zahteva največja vlaganja in za lastnika predstavlja najvišje tveganje, saj je pri takšnih prenovah verjetnost nastanka nepredvidenih stroškov najvišja. S to prenovo hkrati v največji meri izkoristimo vložena sredstva, podaljšamo dobo trajnosti obstoječe poslovne stavbe, omogočimo zaračunavanje višjih najemnin ter spodbudimo večje zanimanje za najem celostno prenovljenih poslovnih prostorov. Raven št. 4 zajema vsa dela predhodnih ravni in hkrati posege v ovoj

stavbe in okolico v obsegu: prenove vgrajenih materialov, opreme in naprav (npr. prenova fasade, prezračevanja, kotlovnice, ogrevalnih vej idr.) ter potrebne nadzidave in prizidave stavbe in posege ob stavbi (npr. dodatna parkirna mesta, garažne etaže, kolesarnica itd.). Ta raven upošteva tudi optimizacijo rednih stroškov obratovanja in vzdrževanja za primer polno zasedene stavbe. Vsi posegi morajo biti izvedeni v skladu z veljavno prostorsko in gradbeno zakonodajo. Namen teh posegov je posodobitev poslovne stavbe v skladu s sodobnimi standardi in predpisi za 20 do 25 let.

Raven št. 5: rušitev – zajema porušitev poslovne stavbe z namenom vzpostavitve nepozidanega zemljišča, primerne za novogradnjo. Rušitvena dela v tem primeru predstavljajo začetni strošek oz. vlaganja, ki so potrebna za vzpostavitev pogojev za gradnjo nove, nadomestne poslovne stavbe na isti lokaciji. Za končno ureditev novih poslovnih prostorov je ob strošku rušitve treba upoštevati seveda tudi strošek novogradnje.

Shah (Shah, 2012) v matrični preglednici (povzeto v preglednici 1) podaja določitev ocene potrebne ravni prenove stavbe, ki se

		stanje stavbe				
Stanje obratovanja	Ocena	Odlično	Dobro	Slabo	Zelo slabo	
	Odlično	Ni posegov	Raven št. 1	Raven št. 2	Raven št. 3	
	Dobro	Raven št. 1	Raven št. 2	Raven št. 3	Raven št. 3	
	Slabo	Raven št. 2	Raven št. 3	Raven št. 3	Raven št. 4	
	Zelo slabo	Raven št. 3	Raven št. 3	Raven št. 4	Raven št. 5	

Preglednica 1 • Ocena potrebne prenove, prirejeno po (Shah, 2012)

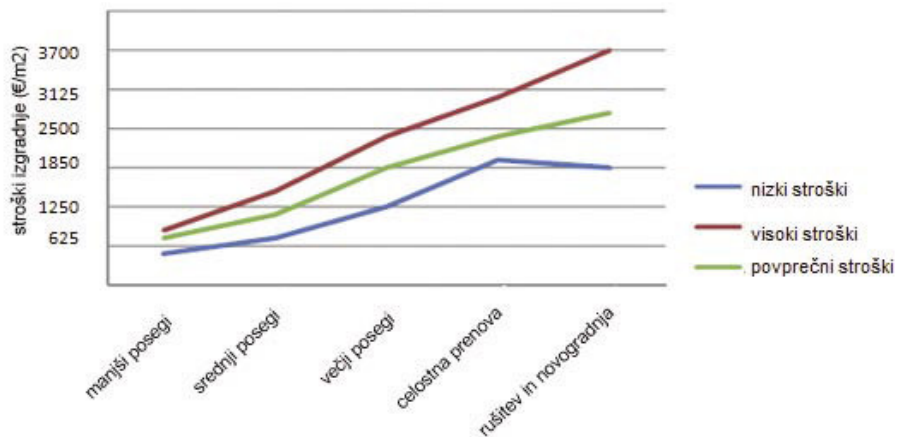
določiti ob hkratnem upoštevanju dveh vidikov: ocena stanja stavbe (delovno okolje in pogoji, pogostost in obsežnost interventnih vzdrževalnih del, tveganje izpada poslovanja idr.) in stanja obratovanja. Za stavbe, ki so z obeh vidikov prejele oceno odlično in s tem ohranjajo primerno tržno vrednost, posegi niso potrebni.

Na odločitev lastnika, katero raven prenove bo izvedel, vplivata zlasti naslednja kriterija: višina stroškov in čas, ki je potreben za izvedbo posamezne ravni prenove.

Shah navaja, da je za poslovne stavbe, ki se uporabijo za opravljanje lastne dejavnosti (lastniške stavbe), najbolj običajna izvedba ravni prenove št. 2. Pri tem se prenova nanaša na celotno poslovno stavbo ali na posamezne dele poslovne stavbe (npr. vrsto instalacij, opreme, naprav, etažo itd.).

Na podlagi opravljenih raziskav avtor podaja tudi oceno višine stroškov posamezne ravni prenove oz. rušitev z novogradnjo. Stroške v osnovi deli na nizke, povprečne in visoke. S slike 2 in preglednice 2 je razvidno, da se z višanjem ravni prenove povečujejo tudi stroški.

Pri nižjih ravneh prenove so tudi stroški nižji. Zanimiva pa je primerjava višjih ravni prenove, kjer so visoki stroški ene ravni skoraj enaki ali celo višji od povprečnih stroškov naslednje ravni. Zato je pomembno, da investitor pri izbiri višjih ravni prenove razume tveganja, povezana s točnostjo ocenitve potrebnih vlaganj. Pri sprejemanju odločitve, katero raven prenove izbrati, je pomembno zavedanje, da manjše odstopanje ocenitve pri višjih



Slika 2 • Ocena stroška prenove in novogradnje, prirejeno po (Shah, 2012)

Raven št.		Nizki stroški	Visoki stroški	Povprečni stroški	Povprečno razlika do novogradnje
		€/m²	€/m²	€/m²	
1	Manjši posegi	500	850	750	-73 %
2	Srednji posegi	750	1500	1100	-59 %
3	Večji posegi	1250	2300	1900	-30 %
4	Celostna prenova	2000	3000	2300	-14 %
5	Rušitev in novogradnja	1900	3700	2700	0 %

Preglednica 2 • Ocena stroška prenove in novogradnje, prirejeno po (Shah, 2012)

ravnih prenove običajno predstavlja večje odstopanje pri končnem znesku vlaganj. V preglednici 2 so odstotki prikazani z nega-

tivnim predznakom, kar predstavlja nižja vlaganja v prenovo glede na raven št. 5: rušitev z novogradnjo.

3 • ZAKONODAJA IN USMERITVENI DOKUMENTI TRAJNOSTNE GRADNJE

Sprejemanje zakonodaje in usmeritev, ki spodbujajo trajnostno gradnjo in usmerjajo k upoštevanju trajnosti, niso pomembni samo za območje Evropske unije (EU), ampak je trajnost svetovni projekt. Posamezne celine in države namreč uporabljajo različne modele in vzvode za spodbujanje trajnostne gradnje.

V članku se omejujemo na sprejete usmeritvene dokumente, standarde, strategije in direktive na nivoju EU, ki predstavljajo izhodišča in temelj nacionalni zakonodaji v Sloveniji in vključujejo energetska učinkovitost stavb, uporabo energije iz obnovljivih virov in dolgoročno nižanje emisij toplogrednih plinov.

Direktiva 2002/91/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 16. decembra 2002 o energetska učinkovitosti stavb (EUR-Lex, 2002), ki jo

je leta 2010 dopolnila in spremenila Direktiva 2010/31/EU Evropskega parlamenta in Sveta z dne 19. maja 2010 o energetska učinkovitosti stavb (EUR-Lex, 2010) poudarja učinkovito, preudarno, racionalno in trajnostno porabo energije, naftnih derivatov, zemeljskega plina in trdnih goriv, ki so bistveni viri energije za obratovanje stavb, hkrati pa tudi najpomembnejši viri emisij ogljikovega dioksida.

Nadalje Direktiva 2009/28/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 23. aprila 2009 o spodbujanju uporabe energije iz obnovljivih virov uveljavlja 20 % delež obnovljive energije v skupni porabi končne energije (EUR-Lex, 2009). V tem deležu je med drugimi zajeta tudi poraba energije iz obnovljivih virov v stavbah.

V evropskem prostoru se izvajajo oz. so se izvajali različni programi s cilji definiranja meril trajnostne gradnje, certificiranja stavb, ureditve standardizacije, primerljivosti in olajšanja procesa odločanja za izvedbo ukrepov trajnostne gradnje. Sedmi okvirni program EU za raziskave in tehnološki razvoj (kratica 7. OP, ang. 7th Framework Programme for Research and Technological Development – FP7 (EU, 2006)), ki je potekal od leta 2007 do 2013, je vključeval dva razvojna projekta, ki sta neposredno povezana z merili in modeli vrednotenja trajnostne gradnje. Prvi raziskovalni projekt, imenovan SuPer Buildings (ang. Sustainability Performance Assessment and Benchmarking of Buildings), se je izvajal med letoma 2010 in 2012 (Häkkinen, 2012). Namen tega projekta ni bil oblikovanje novega modela vrednotenja trajnostne gradnje, ampak predvsem podpora razvoju obstoječih modelov

trajnostnega vrednotenja. Drugi raziskovalni projekt, imenovan Open House, se je izvajal med letoma 2010 in 2013 (Open House, 2013). Njegov osnovni namen je bil razvoj in implementacija splošnega transparentnega evropskega modela vrednotenja trajnostne gradnje.

V odgovor na sprejete predpise in zahteve po izvajanju prenov obstoječih stavb je bil v okviru programa Obzorje 2020 marca 2016 izveden zagon projekta BUILD UPON s ciljem pospeševanja opravljanja kvalitetne in energetske učinkovite obnove obstoječih stavb. V projekt so vključena združenja za trajnostno gradnjo iz dvanajstih držav članic EU in ene države kandidatke (Turčija). Program Obzorje 2020 zagotavlja sredstva za ta projekt, ki bo trajal do leta 2017. Projekt BUILD UPON povezuje vlade, podjetja, nevladne organizacije in lastnike stanovanj z namenom sodelovanja pri oblikovanju učinkovitih nacionalnih strategij prenove stavb, delitve znanj in dobre prakse (Build Upon, 2015).

V Sloveniji je doslej edini zakonsko opredeljen izkaz energetske učinkovitosti stavb podan z energetske izkaznice (EI), ki je javno dostopni podatek. EI sicer ni obvezno pridobiti za vsako obstoječo stavbo, ampak so z zakonodajo (MI, 2014) definirani primeri, v katerih je EI obvezna. Ob opredeljeni EI poznamo še t. i. energetske pregled, ki se opravlja v manjši meri oz. v primerih, kot jih zahteva Energetski zakon (RS, 2014). Oba dokumenta podajata pregled obstoječega stanja in informacijo o energijskem razredu stavbe, vendar samo ta podatek pri odločanju o investicijskih vlaganjih v prenove stavb ne zadošča.

Tehnične zahteve, ki jih morajo biti izpolnjene za učinkovito porabo energije v stavbah, predpisuje Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (MOP, 2010a), medtem ko gradbene ukrepe in rešitve za doseg te tehničnih zahtev opredeljuje tehnična smernica za graditev TSG – Učinkovita raba energije (MOP, 2010b).

V smislu spodbujanja trajnostne gradnje je pomemben tudi dokument Energetska bilanca RS za leto 2015, ki ga je vsaka država članica EU obvezna pripraviti na letni ravni za preteklo leto. Energetska bilanca RS za leto 2015 (MI, 2015) namreč napoveduje skupno letno porabo posameznih virov energije in načine zagotavljanj oskrbe z energijo za zadnja tri leta. Ob tem poda letne podatke o končni porabi energije ločeno po šestih skupinah: energetskega sektorja, predelovalna dejavnost in gradbeništvo, promet, gospodinjstva in ostala poraba (storitve in druga poraba), neenergetski sektor. Za primer navajamo porabo energije v skupini ostala poraba, kamor uvrščamo porabo energije za delovanje poslovnih stavb za opravljanje storitvenih in drugih dejavnosti. Za to skupino je v letu 2013 znašala končna letna poraba energije 11,80 %, v letu 2014 10,90 % in v letu 2015 10,80 %; napoved za leto 2016 je v višini 10,70 % od skupne končne porabe energije v Sloveniji, iz česar lahko razberemo negativni trend letne porabe energije.

4 • ZDRUŽENJA ZA SPODBUJANJE TRAJNOSTNE GRADNJE

Različna združenja po celem svetu z vključenimi strokovnjaki z različnih področij in gospodarstveniki ter z izvajanjem aktivnosti spodbujajo trajnostno gradnjo.

Na svetovni ravni je bila leta 2002 oblikovana mednarodna organizacija – Svetovno združenje za trajnostno gradnjo WGBC (ang. World Green Building Council), ki predstavlja globalno mrežo nekaj manj kot 100 podjetij in organizacij s področja gradnje objektov. Združenje je razdeljeno na regionalne mreže v Evropi, obeh Amerikah, v Afriki, na Bližnjem vzhodu in v Aziji. Osnovno vodilo WGBC je znižanje porabe energije v gradbenem okolju, ob upoštevanju preostalih vidikov trajnostne gradnje. Poslanstvo Evropske regionalne mreže World GBC je povezovanje združenj posameznih evropskih držav ter pomoč pri ustanavljanju združenj, zbiranju sredstev in uveljavljanju oz. širjenju miselnosti trajnostne gradnje.

Med regionalnimi mrežami v svetu bi omenili Ameriško regionalno mrežo (ang. The World

GBC Americas Regional Network) (WGBC, 2016), ki zajema 23 združenj za trajnostno gradnjo (ang. U.S. Green Buildings Council – v nadaljevanju USGBC), saj, kot navaja Yudelson (Yudelson, 2010), v zadnjih 20 letih zanimanje za trajnostno gradnjo in s tem povezane procese v Združenih državah Amerike (v nadaljevanju ZDA) raste. Ob tem avtor izpostavi neprofitna organizacija U.S. Green Building Council, ki skrbi za promocijo trajnostne gradnje stavb. Združenje je leta 1998 izdelalo in še naprej razvija mednarodno priznani model certificiranja stavb za vrednotenje trajnostne gradnje LEED (ang. Leadership in Energy and Environmental Design).

V Sloveniji je bilo kot del svetovnega združenja in del Evropske regionalne mreže World GBC (ang. European Regional Network World GBC) ustanovljeno Slovensko združenje za trajnostno gradnjo (GBC Slovenija, 2010). Združenje se osredotoča na izobraževanje,

vzpostavljanje strokovnih meril, vzpostavljanje podatkovnih baz, izmenjavo dobrih praks, certificiranje stavb, sistematično sledenje in zbiranje novih znanj s področja trajnostne gradnje, sledenje aktualni zakonodaji, izmenjavo mnenj ob vladnih pobudah in povezovanje sorodnih interesnih združenj.

GBC Slovenija na svojih spletnih straneh navaja različne podatke, s katerimi želi predstaviti pomen trajnostne gradnje in njen vpliv. Med drugim navaja, da svetovna gradbena industrija letno ustvari okrog 5,1 bilijona evrov prihodkov, upravlja okrog 10 % BDP in zaposluje več kot 100 milijonov ljudi po vsem svetu, kar predstavlja ogromen potencial za udejanjanje načela trajnosti v celotni verigi gradbene industrije. Združenje izvaja izobraževanja za pridobitev strokovnih nazivov, po v Nemčiji priznanem sistemu certificiranja trajnostnih stavb, po modelu DGNB. V nadaljevanju podajamo te nazive, ki jih podeljuje GBC Slovenija (<http://www.dgnb-system.de/si/certificiranje/dgnb-avditorji-in-konzultant/dgnb-avditorji/>)

- DGNB registriran strokovnjak,
- DGNB avditor,
- DGNB konzultant.

5 • PREGLED MODELOV IN PRIMERJAVA SISTEMOV MERIL TRAJNOSTNEGA VREDNOTENJA OBSTOJEČIH STAVB

Od usmeritvenih dokumentov, standardov, strategij in direktiv EU ter nacionalnih zakono-

daj do udejanjanja načel trajnostne gradnje je dolga pot tako v javnem kot v gospodar-

skem sektorju. Kajti za udejanjanje trajnostne gradnje je nujna uporaba orodij t. i. sistemov meril, ki omogočajo preveritev pravilnosti in učinkovitosti načrtovanih in izvedenih posegov ter ekonomske upravičenosti.

Oblikovanje in razvoj objektivnih sistemov meril trajnostne gradnje po posameznih

vrstah stavb in sosesek predstavlja za razvojnike modelov in sistemov meril velik izziv, saj mora uporaba sistemov meril omogočati dokazovanje okoljske prijaznosti, ekonomske učinkovitosti in družbene sprejemljivosti zasnove in izvedene prenovne stavbe (GI ZRMK, 2011).

Kot rezultat dela na področju trajnostne gradnje so se v svetovnem merilu različni modeli, ki predstavljajo osnovo trajnostnega vrednotenja in certificiranja stavb (Yudelson, 2010). Zeinal in Huber (Zeinal, 2012) navajata najbolj razširjene modele, kot jih po državi izvora in letu nastanka prikazujemo v preglednici 3. Avtorja navajata, da sta v svetu najpogosteje uporabljena modela LEED in BREEAM. Model DGNB je privzelo združenje GBC Slovenija.

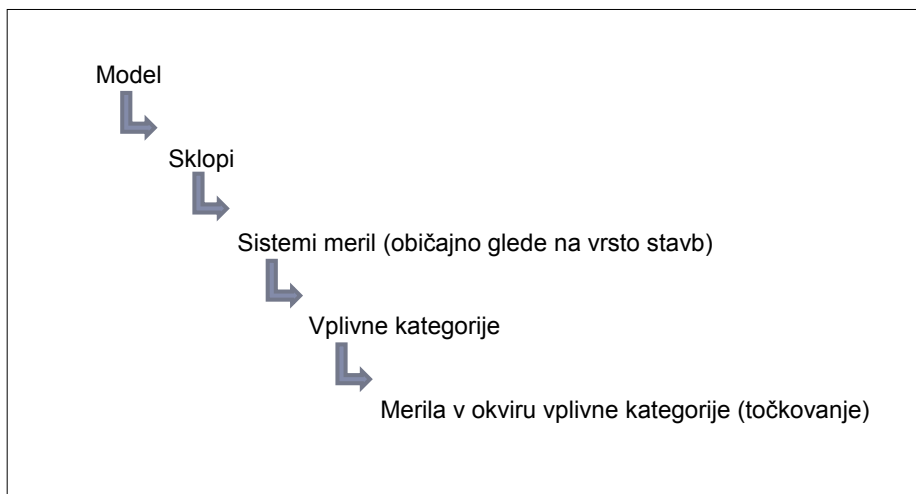
Model	leto	država
BREEAM	1990	Velika Britanija
HQE	1996	Francija
LEED	1998	ZDA
CASBEE	2001	Japonska
GREEN STAR	2002	Avstralija
DGNB	2009	Nemčija

Preglednica 3 • Modeli vrednotenja trajnostne gradnje, prirjeno po (Zeinal, 2012)

V nadaljevanju bomo podrobneje obravnavali naslednje tri modele:

- LEED,
- BREEAM in
- DGNB.

Skupno vsem modelom vrednotenja trajnosti stavb je, da so razdeljeni na smiselno zaključene celote oziroma sklope. V okviru teh sklopov so opredeljeni različne vrste stavb, soseske, urbanizem idr. Za določeno vrsto posegov v obstoječo vrsto stavbe ali v novogradnjo vseh vrst so oblikovana točno določena merila. Merila se uporabljajo pri trajnostnem vrednotenju in podeljevanju certifikatov ter so ovrednotena s točkami. Skupek vseh meril imenujemo sistem meril. Seštevek pridobljenih točk po določenih merilih posameznega sistema poda odgovor, kakšen certifikat smo z izvedenimi posegi dosegli. Vsak model in posledično tudi sistem meril sta za posamezno vrsto stavbe razdeljena na vplivne kategorije. Vsak model ima opredeljene svoje vplivne kategorije, tako da so kategorije različne po opisu, vsebini in številu. Slika 3 prikazuje splošno poimenova-



Slika 3 • Sestavni elementi modela trajnostnega vrednotenja

nje sestavnih elementov modela trajnostnega vrednotenja stavb.

Ker je posamezni model in njegov sistem meril definiran za točno določeno vrsto stavb (ki ima svojstven vpliv na porabo virov in okolje), je pomembno poznavanje tipologije stavb in državnega stavbnega fonda. Slovenija je pred nalogo popisa stavbnega fonda, na osnovi katerega bodo temeljili projekcije, cilji in ukrepi učinkovite porabe energije (EUR-Lex, 2009) do leta 2020, 2030 in 2050 (BPIE, 2014).

V Sloveniji je stavbni fond predstavljen v Dolgoročni strategiji za spodbujanje naložb energetske prenovne stavb (MI, 2015). V tej strategiji je stavbni fond evidentiran na podatkih iz leta 2012 in navaja, da stanovanja predstavljajo 72 % delež celotnega stavbnega fonda, preostale nestanovanjske stavbe pa 28 % delež stavbnega fonda. Od tega predstavljajo 20 % gostinske stavbe, stavbe za trgovsko dejavnost in drugo storitveno dejavnost ter stavbe z rabo splošnega družbenega pomena ter ostalih 8 % poslovne in upravne stavbe, ki so predmet obravnave v članku.

5.1 Model LEED (ang. Leadership in Energy and Environmental Design)

Ameriški model LEED in njegov sistem meril je podrobneje predstavljen na spletni strani oblikovalca modela, to je združenja USGBC. Namen LEED-a je spreminjanje načina mišljenja in načrtovanja stavb in sosesk ter njihove gradnje, vzdrževanja in obratovanja, saj stavbni fond v ZDA povzroči kar 38 % vseh emisij CO₂, porabi 73 % proizvedene električne energije in 13,6 % vse pitne vode. Spletna stran USGBC med drugim navaja, da

je v svetovnem merilu ta sistem najpogosteje uporabljen, in sicer se po njem dnevno certificira 171.934 m² površin stavb. Nadalje USGBC zapisuje prepoznane prednosti pridobitve certifikata LEED in vplivanje na različna področja, kot so konkurenčna prednost, večje zadovoljstvo zaposlenih, najemnikov in ugodnejše delovno/bivanjsko okolje, večje zanimanje najemnikov, večja zasedenost najemnih površin in višje najemnine, nižja poraba energentov in nižji obratovalni stroški, stroškovno učinkovitejše obratovanje stavbe, izboljšanje odnosov z javnostjo.

Model obravnava vse tipe stavbe (od individualnih hiš do poslovnih upravnih stavb) in vse faze življenjskega cikla stavbe (zasnova, načrtovanje, gradnja, uporaba). Model je mogoče uporabiti tudi pri večjem številu stavb (skupini stavb).

LEED ima oblikovane sisteme meril, v katere so vključeni trajnostni vidiki in so z njimi povezani. Vsak sistem ima vzpostavljeno točkovanje in na osnovi doseženih točk se opredelita dosežen znak in certifikat stavbe. LEED pozna štiri znake in certifikate: osnovni, srebrni, zlati in platinasti. Znaki so prikazani na sliki 4. Znaki so običajno nameščeni na fasadi stavbe ob vhodu, na vidnem mestu. Na sliki 5 je prikaz certifikatov LEED. Certifikat se prejme v papirni obliki.

Novembra 2014 je bila objavljena zadnja verzija sistema meril in točkovanj z imenom LEEDv4. Do konca oktobra 2016 je predvideno prehodno obdobje, ko se lastnik stavbe lahko odloči, ali bo stavbo vrednotil po sistemu meril iz leta 2009 (v nadaljevanju LEED 2009) ali po sistemu LEEDv4 iz leta 2014.

Sklopi so osnovni elementi celotnega modela LEED in so naslednji:



Slika 4 • Znaki LEED (Bock, 2012)



Slika 5 • Prikaz certifikatov LEED

- LEED BD+C: načrtovanje in izvedba stavb (ang. Building Design and Construction),
- LEED ID+C: načrtovanje notranje opreme in izvedba (ang. Interior Design and Construction),
- LEED O+M: obratovanje in vzdrževanje obstoječih stavb (ang. Building Operations and Maintenance, v nadaljevanju),
- LEED ND: razvoj sosesk (ang. Neighborhood Development),
- enostanovanjske in večstanovanjske stavbe (ang. Homes design and Construction).

LEED-certificiranje za obstoječe stavbe se nanaša na dejansko stanje stavbe in ne

na projektirano stanje. Pri certificiranju in upoštevanju meril se obravnava celostna stavba in ne posamezni del.

Navedeni sklopi so dodatno razdeljeni na več zaključenih sistemov meril. Vsak sistem meril obsega vplivne kategorije (sedem vplivnih kategorij), med katere uvrščamo (LEED, 2014):

- lokacija in logistika (transport),
- trajnostna uporaba lokacije,
- učinkovita poraba vode,
- učinkovita poraba energije,
- materiali in viri,
- kvaliteta bivalnega/delovnega okolja,
- inovacije,
- vpliv regije.

V preglednici 4 je prikazan celoten model LEED s sklopi, poleg tega so naštetni vsi sistemi meril posameznega sklopa. Iz preglednice 4 je iz imena posameznega sistema meril razvidno, da so sistemi meril oblikovani za posamezno vrsto stavbe ali za sosesko. Vplivne kategorije imajo različen vpliv pri posameznem sistemu meril. Vpliv se meri s točkami, in sicer je vsako merilo vplivne kategorije posebej ovrednoteno. Seštevek zbranih točk ovrednoti vpliv posamezne kategorije. Pri pregledu sistema meril posamezne vrste stavbe je iz zbranih točk razvidno, kakšen vpliv ima posamezna kategorija pri določeni vrsti stavbe.

LEED BD+C	LEED ID+C	LEED O+M	LEED ND
novogradnje	poslovne stavbe	obstoječe stavbe	načrtovanje razvoja sosesk
ovoj in jedro stavbe	trgovske stavbe	šole	razvoj sosesk
šole	bolnišnice	trgovske stavbe	
trgovske stavbe		bolnišnice	
bolnišnice		računalniški centri	
računalniški centri		skladišča in logistični centri	
skladišča in logistični centri			
zdravstvo			
stanovanjske hiše			
manjše večstanovanjske stavbe			

Preglednica 4 • Prikaz modela LEEDv4 s sklopi in sistemi meril, prirejeno po (LEED, 2014)

5.2 Model BREEAM (ang. Building Research Environmental Assessment Method)

Angleški model vrednotenja in sistem meril BREEAM je podrobneje predstavljen na spletni strani, kjer je poudarjeno, da je BREEAM vodilni na področju zasnove in projektiranja stavb, novogradenj, prenov obstoječih stavb in obratovanja. Leta 1990 je model prvič predstavilo združenje za raziskavo stavb (ang. Building Research Establishment, v nadaljevanju BRE), ki je prvotno bilo ustanovljeno kot javna organizacija, zdaj pa spada v zasebni sektor. BREEAM se od leta 1990 vseskozi razvija in dopolnjuje. Od prvotnega poudarka le na graditve novogradenj je model do danes prešel na celotno dobo trajanja stavbe in tako obravnava tudi fazo obratovanja stavbe in njene prenove.

Spletna stran BREEAM med drugim navaja, da se model BREEAM uporablja v 77 državah sveta, da je doslej podeljenih 541.420 certifikatov in da je od leta 1990 do danes zavedenih 2.238.128 stavb za vrednotenje. Prav tako zasledimo podatek o 80 % tržnem

deležu uporabe tega modela na območju Evrope.

Model BREEAM in sistemi meril se lahko uporabijo za vse vrste stavb, na različnih lokacijah, za vse faze dobe trajanja stavbe in za urbanistično načrtovanje.

BREEAM ima oblikovane sisteme meril, v katere so vključeni trajnostni vidiki ali so z njimi povezani. Vsak sistem ima vzpostavljeno točkovanje in na osnovi doseženih točk se opredelita doseženi certifikat stavbe in število zvezdic. BREEAM pozna šest certifikatov: sprejemljiv, zadovoljiv, dober, zelo dober, odličen in izjemen. Dosežen certifikat se odraža v številu zvezd na certifikatu BREEAM. Na sliki 6 sta prikazana primera odličnih certifikatov oz. pet zvezdic.

Model BREEAM je razdeljen na naslednje posamezne sklope:

- urbanistično načrtovanje (ang. Masterplanning),
- novogradnje (ang. New Construction),
- uporaba obstoječih stavb (ang. In-Use International).

- prenova obstoječih stavb (ang. Refurbishment and Fit-out).

Navedenih sklopi so dodatno razdeljeni na več zaključenih sistemov meril. Vsak sistem meril obsega vplivne kategorije. Model BREEAM zajema naslednjih deset vplivnih kategorij:

- učinkovita poraba energije in obnovljivi viri,
- zdravje, dobro počutje in varnost uporabnikov,
- inovacije,
- trajnostna uporaba lokacije,
- vpliv gradbenih materialov,
- vodenje v smeri trajnostne gradnje,
- preprečevanje onesnaženja in vplivov na okolje,
- transport in logistika uporabnikov z vidika trajnosti,
- ravnanje z odpadki,
- učinkovita poraba vode.

V okviru vsake vplivne kategorije so zajeta različna merila in je podano največje število možnih točk v posamezni kategoriji. Iz po-



Slika 6 • Primera odličnega certifikata BREEAM in pet zvezdic (BREEAM, 2016)

urbanistično načrtovanje (ang. Masterplanning);	novogradnje (ang. New Construction);	uporaba obstoječih stavb (ang. In-Use International);	prenova obstoječih stavb (ang. Refurbishment and Fit-out)
sošeske / občine	infrastruktura večstanovanjske stavbe poslovne stavbe trgovske stavbe industrija zdravstvo šolstvo bivalne skupnosti, domovi stavbe za družbene dejavnosti javne stavbe računalniški centri drugo	poslovne stavbe trgovske stavbe industrija zdravstvo šolstvo stavbe za družbene dejavnosti javne stavbe računalniški centri drugo	poslovne stavbe trgovske stavbe industrija zdravstvo šolstvo bivalne skupnosti, domovi stavbe za družbene dejavnosti javne stavbe računalniški centri drugo

Preglednica 5 • Prikaz modela BREEAM s sklopi in sistemi meril (BREEAM, 2016)

danega največjega možnega števila točk je razvidno, kakšen vpliv ima posamezna kategorija pri določeni vrsti stavbe. V preglednici 5 je prikazan celotni model BREEAM s sklopi in naštetih so vsi sistemi meril posameznega sklopa. Iz preglednice 5 je iz imena posameznega sistema meril

razvidno, da so sistemi meril oblikovani za posamezno vrsto stavbe. Vsak sistem meril je pripravljen za posamezno vrsto stavb, pri čemer bi poudarili, da se povsod, razen pri urbanističnem načrtovanju, pojavljajo poslovne stavbe kot ločena vrsta stavb.

Za model BREEAM velja omeniti, da so bili v obdobju od februarja 2016 do marca 2016 objavljeni najnovejši tehnični priročniki modela, in sicer:

- za novogradnje,
- za uporabo obstoječih stavb,
- za prenavo obstoječih stavb.



Slika 7 • Prikaz primera certifikata DGNB in predcertifikata (<http://www.b-a-e.bg/pageseng.aspx?id=46> in <http://habackerholding.com/en/green-logistics/>)

Priročniki detajlno opisujejo in razdelajo vsako posamezno merilo, ki je vključeno v trajnostno vrednotenje. Priročniki zajemajo tudi navodila in usmeritve za primere stavb, ki se razlikujejo od v modelu že določenih ali imajo različna odstopanja od njih.

5.3 Model DGNB (Nemčija, nem. Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen)

Model ocenjevanja in sistem meril DGNB je oblikovalo Nemško združenje za trajnostno gradnjo (nem. DGNB – Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e.V.), ki je bilo ustanovljeno leta 2007 kot profitno gospodarsko združenje. Po kratki združenja je bil poimenovan model DGNB. Prva uporaba modela sega v leto 2008 in od takrat se model vseskozi razvija in dopolnjuje.

Spletna stran DGNB (DGNB, 2016) navaja, da je bilo doslej po tem modelu certificiranih in prijavljenih v postopek certificiranja 1239 projektov trajnostne gradnje, od teh je bilo v letu 2016 izdanih 64 certifikatov.

Namen DGNB sta ocenjevanje novogradenj, obstoječih stavb in mestnih četrti z vidika trajnostne gradnje in razvoja ter celosten pristop k obravnavanju življenjskemu ciklu stavb.

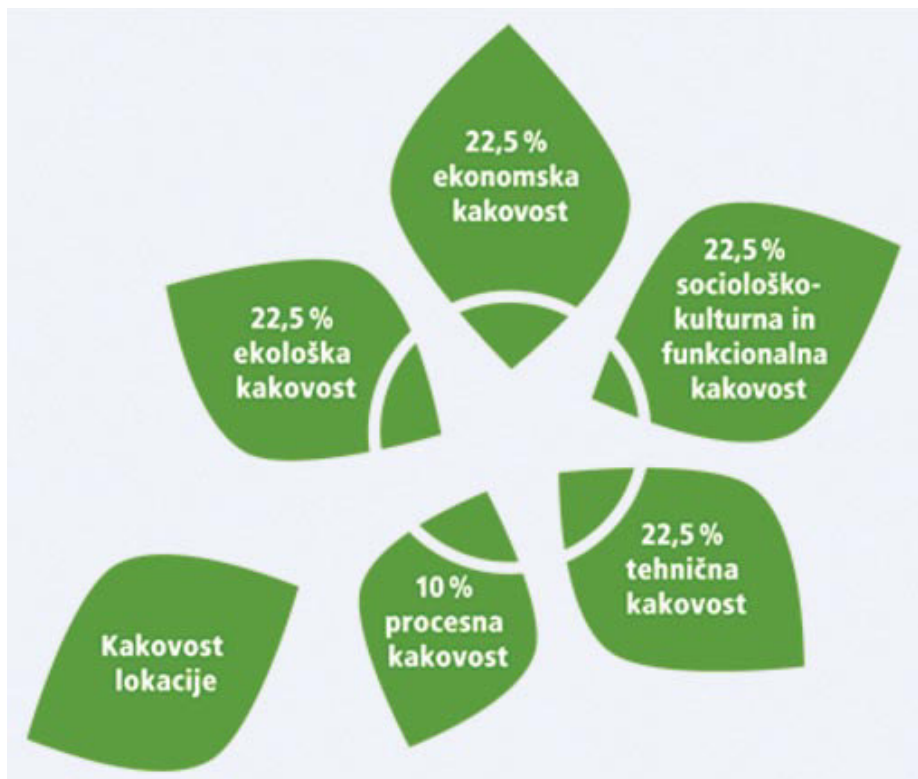
Model DGNB in sistemi meril se uporabljajo za vse vrste stavb na različnih lokacijah stavb in za vse faze dobe trajaja stavb, ki jih model obravnava, od surovin za gradnjo, proizvodnje materialov, transporta materialov do zasnove, načrtovanja, izgradnje, uporabe, prenove ali rušitve stavbe ter razgradnje in recikliranja materialov in odlaganja odpadkov.

DGNB ima oblikovane sisteme meril, v katere so vključeni trajnostni vidiki in so z njimi povezani. Vsak sistem ima vzpostavljeno točkovanje in na osnovi doseženih točk se opredeli dosežen certifikat stavbe. DGNB pozna štiri certifikate: bronasti (možen le pri obstoječih stavbah), srebrni, zlati in platinasti. Na sliki 7 sta podana primera certifikata DGNB in predcertifikata. Predcertificiranje je značilno za gradnje stavb, ki terjajo daljše časovne obdobje do uporabe (več časa je potrebno za načrtovanje, za izvedbo upravnih postopkov, za izgradnjo).

Model DGNB je razdeljen na naslednje posamezne sklope:

- obstoječe stavbe,
- novogradnje,
- novogradnja četrti.

Navedeni sklopi so dodatno razdeljeni na več zaključenih sistemov meril. Model DGNB sisteme meril prilagaja vrstam stavb in gradenj ter zahtevam trga. Za nastanek novega si-



Slika 8 • Vplivne kategorije v modelu DGNB (<http://www.dgnb-system.de/si/sistem/trajnostni-koncept/>)

stema meril je nujna spodbuda s trga. Po navedbah je trenutno v uporabi 21 različnih sistemov meril. Vsak sistem meril obsega vplivne kategorije.

Model DGNB v vsakem sistemu meril upošteva šest vplivnih kategorij oz. tematskih področij, kot so grafično prikazane na sliki 8.

Vplivne kategorije imajo naslednje značilnosti:

- a) Ekološka kakovost: uporablja se izračun analize življenjskega cikla stavbe – LCA (ang. Life Cycle Assessment), ki podaja kvantitativne podatke o porabi energije, vode, materialov (surovin) in oddanih emisijah v celotni življenjski dobi stavbe.
- b) Ekonomska kakovost: poudarja racionalnost uporabe finančnih sredstev. Model DGNB uporablja izračun t. i. vseživljenjskih stroškov stavbe – LCC (ang. Life Cycle Costing), ki podaja podatek o skupnih stroških stavbe ob upoštevanju vseh faz življenjske dobe stavbe: izgradnja, strošek energentov, vzdrževanje in redni obratovalni stroški, strošek porabe vode, stroški financiranja.
- c) Sociološko-kulturna in funkcionalna kakovost: obravnava ugodje, varnost in dostopnost z vidika uporabnika stavbe.
- d) Tehnična kakovost: uporablja vrednotenje ali rešitve, ki zgolj dosegajo minimalno zakonsko zahtevane standarde ali jih pre-

segajo. Vrednosti se lahko izražajo tudi kot enostavnost čiščenja in vzdrževanja, razgradnje in recikliranja.

- e) Procesna kakovost: zajema zagotavljanje kakovosti procesov v fazah zasnove, načrtovanja, organizacije izvedbe, izvedbe, nadzora in podobno. Kot pozitivna kakovost se na primer vrednoti vključenost interdisciplinarnega tima strokovnjakov že v fazi zasnove, kakovost popisa del s količinami in predračunov, organizacija gradbišča ipd.
- f) Kakovost lokacije: upošteva se kot ločena kategorija vrednotenja v sklopu novogradnje ali obstoječe stavbe, medtem ko je pri mestnih četrtih zajeta na ravni kriterijev. Pri stavbah se vrednoti mikrolokacija, ugled ter stanje lokacije in mestne četrti, prometna navezava, bližina različnih objektov ali ustanov (šole, vrtci, lekarna ipd.).

Kot pri predhodnih dveh modelih so tudi pri modelu DGNB v okviru vsake vplivne kategorije zajeta različna merila in je podano največje število možnih točk v posamezni kategoriji. Iz podanega največjega možnega števila točk je razvidno, kakšen vpliv ima posamezna kategorija pri določeni vrsti stavbe.

V preglednici 6 je prikazan celotni model DGNB s sklopi in vsemi naštetimi sistemi meril posameznega sklopa. Iz preglednice

OBSTOJEČE STAVBE	NOVOGRADNJE	NOVOGRADNJE ČETRTEI
pisarniške in upravne stavbe	stavbe za izobraževanje	mestne četrti
trgovske stavbe	pisarniške in upravne stavbe	industrijske lokacije
industrijske stavbe	pisarniške in upravne stavbe s posodobitvenimi ukrepi	obrtne četrti - obrtne cone
stanovanja	trgovske stavbe	
	hotelske stavbe	
	industrijske stavbe	
	stavbe za zdravstvo	
	laboratorijske stavbe	
	najemniška preureditev	
	mešana raba	
	garažne hiše	
	stanovanjske stavbe (več kot 6 enot)	
	manjše stanovanjske stavbe (do 6 enot)	
	prostorji za zbiranja	

Preglednica 6 • Prikaz modela DGNB s sklopi in sistemi meril (<http://www.dgnb-system.de/si/uporabniski-profil/porabniski-profil-sistema-DGNB/>)

6 je iz imena posameznega sistema meril razvidno, da so sistemi meril oblikovani za posamezno vrsto stavbe (delitev po namembnosti). Poslovne stavbe so uvrščene med pisarniške in upravne stavbe.

5.4 Primerjava modelov in sistemov meril

V nadaljevanju bomo prikazali zbrane podatke modelov LEED, BREEAM in DGNB, in sicer o osnovnih značilnostih posameznih modelov, njihovih sklopih, ter pregled sistemov meril in vplivnih kategorij, ki jih predlagamo za vrednotenje trajnostne prenoval obstoječih poslovnih stavb.

V preglednici 7 so zbrani osnovni podatki in splošne značilnosti modelov trajnostnega vrednotenja stavb LEED, BREEAM in DGNB. Popis vseh sklopov in pripadajočih sistemov meril (glede na vrsto stavbe), ki sestavljajo modele trajnostnega vrednotenja stavb LEED, BREEAM in DGNB, prikazujemo v preglednici 8.

Kratice modela	LEED	BREEAM	DGNB
celotno ime	Leadership in Energy and Environmental Design	Building Research Environmental Assessment Method	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen
država nastanka	Združene države Amerike	Velika Britanija	Nemčija
zasnovan na*	BREEAM	izvirni model	LEED, BREEAM, CASBEE, HQE, Green Star
leto	1998	1990	2009
	osnovni (40–49 točk)	sprejemljiv (le pri obstoječih stavbah, doseženih < 30 %)	bronasti (le pri obstoječih stavbah, doseženih minimalno skupnih 35 %)
	srebrni (50–59 točk)	zadovoljiv (doseženih ≥ 30 %)	srebrni (doseženih minimalno 35 %** in doseženih minimalno skupnih 50 %)
	zlati (60–79 točk)	dober (doseženih ≥ 45 %)	zlati (doseženih minimalno 50 % in doseženih minimalno skupnih 65 %)
	platinasti (najvišji, 80 ali več točk)	zelo dober (doseženih ≥ 55 %)	platinasti (doseženih minimalno 65 % in doseženih minimalno skupnih 80 %)
		odličen (doseženih ≥ 70 %)	
		izjemen (doseženih ≥ 85 %)	
spletni naslov	http://www.usgbc.org/leed	http://www.breeam.com/	http://www.dgnb.de/
opomba:*(Ebert, 2011), ** minimalni % po 5 kategorijah, brez lokacije			

Preglednica 7 • Osnovni podatki in značilnosti modelov trajnostnega vrednotenja stavb LEED, BREEAM in DGNB

kratica	LEED	BREEAM	DGNB
naziv sklopa	načrtovanje in izvedba (LEED BD+C)	urbanistično načrtovanje (Masterplanning)	novogradnje
sistem meril	novogradnje, ovoj in jedro stavbe, šole, trgovske stavbe, bolnišnice, računalniški centri, skladišča in logistični centri, zdravstvo, stanovanjske hiše, manjše stanovanjske stavbe	soseske/občine, novogradnje	stavbe za izobraževanje, pisarniške in upravne stavbe, pisarniške in upravne stavbe z modernizacijskimi ukrepi, trgovske stavbe, hotelske stavbe, industrijske stavbe, stavbe za zdravstvo, laboratorijske stavbe, najemniška preureditev, mešana uporaba, garažne hiše, stanovanjske stavbe (več kot 6 enot), manjše stanovanjske stavbe (do 6 enot), prostori za zbiranje
naziv sklopa	načrtovanje notranje opreme in izvedba (LEED ID+C)	novogradnje (New Construction)	obstoječe stavbe
sistem meril	poslovne stavbe, trgovske stavbe, bolnišnice	infrastruktura, večstanovanjske stavbe, poslovne stavbe, trgovske stavbe, industrija, zdravstvo, šolstvo, bivalne skupnosti, domovi, stavbe za družbene dejavnosti, javne stavbe, računalniški centri, drugo	pisarniške in upravne stavbe, trgovske stavbe, industrijske stavbe, stanovanja
naziv sklopa	obratovanje in vzdrževanje obstoječih stavb (LEED O+M)	uporaba obstoječih stavb (In-Use International)	novogradnje četrti
sistem meril	obstoječe stavbe, šole, trgovske stavbe, bolnišnice, računalniški centri, skladišča in logistični centri	poslovne stavbe, trgovske stavbe, industrija, zdravstvo, šolstvo, stavbe za družbene dejavnosti, javne stavbe, računalniški centri, drugo	mestne četrti, industrijske lokacije, obrtne četrti – obrtne cone
naziv sklopa	razvoj sosesk (LEED ND)	prenova obstoječih stavb (Refurbishment and Fit-out)	
sistem meril	načrtovanje razvoja sosesk, razvoj sosesk	poslovne stavbe, trgovske stavbe, industrija, zdravstvo, šolstvo, bivalne skupnosti, domovi, stavbe za družbene dejavnosti, javne stavbe, računalniški centri, drugo	
naziv sklopa	eno- in večstanovanjske stavbe (Homes design and Construction)		

Preglednica 8 • Sklopi in pripadajoči sistemi meril (glede na vrsto stavbe), ki sestavljajo modele trajnostnega vrednotenja stavb LEED, BREEAM in DGNB

V članku se omejujemo na primerjavo sistemov meril prenove obstoječih poslovnih stavb, zato v preglednici 9 primerjamo med seboj točno tri določene sisteme meril, ki obravnavajo prenovo obstoječih poslovnih stavb:

- LEEDv4 – posodobljen 4. januarja 2016,
- BREEAM – tehnični priročnik za prenovo nestanovanjskih stavb 2015 z dne 24. 3. 2016, DGNB – poslovne stavbe 2014.

Modeli različno poimenujejo vrsto stavbe ali stavbe, med katere spadajo obstoječe poslovne stavbe. Model LEED jih uvršča med obstoječe stavbe, model BREEAM med poslovne stavbe in model DGNB med pisarniške in upravne stavbe. Preglednica 9 podaja pregled kategorij in točk po posameznem modelu ter prikazuje, da sistemi meril nimajo enakega števila vplivnih kategorij, kategorije niso enako poimenovane in so vsebinsko različne.

Kategorije, ki sicer imajo identične vsebine v posameznem modelu, nimajo enakega števila možnih točk (ne »nosijo« enake teže) in vsak sistem meril ima različno število možnih vseh skupnih točk. Zaradi primerjanja smo točkovanje prenesli na skupni imenovalec (delež v odstotkih), ob tem da skupno število možnih točk pomeni 100 %. Ob tem smo vplivne kategorije razvrstili od tistih z največ točkami (večjim %) do tistih z najmanj točk (manjšim %).

Ob primerjavi vplivnih kategorij je razvidna večja podobnost med modeloma LEED in BREEAM, za kar ocenjujemo, da je posledica razvoja modelov v preteklosti, in je razvidno po letnici nastanka iz preglednice 3. DGNB je precej mlajša metoda in se je razvijala na osnovi izkušenj in dobre prakse že uveljavljenih metod vrednotenja trajnostne gradnje. Pri DGNB je na prvem mestu vplivna katego-

rija, ki se ukvarja s sociološko-kulturno in funkcionalno kakovostjo, kar zasleduje miselnost, da so stavbe namenjene predvsem ljudem. S tem metoda postavlja ljudi na prvo mesto in prenovo stavb v službo ljudem oziroma uporabnikom.

Vse metode imajo enako izhodišče, da je treba model in sistem meril izbrati na začetku investicije, ko snujemo prenove. Tako že v samo zasnovi prenove vključimo parametre in zahteve po posameznih merilih. Pomembno je, da si že med zasnovo investitor/vlagatelj postavi realne cilje, kaj želi s trajnostno prenovo doseči, in v projektantske rešitve vključi trajnost. Priporoča se pridobitev variantnih rešitev projektnih zasnov, saj tudi za trajnostno gradnjo oz. prenovo velja, da je možnost vplivanja na spremembe zasnove največja v tej fazi in so zato tudi stroški sprememb najmanjši.

LEED		
obratovanje in vzdrževanje obstoječih stavb (LEED O+M)		
obstoječe stavbe	točke	%
EA - energije in ozračje	38	35
EQ - kvaliteta bivalnega / delovnega okolja	17	15
LT - lokacija in logistika (transport)	15	14
WE - učinkovita raba vode	12	11
SS - trajnostna raba lokacije	10	9
MR - materiali in viri	8	7
IN - inovacije	6	5
RP - vpliv regije	4	4
Skupaj možnih točk:	110	100

DGNB		
obstoječe stavbe		
pisarniške in upravne stavbe	točke	%
SOC - sociološko-kulturna in funkcionalna kakovost	19	35
ENV - ekološka kakovost	15	28
PRO - procesna kakovost	12	22
ECO - ekonomska kakovost	6	11
TEC - tehnična kakovost	2	4
Skupaj možnih točk:	54	100

BREEAM		
prenova obstoječih stavb (Refurbishment and Fit-out)		
poslovne stavbe	točke	%
ENE - učinkovita raba energije in obnovljivi viri	35	23
HEA - zdravje, dobro počutje in varnost uporabnikov	22	14
MAN - vodenje trajnostne gradnje	21	14
MAT - vpliv gradbenih materialov	13	9
POL - preprečevanje onesnaženja in vplivov na okolje	14	9
WST - ravnanje z odpadki	11	7
TRA - transport in logistika uporabnikov z vidika trajnosti	13	9
INN - inovacije	10	7
WAT - učinkovita raba vode	9	6
LEO - trajnostna raba lokacije	4	3
Skupaj možnih točk:	152	100

Preglednica 9 • Pregled točk kategorij in udeležbe posamezne kategorije v odstotku za modele LEED, BREEAM in DGNB za obstoječe poslovne stavbe

Primerjava obravnavanih modelov je podana le kot primerjava treh modelov na splošni ravni in na nivoju vplivnih kategorij sistema meril prenove poslovne stavbe. Medsebojna primerjava na nivoju posameznih meril ni opravljena

in je predmet nadaljnjega raziskovanja. V tem primeru bi primerjali metode izračuna točk, omejitve, pogoje in parametre posameznih meril vplivnih kategorij znotraj sistema meril za prenovo poslovnih stavb modelov LEED,

BREEAM in DGNB. Idealna primerjava bi bila, če bi celovito in podrobno primerjali vse tri metode: LEED, BREEAM in DGNB, ter pripadajoče sisteme meril prenove poslovnih stavb na praktičnem primeru enake poslovne stavbe.

6 • SKLEP

Razvoj družbe ter posledično procesi in aktivnosti vseh vrst gradenj v vse večji meri upoštevajo vidike trajnostnega razvoja in zasledujejo cilj zmanjšanja emisij toplogrednih plinov. Trajnostni razvoj in trajnostna gradnja sta na območju EU pri posegih v prostor (npr. novogradnje, prenove, infrastruktura, preoblikovanje sosek idr.) primarna strateška cilja in kot takšna zastopana tako v zakonodaji EU kakor tudi v usmeritvenih dokumentih, nacionalni strategiji in smernicah Slovenije.

V članku smo prikazali temeljno zakonodajo in dokumente, na podlagi katerih se podajajo prioriteta in usmeritve k trajnostni gradnji. Ker so za vrednotenje trajnostne gradnje stavb v svetovnem merilu v uporabi različni modeli vrednotenja in podeljevanja certifikatov, smo se v članku omejili na predstavitev in primerjavo treh modelov, in sicer LEED, BREEAM in DGNB. Modela LEED in BREEAM sta najbolj razširjena modela v svetovnem merilu, DGNB pa je model, ki ga je v slovenski prostor vpe-

ljalo nacionalno združenje za trajnostno gradnjo (GBC Slovenija). V članku obravnavamo in z vidika prenove poslovnih stavb medsebojno primerjamo modele trajnostnega vrednotenja stavb, njihove sklope, sisteme meril in vplivne kategorije. Ocenjujemo, da bodo predstavljeni modeli v prihodnosti postali stalna praksa uporabe za potrebe vrednotenja stavb in še zlasti prenove poslovnih stavb, za katere predvidevamo, da se bo vanje zaradi strategij EU in dolgoročnih nacionalnih strategij v prihodnosti vlagalo. Uporaba modelov bo v pomoč lastniku pri odločanju, kakšen nivo prenove stavbe izbrati, da bo udeležil načela trajnostne gradnje in si pridobil zeleni certifikat.

7 • LITERATURA

- BPIE, Building Performance Institute Europe, Renovation strategies of selected EU countries, http://www.gbc-slovenia.si/wp-content/uploads/2014/11/Renovation_Strategies_EU_BPIE_2014.pdf, vpogled 11. 3. 2016, 2014.
- BREEAM, Building Research Environmental Assessment Method, <http://www.breeam.com/>, vpogled 17. 4. 2016, 2016.
- Build Up - The European Portal For Energy Efficiency In Buildings, Practical Approaches to the Building Renovation Challenge, <http://www.buildup.eu/en/practices/publications/practical-approaches-building-renovation-challenge-0>, vpogled 6. 3. 2016, 2016.

- Build Upon, Co-Creating Europe's National Renovation Strategies, http://www.worldgbc.org/files/1514/2652/7002/150310_BUILD_UPON_Project_Summary_WGBC.pdf, 2015.
- DGNB, Deutsche Gesellschaft fuer nachhaltiges Bauen, DGNB System, <http://www.dgnb-system.de/en/>, vpogled 17. 4. 2016, 2016.
- Ebert, T., EBig, N., Hauser, G., Green Building Certification Systems, Institut fuer Internationale Architecture-Dokumentation, Muenchen, 2011.
- EC, Evropska komisija, zelena knjiga, Okvir podnebne in energetske politike do 2030, [http://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2009_2014/documents/com/com_com\(2013\)0169_/com_com\(2013\)0169_sl.pdf](http://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2009_2014/documents/com/com_com(2013)0169_/com_com(2013)0169_sl.pdf), vpogled 15. 4. 2016, 2013.
- EU, FP7, the European Union's Research and Innovation funding programme for 2007-2013, https://ec.europa.eu/research/fp7/index_en.cfm, 2006.
- EUR-Lex, Direktiva 2002/91/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 16. decembra 2002 o energetske učinkovitosti stavb, <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/HTML/?uri=CELEX:32002L0091&qid=1457859786634&from=EN>, vpogled 13. 3. 2016, 2002.
- EUR-Lex, Direktiva 2009/28/ES z dne 23. aprila 2009 o spodbujanju uporabe energije iz obnovljivih virov, spremembi in poznejši razveljavitvi direktiv 2001/77/ES in 2003/30/ES, <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/?uri=CELEX%3A32009L0028>, vpogled 13. 3. 2016, 2009.
- EUR-Lex, Direktiva 2010/31/EU z dne 19. maja 2010 o energetske učinkovitosti stavb (prenovitev), http://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2010.153.01.0013.01.SLV&toc=OJ.L:2010:153:TOC, vpogled 13. 3. 2016, 2010.
- EUR-Lex, Odločba št. 406/2009/ES Evropskega parlamenta in sveta z dne 23. aprila 2009 o prizadevanju držav članic za zmanjšanje emisij toplogrednih plinov, da do leta 2020 izpolnijo zavezo Skupnosti za zmanjšanje emisij toplogrednih plinov, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ.L:2009:140:0136:0148:SL:PDF>, vpogled 6. 4. 2016, 2009.
- GBC Slovenija, Slovensko združenje za trajnostno gradnjo, <http://www.gbc-slovenia.si/>, vpogled 6. 3. 2016, 2010.
- GI ZRMK, Smernice za naročila javnih gradenj, Kriteriji za trajnostno gradnjo in zeleno javno naročanje, http://www.izs.si/fileadmin/dokumenti/publikacije-IZS/Smernica-javne-gradnje_priloge/priloga-06-Kriteriji-za-trajnostno-gradnjo-in-zeleno-javno-narocanje-GI-ZRMK.pdf, vpogled 29. 2. 2016, 2011.
- Häkkinen, T., Sustainability and performance assessment and benchmarking of building – Final report (Ed.), Espoo 2012, <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2012/T72.pdf>. VTT Technology 72. 409 p. + app. 49 p., 2012.
- Horizon 2020, WorkProgramme 2016-2017, 10. Secure, Clean and Efficient Energy, http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2016_2017/main/h2020-wp1617-energy_en.pdf, vpogled 8. 3. 2016, 2015.
- LEED, user guide v4, <http://www.usgbc.org/resources/leed-v4-user-guide>, 2014.
- MI, Ministrstvo za infrastrukturo RS, Energetska bilanca RS za leto 2015, http://www.energetikaportal.si/fileadmin/dokumenti/publikacije/energetska_bilanca/ebrs_2015.pdf, vpogled 6. 3. 2016), 2015.
- MI, Ministrstvo za infrastrukturo RS, MJU, Ministrstvo za javno upravo RS, Dolgoročna strategija za spodbujanje naložb energetske prenovе stavb 2015, http://www.energetika-portal.si/fileadmin/dokumenti/publikacije/dseps/dseps_final_okt2015.pdf, vpogled 6. 3. 2016, 2015.
- MI, Ministrstvo za infrastrukturo RS, Pravilnik o metodologiji izdelave in izdaji energetske izkaznice stavb, Uradni list RS, št. 92/14, 2014.
- MIZŠ, Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport RS, Obzorje 2020, http://www.mizs.gov.si/si/obzorje2020/o_obzorju_2020/, 2013.
- MOP, Ministrstvo za okolje in prostor RS, Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah, Uradni list RS, št. 52/10, 2010a.
- MOP, Ministrstvo za okolje in prostor RS, Tehnična smernica TSG-1-004:2010, Učinkovita raba energije, http://www.arhiv.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/zakonodaja/prostor/graditev/TSG-01-004_2010.pdf, vpogled 6. 4. 2016, 2010b.
- Open House, Assessment Guideline, http://www.openhouse-fp7.eu/assets/files/OPEN_HOUSE_AG1.2.pdf, 2013.
- RS, Republika Slovenija, Energetski zakon, Uradni list RS, št. 17/14 in 81/15, <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=ZAKO6665>, vpogled 6. 4. 2016, 2014.
- Schwartz, Y., Raslan, R., Variations in results of building energy simulation tools and their impact on BREEAM and LEED rating: A case study, Energy and Buildings, Volume 62, pages 350-359, 2013.
- Shah, S., Sustainable refurbishment, Wiley-Blackwell, John Wiley & Sons, UK, 2012.
- USGBC, U.S. Green Building Council, <http://www.usgbc.org/>, vpogled 6. 3. 2016, 2016.
- USGBC, U.S. Green Building Council, LEED v 4 for Building Design and Construction - current version, <http://www.usgbc.org/resources/leed-v4-building-design-and-construction-current-version>, vpogled 17. 4. 2016, 2016.
- WGBC, The World Green Building Council Americas Regional Network, <http://www.worldgbc.org/regions/americas/>, vpogled 6. 3. 2016, 2016.
- WGBC, World Green Building Council, World's largest collaborative retrofit project launches to cut emissions from buildings, <http://www.usgbc.org/leed>, vpogled 11. 3. 2016, 2016.
- Yudelson, J., Greening existing buildings, The McGraw-Hill Companies, United States of America, 2010.
- Zeinal, H. A., Huber, F., A comparative study of DGNB, LEED and BREEAM certificate system in urban sustainability, 7th International Conference on Urban Regeneration and Sustainability, <http://www.witpress.com/elibRARY/wit-transactions-on-ecology-and-the-environment/155/23107>, vpogled dne 14. 4. 2016, 2012.

POTRESNA ANALIZA JEKLENIH CILINDRIČNIH REZERVOARJEV

SEISMIC ANALYSIS OF STEEL CYLINDRICAL LIQUID STORAGE TANKS

Toni Klemenčič, mag. inž. grad.
prof. dr. Boštjan Brank, univ. dipl. inž. grad.

bbrank@fgg.uni-lj.si

Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani

Znanstveni članek

UDK 621.642:624.042.7

Povzetek | V članku ilustriramo komponente hidrodinamičnega pritiska na jeklene cilindrične rezervoarje zaradi potresa po SIST EN 1998-4. Ko so maksimalne vrednosti komponent ocenjene, jih lahko uporabimo za nelinearno analizo obnašanja rezervoarja. Za izbrani rezervoar prikažemo, kako se naredi geometrijska in materialna nelinearna analiza (za fiksno razmerje med navpičnim in vodoravnim pospeškom tal), s katero izračunamo vodoravne pospeške tal, pri katerih lahko pričakujemo uklon stene in nepovratne plastične deformacije rezervoarja.

Ključne besede: cilindrični rezervoar, hidrodinamični pritisk pri potresu, uklon cilindra, nelinearna analiza

Summary | We illustrate the components of the hydrodynamic pressure on steel cylindrical tanks as defined by SIST EN 1998-4. Once the maximal values of the components are estimated, they can be used for nonlinear analysis. We show for a particular tank how to apply geometrically and materially nonlinear finite element analysis (for fixed ratio between vertical and horizontal ground accelerations) in order to compute the horizontal accelerations related to the buckling of the cylinder wall and inelastic deformations of the tank.

Key words: cylindrical liquid storage tank, hydrodynamic pressures during earthquake, buckling of cylinder wall, nonlinear analysis

1 • UVOD

Veliki jekleni cilindrični rezervoarji so namenjeni skladiščenju tekočin. V Sloveniji se uporabljajo za skladiščenje naftnih derivatov, za skladiščenje in fermentacijo vina, uporabljajo se tudi v kemijski in farmacevtski industriji. Ker so praviloma prisotni ob velikih industrijskih objektih, v pristanišču in na nekaterih drugih pomembnih transportno-logističnih lokacijah in ker lahko zadržujejo nevarne tekočine, je njihova varnost zelo pomembna. Poškodbe rezervoarjev imajo lahko za posledico večjo finančno škodo in okoljsko ogroženost.

Potresna analiza je pomemben del projektiranja vsakega večjega jeklenega cilindričnega rezervoarja. Takšna analiza mora biti opravljene

na v skladu s (SIST EN 1998-4, 2006), kar pa se izkaže za relativno zahtevno nalogo. Za to sta vsaj dva razloga. (i) Projektiranje potresno odpornih rezervoarjev se razlikuje od projektiranja potresno odpornih stavb (in mostov). (ii) Standard (SIST EN 1998-4, 2006), ki v (informativnem) dodatku A podaja informacije o postopkih za potresno analizo rezervoarjev, je napisan tako, da se ga težko ustrezno uporabi brez dodatnega študija.

Namen tega članka je dvojen: (i) na kratko povzeti pomembne informacije iz dodatka A standarda (SIST EN 1998-4, 2006), ki se nanašajo na določevanje komponent hidrodinamičnega pritiska pri jeklenih

cilindričnih rezervoarjih, in (ii) predstaviti dva možna pristopa k uklonski analizi velikih jeklenih cilindričnih rezervoarjev zaradi potresne obtežbe.

V prvem delu članka podajamo kratek opis različnih komponent hidrodinamičnega pritiska na konstrukcijo rezervoarja, ki nastanejo zaradi potresa. (Pri tem naj omenimo, da je bil v okviru magistrske naloge (Klemenčič, 2016) napisan kratek računalniški program za izračun maksimalnih vrednosti teh komponent po (SIST EN 1998-4, 2006), ki je na voljo pri drugonavedenem avtorju.) V drugem delu članka pokažemo, kako se lahko v skladu s (SIST EN 1998-4, 2006)

izvrednoteni normirani hidrodinamični pritisk uporabi pri (geometrijsko in materialno) nelinearni analizi jeklenega rezervoarja z metodo končnih elementov. Takšna analiza omogoči

vpogled v (konservativno) oceno poškodb pri različnih nivojih maksimalnega vodoravnega pospeška tal za obravnavani tip (sidranega ali prostostoječega) rezervoarja. Pove tudi, pri

kako velikem pospešku tal lahko pričakujemo uklon stene in kdaj lahko pričakujemo nepovratne plastične deformacije dna in stene rezervoarja.

2 • PRITISKI, KI DELUJEJO NA REZERVOAR ZARADI POTRESA

Zaradi gibanja tal med potresom se tekočina v rezervoarju premika in zato dodatno pritiska na steno in dno rezervoarja. Temu pritisku rečemo hidrodinamični. Hidrodinamični pritisk na steno in dno rezervoarja je v strokovni literaturi ((Rammerstorfer, 1990), (Rammerstorfer, 1991)) in tudi standardu (SIST EN 1998-4, 2006) predstavljen kot vsota treh pritiskov: (i) pritiska, ki bi nastal, če bi se rezervoar in tekočina v njem impulzivno premaknila kot togo telo, (ii) pritiska, ki bi nastal, če bi v mirujočem rezervoarju valovala tekočina, in (iii) pritiska, ki bi nastal zaradi nihanja sistema rezervoar–tekočina. Ta razdelitev je mogoča, ker je medsebojno dinamično prepletanje omenjenih treh pojavov šibko.

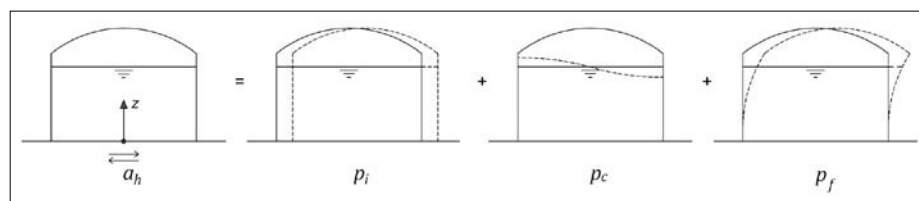
2.1 Pritiski zaradi vodoravne komponente potresa

Na sliki 1 so prikazana tri zgoraj omenjena stanja rezervoarja in tekočine v njem zaradi vodoravnega gibanja tal. Na sliki 1 (levo) se rezervoar in tekočina v njem hipno (impulzivno) in pospešeno premakneta kot togo telo. Pritisk na steno in dno rezervoarja, ki pri tem nastane, je poimenovan impulzivni pritisk p_i . Na sliki 1 (sredina) rezervoar miruje, tekočina v njem pa valovi, kar povzroča t. i. konvekcijski pritisk p_c na steno rezervoarja. Na sliki 1 (desno) pa rezervoar in tekočina v njem nihata kot povezan sistem, kar povzroča t. i. fleksibilni pritisk p_f na steno in dno rezervoarja. Pritiski p_i , p_c in p_f so tri komponente hidrodinamičnega pritiska na rezervoar.

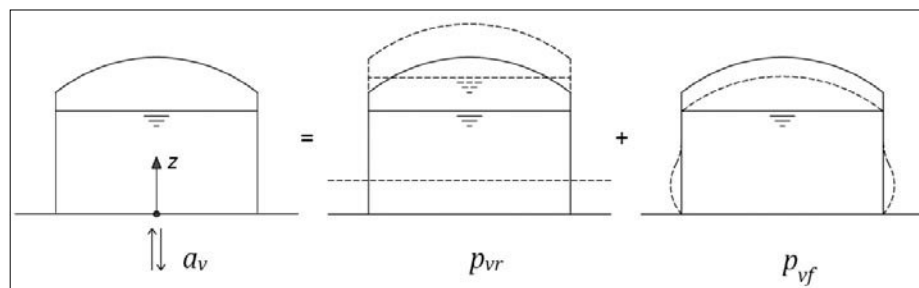
Tako p_i kot p_c in p_f se spreminjajo s časom. Pri nekem fiksnem času pa se njihove vrednosti spreminjajo tako po višini rezervoarja (so odvisne od koordinate z) kot po obodu rezervoarja (so odvisne od kota θ). Pri tem je razporeditev pritiskov p_i , p_c in p_f pri nekem fiksnem času po obodu rezervoarja sorazmerna $\cos\theta$, glejte sliko 3 (levo).

Med delovanjem potresa v vodoravni smeri se pojavi še inercijski pritisk zaradi mase stene rezervoarja p_w . Predpostavi se, da je pomemben samo tisti inercijski pritisk, ki bi nastal, če bi se rezervoar in tekočina v njem impulzivno premaknila kot togo telo. Deluje na steno re-

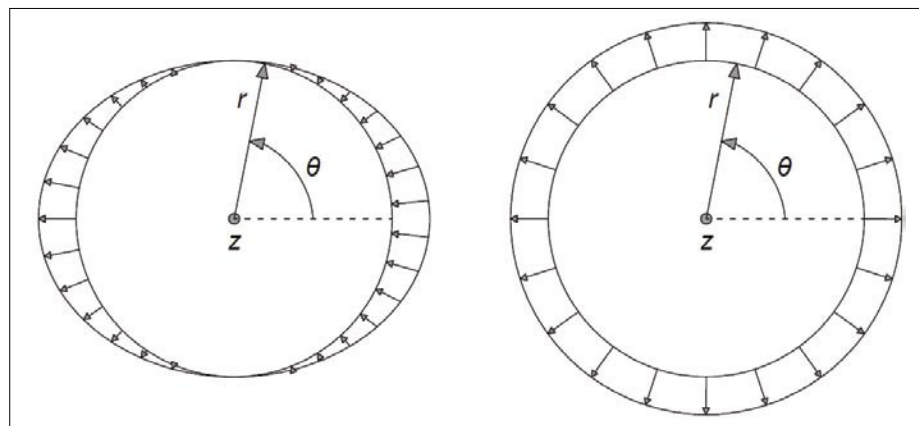
zervoarja in se spreminja s časom. Pri nekem fiksnem času je po višini proporcionalen debelini stene. Predpostavljeno je, da se po obodu spreminja s $\cos\theta$, slika 3 (levo) (EN 1998-4, 2006). Pri jeklenih rezervoarjih je inercijski pritisk mnogo manjši od hidrodinamičnega pritiska, zato se lahko zanemari.



Slika 1 • Hidrodinamični pritisk na rezervoar med vodoravnim premikanjem tal se lahko prikaže kot vsota treh pritiskov



Slika 2 • Hidrodinamični pritisk na rezervoar med navpičnim premikanjem tal se lahko prikaže kot vsota dveh pritiskov



Slika 3 • Potek pritiskov po obodu rezervoarja pri vodoravnem gibanju tal v smeri $\theta = 0$ (levo) in pri navpičnem gibanju tal (desno)

2.2 Pritiski zaradi navpične komponente potresa

Impulzivni in fleksibilni pritisk se pojavita tudi zaradi navpičnega gibanja tal (Veletsos, 1986), kot je prikazano na sliki 2. Na sliki 2 (levo) se rezervoar in tekočina v njem hipno (impulzivno) in pospešeno premakneta v navpični smeri kot togo telo. Posledica so osno simetrični impulzivni pritiski na steno rezervoarja v radialni smeri p_{vr} . Na sliki 2 (desno) pa rezervoar in tekočina v njem