

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Jenko, M., 2014. Analiza vsebovane energije v izbranih gradbenih proizvodih. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Kunič, R., somentor Dovjak, M.): 52 str.

Datum arhiviranja: 02-10-2014

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

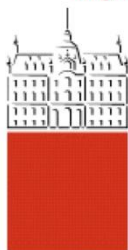
Jenko, M., 2014. Analiza vsebovane energije v izbranih gradbenih proizvodih. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Kunič, R., co-supervisor Dovjak, M.): 52 pp.

Archiving Date: 02-10-2014

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo

Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si



**VISOKOŠOLSKI ŠTUDIJ
GRADBENIŠTVA
OPERATIVNO GRADBENIŠTVO**

Kandidat:

MARTIN JENKO

**ANALIZA VSEBOVANE ENERGIJE V IZBRANIH
GRADBENIH PROIZVODIH**

Diplomska naloga št.: 59/OG-MK

**ANALYSIS OF THE EMBODIED ENERGY IN
SELECTED BUILDING PRODUCTS**

Graduation thesis No.: 59/OG-MK

Mentor:

doc. dr. Roman Kunič

Predsednik komisije:

doc. dr. Tomo Cerovšek

Somentor:

doc. dr. Mateja Dovjak

Ljubljana, 16. 09. 2014

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo
-----------------------	-------------------------	----------------	---------------

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani Martin Jenko izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom: »Analiza vsebovane energije v izbranih gradbenih proizvodih«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 11. 9. 2014

Podpis:

Martin Jenko

BIBLIOGRAFSKO–DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 699.86(497.4)(043.2)

Avtor: Martin Jenko

Mentor: doc. dr. Roman Kunič

Somentor: doc. dr. Mateja Dovjak

Naslov: Analiza vsebovane energije v izbranih gradbenih proizvodih

Tip dokumenta: Diplomaska naloga – visokošolski strokovni študij

Obseg in oprema: 52 str., 7 pregl., 22 sl.

Ključne besede: vezana energija, vsebovana energija, toplotna izolacija, življenjski cikel, energetska bilanca

IZVLEČEK

V diplomski nalogi se ukvarjamo z energetsko analizo izbranih gradbenih proizvodov, in sicer toplotnoizolacijskih materialov. V zadnjih letih je učinkovita raba energije izjemno aktualna, s tem pa tudi tema sanacije energetsko potratnih stavb v Sloveniji. Doslej je bilo največ raziskav izvedenih na področju finančnih vložkov in prihrankov zaradi ukrepov sanacije, najmanj pa jih je bilo izvedenih na temo vsebovane energije v primerjavi s porabljeno energijo v amortizacijski dobi toplotnega ovoja.

Namen diplome je ugotoviti smiselnost vgradnje gradbenih proizvodov, ki imajo veliko količino vsebovane energije, z namenom varčevanja energije v stavbi v amortizacijski dobi toplotnega ovoja tridesetih let. Predpostavili smo referenčni neizoliran objekt, izbrali in določili najpomembnejše konstrukcijske sklope za analizo ter objekt locirali v tri različne klimatske cone z različno dobo trajanja ogrevalne sezone. Na podlagi zakonsko določene toplotne prehodnosti posameznega elementa stavbe smo najprej izračunali porabljeno energijo za ogrevanje na kvadratni meter konstrukcijskega sklopa. S pomočjo podatkov vsebovane energije izbranih gradbenih proizvodov, pripadajočih gostot in toplotnih karakteristik materiala smo izračunali količino vsebovane energije. V nadaljevanju smo mejne toplotne prehodnosti konstrukcijskih sklopov zaostriili do te mere, da je vsebovana energija uporabljenih izolacijskih materialih predstavljala približno tretjino vse porabljene energije v amortizacijski dobi toplotnega ovoja.

Rezultati so pokazali, da je večino organskih toplotnoizolacijskih materialov z izjemo plute in večino anorganskih toplotnoizolacijskih materialih z izjemo penjenega stekla energijsko smiselno vgrajevati v toplotni ovoj izbranega elementa stavbe. Analiza je pokazala tudi, da ima terasa kot konstrukcijski sklop zelo mile zakonsko predpisane mejne vrednosti toplotne prehodnosti, saj v amortizacijski dobi prihaja do prevelikih toplotnih izgub. Bistvena ugotovitev je, da pluta kot izolacijski material s stališča razmerja energij ni primerna za izdelavo toplotnega ovoja, saj vsebovana energija v nobenem primeru ne doseže razmerja ena tretjina v primerjavi s porabljeno energijo v dobi trideset let.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**UDC: 699.86(497.4)(043.2)****Author: Martin Jenko****Supervisor: doc. dr. Roman Kunič****Cosupervisor: doc. dr. Mateja Dovjak****Title: Analysis of the embodied energy in selected building products****Document type: Graduation Thesis – Higher professional studies****Scope and tools: 52 p., 7 tab., 22 fig.****Keywords: embodied energy, thermal insulation, life-cycle analysis, energy balance****ABSTRACT**

Thesis presents an energy analysis of selected building products, particularly thermal insulation materials. Efficient use of energy has gained importance over years, accordingly also rehabilitation of energy-intensive buildings in Slovenia. Most of current research in the field is focused on financial savings from measures of rehabilitation. Only few are focusing on embodied energy in comparison to the energy consumed in the amortization period of the thermal envelope.

Aim of the thesis is to determine the reasonableness behind using building materials with high embodied energy with an intention to save the energy in the amortization period of the thermal envelope over thirty years. Our reference is a non-isolated object, where we defined the most important construction products for analysis and located the object into three different climatic zones with different duration of the heating season. On the basis of the statutory thermal transmittance of each building element, we calculated the energy consumed for heating per one square meter of the construction set. Using obtained data of embodied energy, densities and thermal characteristics of the material we calculated the amount of embodied energy. Later, we tensed limited heat transfers to such an extent that the ratio between embodied energy represented about a third of all consumed energy in the amortization period of the thermal envelope.

The results showed that the majority of organic thermal insulation materials with the exception of cork, and most of the inorganic thermal insulation materials with the exception of foamed glass are reasonable to use in the thermal envelope of the building. The analysis has also shown that the terrace as a structural assembly of a mile statutory limits heat transfer, as it experiences excessive heat loss in the amortization period. The main finding is that the cork as insulating material from the perspective of energy is not suitable for the manufacture of thermal envelope as it never meets the desired requirements.

Zahvala

Posebej se zahvaljujem mentorju doc. dr. Romanu Kuniču in somentorici doc. dr. Mateji Dovjak za strokovno pomoč, pozitiven odnos, usmerjanje ter spodbudne besede pri pisanju diplomskega dela. Iskreno se zahvaljujem tudi svoji družini, ki mi je omogočila študij in mi med študijem ves čas stala ob strani. Prav tako pa se zahvaljujem tudi vsem, ki ste s svojimi idejami, nasveti, izkušnjami in spodbudo pomagali pri nastanku mojega diplomskega dela.

KAZALO VSEBINE

BIBLIOGRAFSKO–DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
Zahvala	V
1 UVOD	1
1.1 Cilj diplomske naloge in opis problematike	2
2 PREGLED ZAKONODAJE	3
2.1 Skozi čas	3
2.2 Veljavna zakonodaja v Republiki Sloveniji	6
3 ENERGIJA	9
3.1 O energiji	9
3.2 Energija v stavbi	9
3.3 Vrednotenje življenjskega ciklusa (LCA)	10
3.4 Vsebovana energija (ang. <i>embodied energy</i>)	11
3.4.1 Rezultati dosedanjih raziskav	12
3.4.2 Energetsko modeliranje	13
4 TEORETIČNO OZADJE	15
4.1 Izolacijski materiali	15
5 STATISTIČNI PODATKI IN PORABA ENERGIJE	18
5.1 Poraba energije gospodinjstev	18
5.2 Stanje toplotne izoliranosti stavb	21
6 METODA IZDELAVE ANALIZE	25
6.1 Analiza obstoječega stanja in vhodni parametri izračuna	25
6.2 Sestava konstrukcijskih sklopov	28
7 REZULTATI ANALIZE	31
7.1 Interpretacija rezultatov konstrukcijskih sklopov	32
7.1.1 Zunanja stena	32
7.1.2 Tla na terenu	35

7.1.3	Ravna in poševna streha	38
7.1.4	Terasa manjše velikosti	41
7.2	Sklep izračunov	44
8	ZAKLJUČEK.....	46
VIRI.....		48

Kazalo preglednic

Preglednica 1: Definicije analize življenjskega cikla (Cabeza in sod., 2014).....	11
Preglednica 2: Uporabljeni materiali za izračun vsebovane energije s pripadajočimi koeficienti gostote in toplotne prevodnosti ter referenco izvora podatka.	26
Preglednica 3: Sestava in U zunanje in kletne stene.	28
Preglednica 4: Sestava in U tal na terenu.	29
Preglednica 5: Sestava in U skeletne lesene strehe, ravne strehe in terase večje velikosti.	29
Preglednica 6: Sestava in U terase manjše velikosti.	30
Preglednica 7: Vrednosti največje dovoljene toplotne prehodnosti U_{max} (Tehnična smernica TSG-1-004:2010, 2013).	30

Kazalo slik

Slika 1: Življenjski krog energije stavbe v povezavi s posameznimi gradbenimi elementi oz. proizvodi (Kumar Dixit in sod., 2010).	13
Slika 2: Zakonski razvoj debeline izolacije po Evropi (Papadopoulos, 2005).	15
Slika 3: Shematična razdelitev toplotnoizolacijskih materialov (Papadopoulos, 2005).	17
Slika 4: Poraba energije v gospodinjstvih skozi čas (Poraba energije in goriv v gospodinjstvih, Slovenija, 2010).	18
Slika 5: Odstotek porabe energije glede na namen v slovenskih gospodinjstvih za posamezno leto (Poraba energije in goriv v gospodinjstvih, Slovenija, 2010).	19
Slika 6: Delež uvoženih fosilnih goriv v celotni oskrbi z energijo Slovenije (Odvisnost od uvoza energije, 2013).	20
Slika 7: Povprečna temperatura zraka v bivalnem prostoru v času in izven časa bivanja (Raziskava REUS, 2013).	21
Slika 8: Načini prezračevanja, ki ga uporabljajo Slovenci (Raziskava REUS, 2013).	22
Slika 9: Debelina toplotne izolacije stavb (Raziskava REUS, 2013).	23
Slika 10: Prikaz minimuma v skupni neto sedanji vrednosti (NSV) za kontaktno izolacijsko fasado ob najbolj ekonomični toplotni izolaciji debeline 26 cm (Kunič in Krainer, 2009).	24
Slika 11: Razmerje med toplotno prevodnostjo materialov in pripadajočo količino vsebovane energije	32
Slika 12: Vsebovana energija toplotnoizolacijskih materialov konstrukcijskega sklopa zunanje stene pri $U = 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$	33
Slika 13: Vsebovana energija toplotnoizolacijskih materialov konstrukcijskega sklopa zunanje stene pri $U = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$	34
Slika 14: Vsebovana energija toplotnoizolacijskih materialov konstrukcijskega sklopa zunanje stene pri $U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$	35
Slika 15: Vsebovana energija toplotnoizolacijskih materialov konstrukcijskega sklopa tla na terenu pri $U = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$	36
Slika 16: Vsebovana energija toplotnoizolacijskih materialov konstrukcijskega sklopa tla na terenu pri $U = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$	37
Slika 17: Vsebovana energija toplotnoizolacijskih materialov konstrukcijskega sklopa tla na terenu pri $U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$	38
Slika 18: Vsebovana energija toplotnoizolacijskih materialov konstrukcijskega sklopa ravne in poševne strehe pri $U = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$	39
Slika 19: Vsebovana energija toplotnoizolacijskih materialov konstrukcijskega sklopa ravne in poševne strehe pri $U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$	40

Slika 20: Vsebovana energija toplotnoizolacijskih materialov konstrukcijskega sklopa ravne in poševne strehe pri $U = 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$	41
Slika 21: Vsebovana energija toplotnoizolacijskih materialov konstrukcijskega sklopa terase manjše velikosti pri $U = 0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$	42
Slika 22: Vsebovana energija toplotnoizolacijskih materialov konstrukcijskega sklopa terase manjše velikosti pri $U = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$	43
Slika 23: Vsebovana energija toplotnoizolacijskih materialov konstrukcijskega sklopa terase manjše velikosti pri $U = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$	44

1 UVOD

Gradbeništvo, industrija gradbenih materialov in ravnanje z gradbenimi odpadki predstavljajo velik delež gospodarske aktivnosti, ki s svojim delovanjem občutno vpliva na okolje in ga do določene mere degradira. Velik poudarek moramo dati tudi varčevanju z neobnovljivimi viri energije, zmanjšanju porabe surovin, varovanju okolja, recikliranju in ustreznem ravnanju z odpadki v celotni življenjski dobi stavbe. Največ primarne energije se porabi v fazi pridobivanja surovin, izdelave posameznih proizvodov, kasnejšem vgrajevanju in transportu. Glavni cilj in hkrati tudi problem, ki ga je treba rešiti v prihodnje, je, kako naj bo panoga trajnostno naravnana (količina vsebovane energije, možnost razgradnje in ponovne uporabe ...) in orientirana k posamezniku, varovanju bivalnega okolja ter ohranjanju zdrave klime. Poleg različnih komponent, ki vplivajo na trajnostno gradnjo in povezovanje strok gradbeništva, arhitektov, urbanistov in drugih, je posebno pozornost treba nameniti izbiri trajnostnih gradbenih proizvodov (Dovjak in Krainer, 2013).

Področje toplotnoizolacijskih materialov je z vidika vključevanja t. i. ekoloških materialov v zgradbo napredovalo, saj so se v zadnjem času na tržišču pojavili novi, alternativni izolacijski materiali, da bi zadostili težnjam po okolju prijazni gradnji. Materiali so obetavni, vendar po vsestranski presoji njihovih lastnosti in vplivov na zdravje ljudi ter okolje še ne moremo trditi, da v celoti izpolnjujejo vidike trajnostnosti. Pri odločanju glede izbora materiala, njegove zanesljivosti in cene je pomembno tudi poznavanje posledic na okolje in zdravje, ki ga je in bo povzročil proizvod. Gradbeni proizvodi imajo pomembno vlogo pri učinkoviti rabi energije. Zavedati pa se je treba, da še tako dober material ne more prispevati k zmanjšanju porabe energije med obratovanjem, če je osnovna zasnova konstrukcijskih sklopov neprimerna in neučinkovita (Toplotnoizolacijski materiali, 2003).

Gradbeništvo kot pomembna gospodarska panoga je v bruto nacionalnem dohodku skoraj vseh držav po svetu zastopana z okrog desetimi odstotki, medtem ko poraba materialov, surovin in energije ter količina odpadkov v celotni življenjski dobi objektov predstavlja celo 40 % svetovnih količin (Kunič in Krainer, 2009). Ta podatek nam lahko služi kot motivacija, da namenimo varčevanju neobnovljivih virov energije ter zmanjšanju porabe surovin, varovanju okolja, načrtovanju recikliranja in skrbnem ravnanju z odpadki, ki nastanejo kot rezultat zaključka življenjske dobe objektov, več pomena (Kunič in Krainer, 2009).

1.1 Cilj diplomske naloge in opis problematike

V Sloveniji je zadnja leta moč opaziti trend povečanja investicij v obnovo starejših objektov, predvsem zaradi prekomerne porabe energije za ogrevanje v kurilni sezoni. Cilj diplomske naloge je ugotoviti dejanski prihranek energije v določeni časovni dobi, ko v stavbo investiramo toplotno zaščito. Osredotočili se bomo na porabo energije, ki je potrebna za izdelavo določenega gradbenega proizvoda, od pridobivanja surovin, transporta do končne uporabe. Takšno analizo v angleščini imenujejo *embodied energy*, po slovensko pa vgrajena, vsebovana, vezana ali vključena energija.

Ozaveščanje o učinkoviti rabi energije se večja, vendar se premalo pozornosti posveča samim gradbenim proizvodom in vsebovani energiji. Večinoma se sprašujemo le o dejanski porabi energije v fazi obratovanja stavbe na ravni celega objekta. Največ raziskav je bilo izvedenih na področju varčevanja z energijo z ekonomskega vidika v določeni časovni dobi. Če denimo investiramo v ukrepe na ravni izboljšave toplotnega ovoja, oken ali v druge ukrepe, s katerimi zmanjšamo porabo energije, se nam posledično v določeni časovni dobi povrne investiran vložek.

Stanovanjske stavbe, ki so bile zgrajene po sedemdesetih letih, so različno grajene in se razlikujejo tako po nosilni konstrukciji kot tudi po ovoju stavbe. Za nosilno konstrukcijo so po večini uporabljali klasične materiale, kot so armiran beton, betonske in opečne zidake. Za ovoj stavbe pa so uporabljali proizvode iz penobetona, vlaknato-cementne plošče ali pa dodali dodaten sloj opeke z večjim številom zračnih kanalov. Materiali, uporabljeni za nosilno konstrukcijo ali ovoj, sami po sebi ne nudijo dovolj toplotne upornosti, da bi lahko govorili o energetski učinkoviti stavbi. Velik delež individualnih stavb v Sloveniji toplotnega ovoja sploh nima, saj je bilo splošno mnenje, da se investicija v toplotni ovoj ne izplača. Glavna problematika v Sloveniji se je začela z intenzivno gradnjo individualnih ter večstanovanjskih objektov v obdobju od začetka sedemdesetih do konca osemdesetih let (Marušič, 2014). Novi predpisi so v osemdesetih letih zahtevali dodaten sloj toplotne izolacije, vendar pa se je v praksi izkazalo, da so stanovanjske hiše večjih tlorisnih površin brez toplotne izolacije ali pa je ta neustrezna.

Zaradi večletnega opozarjanja stroke, ozaveščanja javnosti in vplivov zaostrovanja zakonodaje nad prekomernim trošenjem energije, tako v stavbah javnega sektorja kot tudi individualnih, se je spremenil trend mišljenja o učinkoviti rabi energije. V ta sklop učinkovite rabe energije spada tudi primerna izbira proizvoda za toplotni ovoj stavbe.

Na trgu je dandanes veliko ponudnikov, ki ponujajo različne gradbene proizvode s področja toplotne izolacije. Ti se med seboj razlikujejo glede na izbiro gradnika izolacije, to pa kasneje privede do izbire optimalnega tehnološkega postopka izdelave izolacije. Marsikatera toplotna izolacija je z vidika porabe energije med samo proizvodnjo izjemno potratna, in posledično se vprašamo, ali je z namenom varčevanja smiselno vgrajevati proizvode, ki že vsebujejo veliko količino energije.

2 PREGLED ZAKONODAJE

2.1 Skozi čas

Predpise, ki se nanašajo na temo toplotne zaščite zgradb na območju današnje Slovenije, so sprejeli v Avstro-Ogrski monarhiji že leta 1875, in sicer v Stavbnem redu za Vojvodino Kranjsko. Ti predpisi so veljali do razpada monarhije, in sicer do leta 1918. Tudi po letu 1945 je bila toplotna zaščita zajeta le posredno v priporočilih in pravilnikih zidanih stavb ter stanovanjske gradnje (Marušič, 2014).

Prvi kakovostni predpisi, ki so se lotili problema toplotne izolacije stavb, so bili izdani leta 1970, in sicer v Pravilniku o tehničnih ukrepih in pogojih za toplotno zaščito stavb (Uradni list SFRJ 35/70). Pravilnik je predpisoval največje dovoljene toplotne prehodnosti (W/m^2K) elementov ovoja stavbe v odvisnosti od lokacije objekta oziroma klimatske cone. Predpisane zahteve so nekoliko omilile porabo energije, saj je bil po tem pravilniku na primer za zunanjo steno v tretji klimatski coni največji dovoljeni koeficient $1,28 W/m^2K$. Šele leta 1980 se je zgodil večji preboj na področju zmanjševanja toplotnih izgub z uveljavitvijo obvezne uporabe standarda (JUS.U.J.5.600 – Tehnični pogoj za projektiranje in graditev stavb). Standard je namreč poleg največjih dovoljenih vrednosti toplotne prehodnosti za posamezne elemente stavb obravnaval tudi zahteve za toplotno stabilnost v poletnem obdobju ter zahteve glede difuzije vodne pare skozi ovoj stavbe. Tako je na primer največja dovoljena toplotna prehodnost za zunanjo steno v tretji klimatski coni $0,83 W/m^2K$, kar je za približno tretjino manj kot v prejšnjem pravilniku. Poleg prej omenjenih minimalnih zahtev so v tem letu izdali vrsto standardov (JUS.U.J5.510, JUS.U.J5.520 in JUS.U.J5.530) z obvezno uporabo, ki so obravnavali metodologijo izračuna toplotne prehodnosti, difuzije vodne pare ter toplotne stabilnosti gradbenih konstrukcij. Kljub drastični spremembi oziroma zaostritvi mejne vrednosti toplotne prehodnosti je bila toplotna zaščita stavb manjša v primerjavi s takratnimi trendi drugje po razviti Evropi. Če namreč preračunamo potrebno debelino dodatne izolacije, ta znaša približno 3 cm, pri čemer smo v takratnem obdobju primerljivi s Španijo (glej Sliko 2 – rdeča označba). Zato so na področju Slovenije standard še dopolnili s pravilnikom (Pravilnik o racionalni rabi energije; Uradni list SRS 31/84), ki je obravnaval specifične toplotne izgube zaradi prehoda toplote skozi obodne konstrukcije ter prezračevanja v odvisnosti od razčlenjenosti stavbe. Leta 1987 je bil standard JUS U.J5.510, ki predpisuje metodologijo računanja toplotne prehodnosti, občutno spremenjen, saj so po novem upoštevane tudi linijske toplotne izgube stavbe (Predpisi o toplotnih izgubah, 2002; povzeto po Marušič, 2014).

Slovenija je v zelo kratkem času po osamosvojitvi sprejela evropske standarde, saj v tistem času ni bilo ekonomsko smiselno izdelovati novih slovenskih, ampak smo le z nacionalnimi dodatki prevzeli evropske. V procesu pridruževanja Slovenije Evropski uniji v drugi polovici devetdesetih let je potekalo tudi usklajevanje slovenskega pravnega reda z evropskim.

Prva izmed uredb, ki jo je bilo treba pravno urediti v slovenskem pravnem redu, je bila Uredba o gradbenih proizvodih (89/106/EEC) (CPD), kjer je definiranih šest bistvenih zahtev, ki jih mora

proizvod izpolnjevati. Leta 2011 so obstoječo uredbo razveljavili in nadgradili z Uredbo 305/2011. Nadgrajena uredba je poleg obstoječih bistvenih zahtev definirala še trajnostno rabo naravnih virov.

Bistvene zahteve Uredbe 305/2011:

- mehanska odpornost in stabilnost,
- varnost v primeru požara,
- higiena, zdravje in okolje,
- varnost pri uporabi,
- zaščita pred hrupom,
- varčevanje z energijo in toplotna izolacija,
- trajnostna raba naravnih virov.

Za obravnavano področje v diplomski nalogi sta najpomembnejši zadnji dve zahtevi. Ta uredba je bila prenesena v Zakon o gradbenih proizvodih, ki je bil sprejet leta 2013. Zakon določa pogoje za dajanje gradbenih proizvodov na trg in ureja izvajanje Uredbe (EU) št. 305/2011 o določitvi usklajenih pogojev za trženje gradbenih proizvodov in razveljavitve Uredbe 89/106/EGS (UL EU št. 88).

Druga pomembna direktiva je bila tedanja direktiva SAVE (98/76/EEC), ki je med drugim zahtevala strožje smernice za toplotno zaščito stavb. V Sloveniji je bil za ta namen leta 2002 sprejet Pravilnik o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah (PTZURES 2002). Pravilnik je kot obvezno predpisal uporabo energijsko učinkovite zasteklitve s toplotno prehodnostjo stekla največ $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ ter druge minimalne zahteve za posamezne komponente ovoja stavbe (Marušič, 2014). Ta pravilnik je leta 2010 nadomestil Pravilnik o učinkoviti rabi energije.

Leta 2002 je Evropska komisija sprejela Direktivo o energetske učinkovitosti stavb (2002/91/ES) oziroma direktivo EPBD z namenom varčevanja energije na področju stavb, kjer je po vseh dotedanjih raziskavah velik potencial energije. Zahteve direktive se nanašajo na:

- uvedbo celovite računske metodologije za določitev energijskih lastnosti stavbe,
- uvedbo energijske izkaznice,
- določitev minimalnih zahtev za energetske učinkovitost novih ter prenovljenih stavb,
- uvedbo obvezne študije izvedljivosti za alternativne energijske sisteme za nove stavbe večje od 1000 m^2 ,
- redne servisne preglede kotlov in klimatskih naprav, izvedene s strani neodvisnih strokovnjakov.

V ta namen so leta 2008 v Sloveniji sprejeli Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES 2008). Ta pravilnik je izpolnil smernice iz direktive EPBD ter nadomestil prej omenjeni pravilnik. Predpisal je zaostrene zahteve glede energetske učinkovitosti stavb ter učinkovitejše izrabe

obnovljivih virov energije. Te zahteve se odražajo v ustreznejši toplotni zaščiti ovoja stavbe ter vgradnji energetske učinkovitejših naprav in sistemov (Marušič, 2014).

Leta 2006 je bila sprejeta Direktiva EU o učinkovitosti rabe končne energije in energetskih storitvah (2006/32/ES) – ESD, kjer je predviden cilj 9% prihranek končne energije v obdobju 2008 do 2016 medtem, ko je 2% uspešnost direktive predvidena že do leta 2010.

Leta 2009 je bila sprejeta Direktiva EU o spodbujanju uporabe energije iz obnovljivih virov (4/2009). Nacionalni splošni delež obnovljivih virov energije (OVE) v končni porabi energije naj bi v letu 2020 znašal 25 %, medtem ko je za leto 2015 predvideno 16 %. Istega leta je bila tudi sprejeta Direktiva o okoljsko primerni zasnovi izdelkov, povezanih z energijo (2009/125/ES) – Eco-design, kjer je navedeno tako imenovano ekološko načrtovanje izdelkov preko celotnega življenjskega ciklusa (Direktiva EuP 2009/125/ES).

Leta 2010 je bila z namenom poenostavitve nekaterih določb Direktive EPBD ter razširitve področja uporabe sprejeta Prenovljena direktiva o energetske učinkovitosti stavb (2010/31/EU) – EPBD. Prenovljena direktiva upošteva cilj (20-20-20 do leta 2020) evropske podnebno-okoljske politike, ki pri stavbah zahteva 20% zmanjšanje izpustov CO₂, 20% povečanje energetske učinkovitosti (URE) ter zahteve po 20% deležu porabe energije iz obnovljivih virov energije (OVE). Namen direktive je zaostritev izvajanja prvotne direktive iz leta 2002 za doseg ciljev energijske okoljske politike. Določa pa tudi naslednje zahteve:

- minimalne zahteve glede energetske učinkovitosti novih in obstoječih stavb,
- oblikovanje nacionalnih načrtov za povečanje deleža skoraj ničnih energijskih stavb,
- energetske certificiranje stavb,
- redno pregledovanje in servisiranje ogrevalnih in klimatskih sistemov v stavbah,
- sistem neodvisnega nadzora nad energijskimi izkaznicami ter poročil o rednih pregledih sistemov.

Omenjena direktiva zahteva tudi večjo razširjenost energetske izkaznice v javnem sektorju, predpogoj trženja stavb je navedba razreda energijske učinkovitosti, velik poudarek pa je tudi na področju zagotavljanja kakovosti energetskega certificiranja stavb. Cilja Evropske unije za nove ter javne stavbe sta naslednja:

- do leta 2020 morajo biti vse nove stavbe skoraj nič energijske;
- do leta 2018 je treba zagotoviti, da bodo vse nove javne stavbe skoraj nič energijske, tako da naj bi bile zgled preostalim (Uredba 2010/31/EU).

2.2 Veljavna zakonodaja v Republiki Sloveniji

Z **Zakonom o graditvi objektov** (ZGO – 1) se v pravni red Republike Slovenije prenaša poleg drugih tudi Direktiva 2006/123/ES o storitvah na notranjem trgu (Uradni list RS, št. 102/04). Dva pomembna podzakonska akta za tovrstno področje sta:

1. Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES 2010)

Ta pravilnik določa tehnične zahteve, ki morajo biti izpolnjene za učinkovito rabo energije v stavbah na področju toplotne zaščite, ogrevanja, hlajenja in zagotavljanja lastnih obnovljivih virov energije za delovanja sistemov, ter določa metodologijo izračuna energijskih lastnosti stavbe v skladu z Direktivo 31/2010/EU o energetski učinkovitosti stavb (Uradni list RS, št. 52/2010 s 30. 6. 2010).

Tehnična smernica za graditev (TSG-1-004:2010)

Učinkovita raba energije določa gradbene ukrepe oziroma rešitve za doseg zahtev iz pravilnika o učinkovitosti rabi energije v stavbah (PURES) in določa metodologijo izračuna energijskih lastnosti stavbe. Uporaba tehnične smernice je obvezna. Po določilih Zakona o graditvi objektov (Uradni list RS, 102/2004) je tehnična smernica dokument, s katerim se za določeno vrsto objekta natančneje opredeli bistvene zahteve, pogoji za projektiranje, izbrane ravni oziroma razredi gradbenih proizvodov in materialov, ki se smejo vgrajevati, in načini njihove vgradnje, način izvajanja gradnje z namenom, da se zagotovi zanesljivost objekta ves čas njegove življenjske dobe, kadar je to primerno, pa tudi postopke, po katerih je mogoče ugotoviti, ali so takšne zahteve izpolnjene. Pravna narava in uporaba tehničnih smernic je podrobneje obravnavana v 9. členu zakona, kjer je tudi določeno, da se z gradbenimi predpisi za posamezne vrste objektov določijo njihove tehnične značilnosti tako, da ti objekti glede na svoj namen izpolnjujejo eno, več ali vse bistvene zahteve (Mudražija, 2011).

2. Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb

Z **Energetskim zakonom** (EZ – 1) se v pravni red Republike Slovenije prenašajo direktive:

- Direktiva 2009/28/ES Evropskega parlamenta in Sveta, sprejeta 23. 4. 2009, o spodbujanju uporabe energije iz obnovljivih virov;
- Direktiva 2009/125/ES Evropskega parlamenta in Sveta, sprejeta 21. 10. 2009, o vzpostavitvi okvira za določanje zahtev za okoljsko primerno zasnovo izdelkov, povezanih z energijo;
- Direktiva 2010/30/EU Evropskega parlamenta in Sveta, sprejeta 19. 5. 2010, o navajanju porabe energije in drugih virov izdelkov, povezanih z energijo, s pomočjo nalepk in standardiziranih podatkov o izdelku;
- Direktiva 2010/31/EU Evropskega parlamenta in Sveta, sprejeta 19. 5. 2010, o energetski učinkovitosti stavb;

- Direktiva 2009/31/ES Evropskega parlamenta in Sveta o geološkem shranjevanju ogljikovega dioksida.

Dva pomembna pravilnika za to področje sta Pravilnik o metodologiji izdelave in izdaji energetskih izkaznic (Uradni list RS, št. 77/2009 z 2. 10. 2009) ter Pravilnik o metodologiji izdelave in vsebini študije izvedljivosti alternativnih sistemov za oskrbo stavb z energijo (Uradni list RS, št. 35/08 in 17/14 - EZ-1).

Energetska izkaznica

Direktiva EPBD (2002/91/ES) je zahtevala uvedbo energetskih izkaznic stavb v državah EU, in sicer najkasneje do leta 2006 oziroma do leta 2009, če v državi primanjkuje usposobljenih neodvisnih strokovnjakov za izvajanje te naloge. Nedavno prenovljena direktiva EPBD (2010/31/EU) pa je prinesla nova določila, ki zahtevajo večjo razširjenost energetske izkaznice stavbe v javnem sektorju, navedbo razreda energijske učinkovitosti pri trženju stavb, velik poudarek pa je tudi na zagotavljanju kakovosti energetskega certificiranja stavb (Energetska izkaznica, 2013).

Energetska izkaznica se je pri nas uvedla z Energetskim zakonom že leta 2006. Ta zakon je tudi določil skrajne datume za uvedbo energetskih izkaznic posameznih skupin stavb, vendar pa so ti roki že zdavnaj minili, saj takrat ni bilo postavljenih ustreznih podzakonskih aktov. S 4. julijem 2013 so v Sloveniji tudi v praksi vzpostavili vse formalne pogoje za izdelovanje in izdajanje energetskih izkaznic za obstoječe stavbe in novogradnje. Energetsko izkaznico lahko izdelujejo neodvisni strokovnjaki z licenco na zahtevo stranke.

Energetska izkaznica mora tako vsebovati:

- kazalnike energijske učinkovitosti stavbe,
- referenčne vrednosti iz zakonodaje in
- priporočila za ukrepe povečanja energijske učinkovitosti.

Na podlagi Energetskega zakona je treba izkaznico izdelati za vse stavbe, ki se prodajajo ali oddajajo v najem za obdobje, daljše od 1 leta. Večstanovanjski objekt z vsaj štirimi etažnimi enotami, ki je bil zgrajen do leta 1980, mora pridobiti energetsko izkaznico najkasneje do leta 2015. Večstanovanjski objekt, ki je bil zgrajen po letu 1980, pa mora pridobiti izkaznico najkasneje do leta 2030 (Marušič, 2014).

Zakon o varstvu okolja (ZVO – 1) predpisuje redne preglede sistemov ogrevanja, pri čemer navaja načine in pogoje izvajanja državne gospodarske javne službe za izvajanje meritev, pregledovanja in čiščenja kurilnih naprav, dimnikov ter zračnikov z namenom varstva okolja in učinkovite rabe energije ter varstva človekovega zdravja. Cilji varstva okolja, ki so navedeni v tem zakonu, so:

- preprečitev in zmanjšanje obremenjevanja okolja,
- ohranjanje in izboljševanje kakovosti okolja,
- trajnostna raba naravnih virov,
- zmanjšanje rabe energije in večja uporaba obnovljivih virov energije,
- odpravljanje posledic obremenjevanja okolja, izboljšanje porušenega naravnega ravnovesja,
- povečanje snovne učinkovitosti proizvodnje in potrošnje,
- opuščanje in nadomeščanje nevarnih snovi.

S tem zakonom je v pravni red prenesena Direktiva 2009/31/ES o geološkem shranjevanju ogljikovega dioksida (Energetska učinkovitost in energetske izkaznice, 2011).

3 ENERGIJA

3.1 O energiji

Energija je ena izmed osnovnih fizikalnih količin in je večinoma povezana s sposobnostjo opravljanja dela oziroma vira toplote. Po zakonu o ohranitvi energije se skupna energija sistema spremeni za natanko prejeta ali oddano delo oziroma toploto. Potemtakem energije ni mogoče ustvariti ali uničiti, ampak ima možnost pretvarjanja v delo, kot to opisuje drugi zakon termodinamike. Vrste energij lahko razvrščamo po:

- lastnostih: nakopičene in prehodne,
- uporabi: pridobljene iz neobnovljivih virov in obnovljivih virov.

Splošno dejstvo je, da se z gospodarsko rastjo države oziroma regije povečuje poraba energije, in sicer primarne ali končne energije.

3.2 Energija v stavbi

Izbor materialov in tehnologij za gradnjo stavb mora biti usmerjen tako, da zadovolji potrebe posameznika kot tudi razvojne strategije družbe, hkrati pa mora imeti čim manjši škodljiv vpliv na okolje (Toplotnoizolacijski materiali, 2003). V zadnjih letih se je zavedanje o okoljskih vidikih v sektorju gradbeništva povečalo. Proizvodni procesi gradbenega materiala v ozračje prispevajo velike količine toplogrednih plinov, kot je denimo CO₂. Zato se je pojavila velika skrb in pozornost za zmanjševanje emisij toplogrednih plinov v ozračje z namenom, da bi nadzirali škodljive vplive na okolje (Venkatarama Reddy in Jagadish, 2003). Potrebe po energiji za proizvodnjo in predelavo različnih gradbenih materialov, emisije CO₂ in njihov vpliv na okolje so proučevali Buchanan in Honey (1994), Suzuki idr. (1995), Oka idr. (1993) ter Debnath idr. (1995). Te študije so bile večinoma izvedene na Novi Zelandiji, Japonskem in v Indiji.

Energijo v stavbi lahko razvrstimo v dve skupini, in sicer energijo za obratovanje oz. vzdrževanje njenega časa obratovanja ter vsebovano energijo v gradbenih proizvodih, ki tvorijo stavbo kot celoto. Vsebovana energija v stavbah se lahko spreminja glede na izbiro gradbenih materialov in način gradnje (Venkatarama Reddy in Jagadish, 2003).

Vsebovano energijo tvorijo tri glavne komponente (Venkatarama Reddy in Jagadish, 2003):

1. Poraba energije pri proizvodnem procesu izdelave oz. recikliranja gradbenih proizvodov.
2. Energija, potrebna za prevoz gradbenih proizvodov.

3. Energija, ki je potrebna za »spajanje različnih materialov, da se tvori stavba« oziroma energija, ki je potrebna za demontažo gradbenih materialov.

Če upoštevamo te tri glavne komponente vsebovane energije, lahko lažje izberemo proizvode, ki krepijo energetska učinkovitost gradnje in s tem pripomoremo k nižjim emisijam CO₂ ter tako tudi zmanjšamo stroške gradnje stavb (Venkatarama Reddy in Jagadish, 2003).

3.3 Vrednotenje življenjskega ciklusa (LCA)

Vrednotenje življenjskega cikla oziroma LCA je orodje za sistematično analizo obremenitve okolja proizvoda ali storitve skozi celoten življenjski cikel, vključno s pridobivanjem surovin, proizvodnje, uporabe, odstranitve in recikliranja. Pri tej metodi se pogosto uporablja izraz "od zibelke do groba", ki predstavlja pristop k vrednotenju vplivov na okolje. Koncept LCA je bil razvit že v začetku sedemdesetih let, ko so Sharma in sod. (2011) izvedli študijo življenjskega cikla, kjer so se osredotočali na količino porabljene energije, porabo vhodnih materialov ter količino odpadnih snovi, ki se sproščajo v okolje skozi celoten življenjski cikel. Mednarodna organizacija za standardizacijo ISO je leta 1990 izdala standard, ki se osredotoča na določitev metodologije za analizo LCA. Glavni vidik standarda ISO je štiristopenjski ponavljajoč okvir za izvajanje analize LCA. Ti štirje koraki vključujejo cilj in opredelitev področja, analizo inventarja, presojo vplivov življenjskega cikla ter interpretacijo rezultatov, kar je razvidno iz Preglednice 1. Cilj in opredelitev zajemata vzpostavitev funkcionalne enote, meje sistema in merilo kakovosti za popis podatkov. Izvedba življenjskega cikla zalog se ukvarja z zbiranjem in združitvijo informacij o materialu ter analizo energijskih tokov v različnih fazah življenjskega cikla izdelka. Pri presoji vplivov življenjskega cikla so zajeti vplivi različnih tokov materiala in energije, razdeljeni na več kategorij vplivov na okolje (podnebne spremembe, tanjšanje ozona, ekosistem, škodljivi vplivi za človeka, kislost okolja, izčrpavanje naravnih virov in rabe zemljišč), kar se v dotičnem izračunu upošteva z ustreznim faktorjem. Končna razlaga življenjskega cikla se ukvarja z interpretacijo rezultatov, tako iz analize življenjskega cikla zalog, kot tudi presoje vplivov na življenjski cikel. Ocena življenjskega cikla se v gradbenem sektorju uporablja od leta 1990 in je bila skozi ves čas uporabljena tudi za oceno procesnega razvoja izdelkov. Zaradi vse večjega zavedanja ter opozarjanja strokovnjakov o vplivih na okolje ter pojma trajnostne gradnje je LCA pridobila pomen kot objektivne metode za ocenjevanje vpliva na okolje v gradbeni praksi (Cabeza in sod., 2014).

Preglednica 1: Definicije analize življenjskega cikla (Cabeza in sod., 2014).

Ime	Koncept	Opredelitev
LCA	Analiza življenjskega cikla (LCA)	Zbiranje in ovrednotenje vložkov, učinkov in potencialnih okoljskih vplivov proizvodov v celotnem življenjskem ciklu.
LCI	Analiza življenjskega cikla zalog (LCI)	Faza ocenjevanja življenjskega cikla zalog, ki vključuje zbiranje podatkov o količinskih vhidih in izhodih za izdelek v celotnem življenjskem ciklu.
LCIA	Analiza učinkov življenjskega cikla (LCIA)	Faza ocenjevanja življenjskega cikla, ki je namenjen razumevanju in vrednotenju obsega ter pomena potencialnih vplivov proizvoda na okolje v celotnem življenjskem ciklu.
LCA + LCI + LCIA	Razlaga življenjskega cikla	Faza ocenjevanja življenjskega cikla, v katerem so ugotovitve obeh analiz zalog ter presoja vplivov, ki se ovrednotijo glede na namen in področje uporabe proizvoda.
ILCD	Mednarodni referenčni podatkovni sistem življenjskega cikla (ILCD)	ILCD je sestavljen iz priročnika ILCD in mreže podatkov ILCD. Ta sistem je v pomoč institucijam in podjetjem za zagotavljanje osnovne kakovosti in doslednosti podatkov, metode in ocene življenjskega cikla proizvoda.

3.4 Vsebovana energija (ang. *embodied energy*)

Vsebovana oziroma vgrajena energija predstavlja količino energije, ki je potrebna za proizvodnjo produkta, transporta do mesta vgradnje, same vgradnje in kasneje ustrezne odstranitve (Kernan, 1996). Izrazimo jo kvantitativno kot celotno vsoto posredne in neposredne potrebne energije za izdelavo proizvoda. V dobesednem pomenu je vsebovana energija računsko kvantitativna metoda, katere namen je določiti skupno porabo energije od pridobivanja surovin, transporta, proizvodnje, predelave, obdelave, montaže in drugih stroškov z namenom izdelave proizvoda ali storitev ter končno demontažo in skrb za odpadke (Kunič in Krainer, 2008).

Za energetske učinkovite in okoljevarstveno gradnje je pomemben tudi podatek o vsebovani energiji vgrajenih materialov. Splošno mnenje je, da je energetska bilanca stavbe odvisna samo od rabe energije v času življenjske dobe stavbe oziroma njenega obratovanja, kar pa seveda ni res. Za izračun vsebovane energije proizvoda oziroma storitve se uporabljajo različne metode izračuna, kar pa zaradi znatnih metodoloških napak privede do široko raztresenih rezultatov. Doslej še niso razvili

mednarodnih standardov, ki bi enolično določali metodologijo izračuna razmerij, ter nujnih baz podatkov o vsebovanih energijah na vseh stopnjah življenjske dobe proizvoda. Ravno zaradi te pomanjkljivosti pri izračunih pogosto pozabljamo na pomemben delež vsebovane energije, denimo pri izgradnji infrastrukture za potrebe proizvoda, izgradnji in vzdrževanju transportnih poti, pomembnosti reciklaže in ustreznega ravnanja z odpadki in podobno. Nujno je oceniti in določiti napako v izračunu vsebovane energije in se z določitvijo napake približati stabilnemu rezultatu vrednosti vsebovane energije (Kunič in Krainer, 2008).

Podatki o vrednostih vsebovane energije proizvodov (Preglednica 2) so zelo skopi. Ker je podatke težko najti, so vzeti iz različnih virov. Prav zato so ti podatki lahko medsebojno zelo neprimerljivi, včasih tudi nesmiselni in jih je treba kritično interpretirati (Kunič in Krainer, 2008).

Pomen vsebovane energije

Do pred kratkim je bilo več prizadevanja za ohranjanje energije na račun obratovalne energije, kjer je tudi vključen ukrep dodatnega sloja izolacije. Sledeč ukrep predstavlja znatno večji delež, kot je vsebovane energije stavbe oziroma njenih delov. Vendar pa raziskave trenutno dokazujejo nasprotno in ugotavljajo, da vsebovana energija predstavlja znaten delež celotne energije v življenjskem ciklu (Crowther, 1999; Crawford in Treloar 2003; Pullen in sod., 2006). Vsebovana energija se porabi enkrat v začetni fazi gradnje stavbe, medtem ko se operativni del energije zvišuje med efektivno življenjsko dobo zgradbe. Ohranjanje oziroma zmanjševanje obratovalne energije lahko dosežemo z energetske učinkovitimi napravami (ogrevanje, ohlajanje ...) ter s sodobnimi izolacijskimi materiali. Vsebovano energijo je mogoče zmanjšati z nizko energetske intenzivnimi materiali, optimizacijo proizvodnega procesa in transportnih poti (Kumar Dixit in sod., 2010).

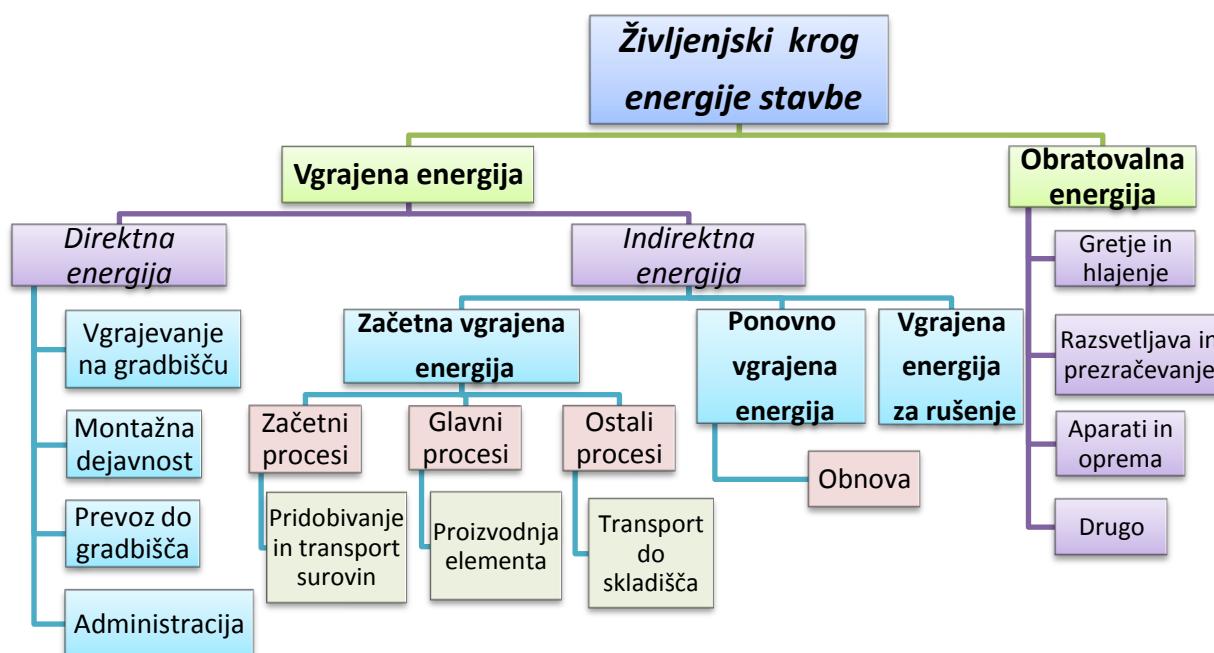
3.4.1 Rezultati dosedanjih raziskav

Raziskovalci problem vsebovane energije interpretirajo zelo različno. Koskela (1992) je predlagal, da vsebovana energija materiala predstavlja porabo energije v proizvodnem procesu, kjer je glavni poudarek na izpušnih ogljika v ozračje ter skrb za okolje. Gonzalez in Navarro (2006) trdita, da gradbeni materiali, ki imajo visoko vrednost vsebovane energije, v okolje posredno spustijo več emisij ogljikovega dioksida kot pa materiali z nizko vrednostjo vsebovane energije. Po mnenju Millerja (2001) je izraz vsebovana energija predmet različnih interpretacij, ki jih ponujajo različni avtorji v njihovih objavljenih meritvah, kar lahko privede do velikih odstopanj za isti proizvod. Crowther (1999) je vsebovano energijo opredelil kot skupek energije, ki je potrebna za oblikovanje stavb, vključno z neposredno energijo, porabljeno v procesu gradnje in montaže, ter posredno energijo, ki je potrebna za izdelavo materialov in drugih komponent zgradbe. Treloar, Love in Holt (2001) so vsebovano energijo opisali kot (posredno in neposredno) energijo, ki je potrebna za izdelavo proizvoda skozi vse procese navzgor (sledljivo od pridobivanja surovin do končnega izdelka). Druga definicija, ki sta jo podala Bousted in Hancock, je, da je vsebovana energija opredeljena kot energija,

ki je potrebna za gradnjo ter pri vseh posrednih procesih za izdelavo materiala, kot so rudarstvo, skladiščenje, proizvodnja, transport, montaža in podobno. Medtem pa so različni raziskovalci (Baird, 1994; Edwards in Stewart, 1994; Howard in Roberts, 1995; Lawson, Cole in Kernan, 1996) opredelili, da vsebovana energija obsega porabo energije od pridobivanja surovin, transporta prvotnih surovin, proizvodnjo gradbenih materialov in drugih komponent, rabo energije med različnimi postopki gradnje ter končnega rušenja in ravnanja z odpadki. Te opredelitve avtorjev predstavljajo razlike glede omejitev sistema, ki ga je treba definirati v analizi vsebovane energije proizvoda. Zadnja definicija vsebovane energije je za sistemsko analizo najbolj primerna, vendar je tudi težje izvedljiva (Kumar Dixit in sod., 2010).

3.4.2 Energetsko modeliranje

Na Sliki 1 je predstavljen življenjski krog energije stavbe od pridobivanja surovin do demontaže in odstranjevanja.



Slika 1: Življenjski krog energije stavbe v povezavi s posameznimi gradbenimi elementi oz. proizvodi (Kumar Dixit in sod., 2010).

Kot je razvidno s Slike 1, se celoten življenjski krog energije stavbe v povezavi s posameznimi gradbenimi elementi deli na vsebovano energijo in obratovalno energijo. Vsebovano energijo tvorita

neposredna in posredna energija gradbenih materialov. Neposredna energija se porablja v različnih okoliščinah, in sicer na mestu in izven mesta vgradnje. Neposredno energijo sestavljajo štiri glavni procesi: vgrajevanje na gradbišču, montažna dejavnost, prevoz do gradbišča in administracija. Imamo dve vrsti gradnje, in sicer izdelavo elementa na samem mestu stavbe, kjer energijski vložek predstavlja vgrajevanje gradbenih materialov ter drugih komponent, in montažno gradnjo, kjer energijski vložek predstavlja izdelavo elementa v obratu, transport do mesta vgradnje ter samo montažo na stavbo. Posredna energija se porablja v treh fazah življenjske dobe materiala. Prva faza oziroma začetna vsebovana energija je sestavljena iz treh glavnih procesov izdelave elementa: pridobivanja, proizvodnje in transporta. Drugo fazo predstavlja ponovno vsebovana energija (obnova), tretjo pa vsebovana energija za rušenje in obdelavo odpadkov. Začetna vsebovana energija je uporabljena pri proizvodnji materialov in vseh sestavnih delov stavb, vključno s surovinami za proizvodnjo gradbenega materiala ter končno dostavo izdelkov na gradbišče. Za ponovno vsebovano energijo razumemo energijo, ki je potrebna pri procesih vzdrževanja in obnove stavb v času življenjske dobe. Energija za rušenje predstavlja vso potrebno energijo, ki je potrebna za rušenje, razgradnjo stavbe in ustrezno ravnanje z odpadki.

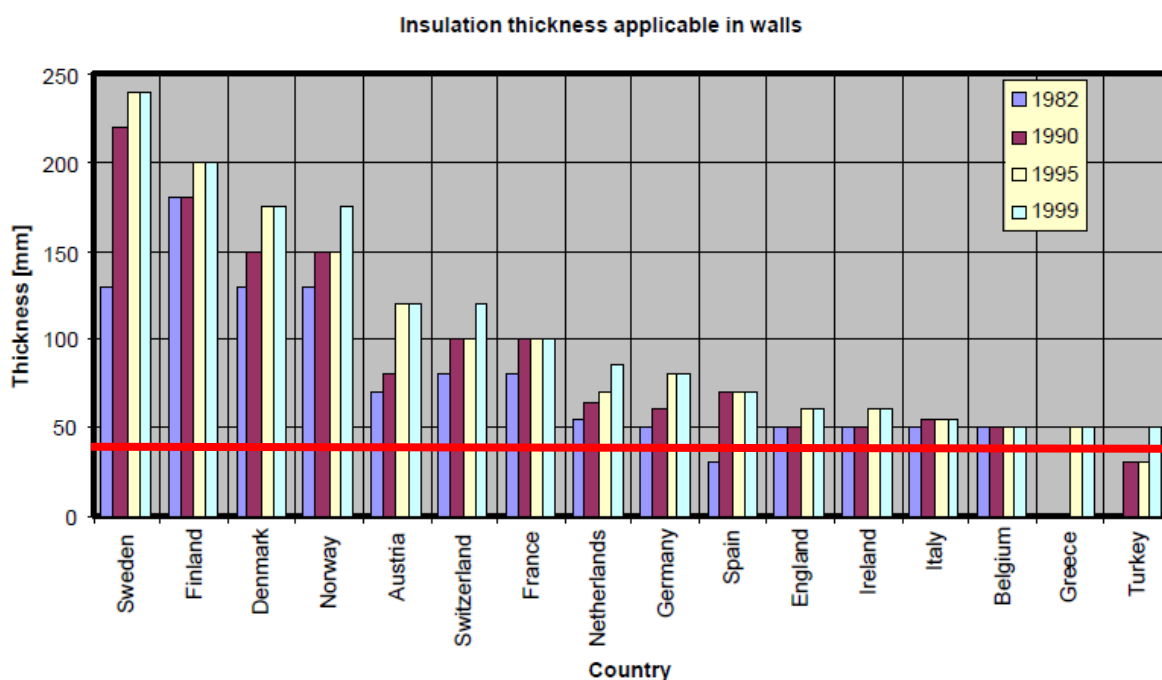
Obratovalna energija je potrebna za nemoteno delovanje stavbe, kamor sodijo ogrevanje, hlajenje, razsvetljava, prezračevanje in energija, ki je potrebna za delovanje druge opreme glede na namembnost stavbe (Kumar Dixit in sod., 2010).

4 TEORETIČNO OZADJE

4.1 Izolacijski materiali

Izolacijski materiali in njihova umestitev v konstrukcijski sklop so ključni pri načrtovanju in gradnji energetske učinkovite stavbe. Znano je namreč, da izbrane izolacije ni mogoče umestiti na katerokoli mesto v konstrukcijskem sklopu. V ta namen je treba proizvod analizirati z vidika vrste možnih vplivov, na katere mora biti odporna (vlaga, UV-žarki, kompaktnost ...), pri čemer ni glavno merilo le toplotna prevodnost. Na evropskem trgu izolacijskih materialov prevladujeta dve skupini proizvodov, in sicer anorganski vlaknati in organski penasti materiali. Vsi proizvodi imajo podobno zmogljivost, kar se tiče izolacijske sposobnosti, sicer pa se medsebojno zelo razlikujejo. Toplotne sposobnosti široko uveljavljenih izolacijskih materialov se v zadnjem desetletju niso izrazito izboljšale, so se pa izboljšale druge funkcije, kot na primer odpornost na ogenj in vlago ter izboljšave mehanskih lastnosti, včasih tudi na račun izolacijske sposobnosti. Izjeme so t. i. superizolatorji, kot sta na primer vakuumskoizolacijski panel in aerogel, kjer je toplotna prevodnost bistveno nižja. Ti parametri in njihova tržna cena vplivajo na izbiro optimalne izolacije v konstrukcijskem sklopu. Vse večjo vlogo pri izbiri izolacije pa imajo tudi vplivi na okolje in javno zdravje populacije (Papadopoulos, 2005).

Ukrep obvezne toplotne izolacije v večini evropskih držav, ki je bil sprejet pred 40 leti, še vedno velja za glavno orodje, ko govorimo o učinkoviti rabi energije v stavbah. Zakonska debelina izolacije v večini evropskih držav iz leta v leto narašča, kar je razvidno tudi s Slike 2. Situacija se od leta 1970 razlikuje glede na geografski položaj države v Evropi. V nekaterih državah so zahteve po debelini izolacije v istem obdobju skoraj podvojili, denimo v Severni Evropi (Papadopoulos, 2005).

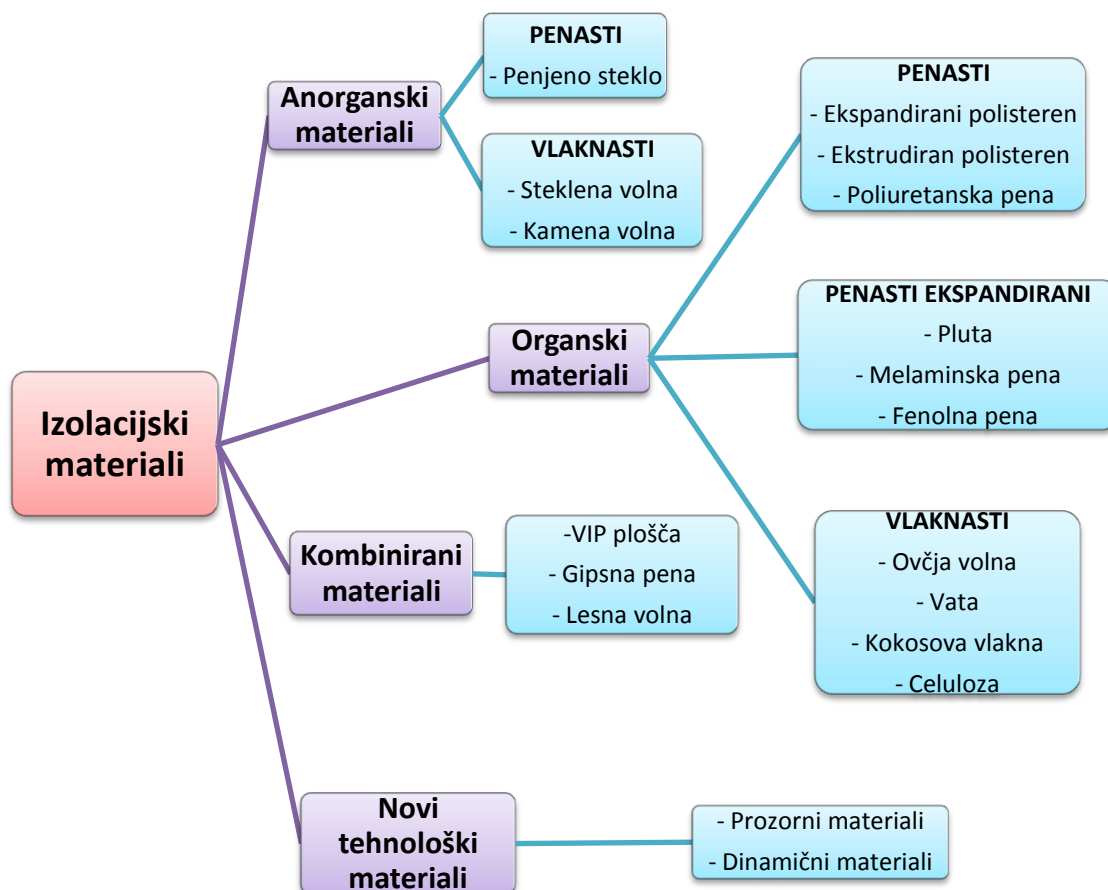


Slika 2: Zakonski razvoj debeline izolacije po Evropi (Papadopoulos, 2005).

Izolacijski materiali niso namenjeni temu, da samostojno ohranjajo energijo sistema, ampak so del kompleksnih konstrukcijskih elementov, ki tvorijo ovoj stavbe. V tem smislu izolacijskega materiala ni mogoče ovrednotiti na način proizvodnje energije sistema, kar na primer predstavljajo solarni sistemi ali fotovoltaika, ampak jih je treba ocenjevati kot sestavni del stavbe že v fazi projektiranja. Na izbiro izolacijskega materiala poleg kakovosti vpliva tudi njegova prilagodljivost nacionalni, regionalni ali celo lokalni tradiciji gradnje. V tem smislu so materiali, ki so široko razširjeni v določenem območju, lahko nadomestljivi s proizvodi, ki niso tako razširjeni, vendar bi z njimi lahko izboljšali kakovost bivanja v daljšem časovnem obdobju (Papadopoulos, 2005).

Dodatna zanimivost pri toplotnoizolacijskih materialih je tudi razvoj tako imenovanih alternativnih materialov, kot sta ovčja volna in konoplina izolacija, inteligentnih materialov, kot je prozorna izolacija, in dinamičnih materialov, ki delujejo v odvisnosti od temperature. Njihova širša proizvodnja na trgu je še vedno odvisna od ekonomike, nadaljnji razvoj pa je odvisen od izboljšav v proizvodnem procesu in vlaganj v raziskave. Merilo za uspešen preboj proizvoda na trg je odvisen od prilagodljivosti, vsestranskosti, stroškov in učinkovitosti (Papadopoulos, 2005).

Izolacijski materiali v osnovni definiciji delujejo z uporom, ta je dosežen s suhim zrakom, nekaterimi drugimi manj prevodnimi plini ali celo vakuumom, ki so ujeti v praznih porah materiala. Razvrščajo pa se glede na njihovo kemično sestavo ali pa njihovo strukturo. Najpogostejši izolacijski materiali se lahko razvrstijo tako, kot je prikazano na Sliki 3. Na evropskem trgu izolacijskih materialov prevladujeta prvi dve skupini izdelkov, in sicer anorganski vlaknasti materiali, steklena volna in kamena volna, ki predstavljajo 60 % trga, ter organski penasti materiali, EPS, XPS in v manjšem obsegu poliuretan, ki predstavljajo približno 27-odstotni delež. Vsi drugi materiali skupaj predstavljajo manj kot 13 % celotnega trga toplotnih izolacij (Toplotnoizolacijski materiali, 2003).



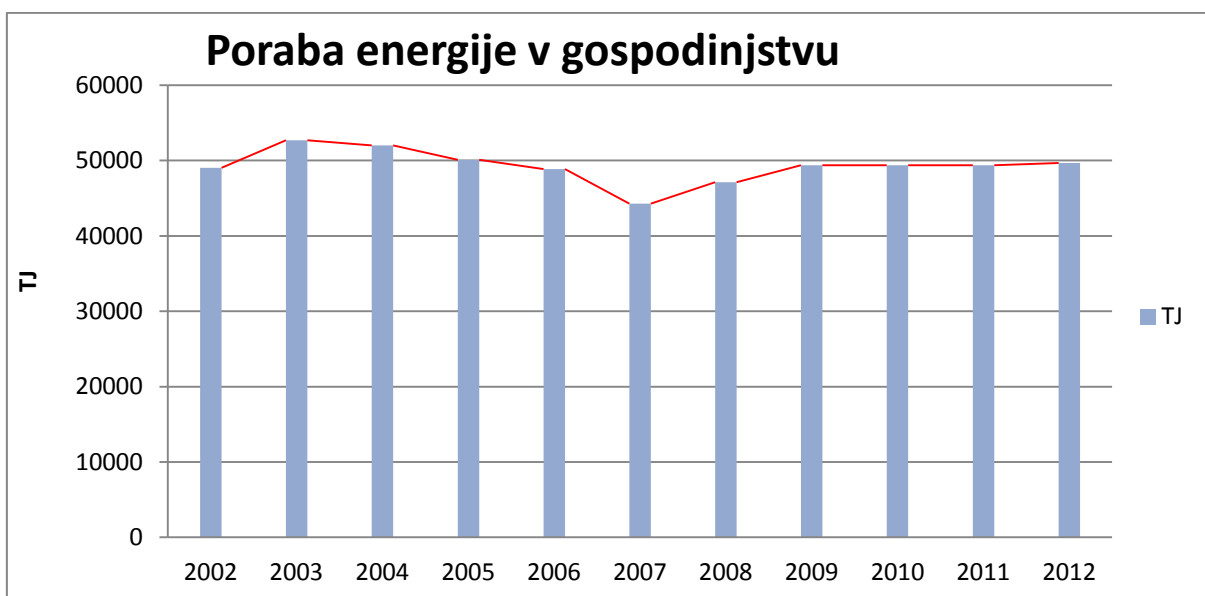
Slika 3: Shematična razdelitev toplotnoizolacijskih materialov (Papadopoulos, 2005).

Lastnosti izolacijskih materialov delimo v tri skupine. Fizikalne lastnosti opisujejo osnovne lastnosti materiala v smislu gostote, mehanske trdnosti, toplotne prevodnosti, absorpcije zvoka, odpornosti na vlago in ogenj itd. Te lastnosti so enostavno merljive in lahko dokazljive, saj že več kot 35 let obstajajo veljavni nacionalni standardi za merjenje posamezne lastnosti. V tem času so se uveljavili mednarodno veljavni standardi in smernice, kot so EN ISO 6946, EN 13162, EN 13163, EN 13164, BS 476 in 89/106/EGS. Druga skupina se ukvarja z vplivom izolacijskih materialov na okolje, vendar je slabše definirana in ima bolj splošno sprejeta merila. Ta vključuje lastnosti, kot so primarna vsebovana energija, emisije plinov med proizvodnjo materiala, uporaba aditivov proti biološkemu vplivom, klasifikacija obdelave kot odpadka, njihove ponovne uporabe in reciklaže ter vpliva na okolje. Materiali, ki temeljijo po pristopu življenjskega ciklusa (LCA) po ISO 14025-00, tvorijo mednarodno sprejemljiv okvir za okoljsko označevanje. Še vedno se te lastnosti težko oceni oziroma so težko merljive, saj se lahko za isti proizvod razlikujejo glede na vrsto materiala, način in lokacijo proizvodnje, vir primarne energije za izdelavo, nacionalne okoljske zakonodaje itd. Tretja skupina opisuje negativne vplive na zdravje, kot so prah, toksičnost v primeru požara, biološke obstojnosti, vpliv na zdravje med vgradnjo itd. (Sedlbauer in Koenig, 1998; Schum, Beutler in Marfels, 1994). To problematiko in mejne vrednosti raznih emisij ureja širok razpon standardov (Papadopoulos, 2005).

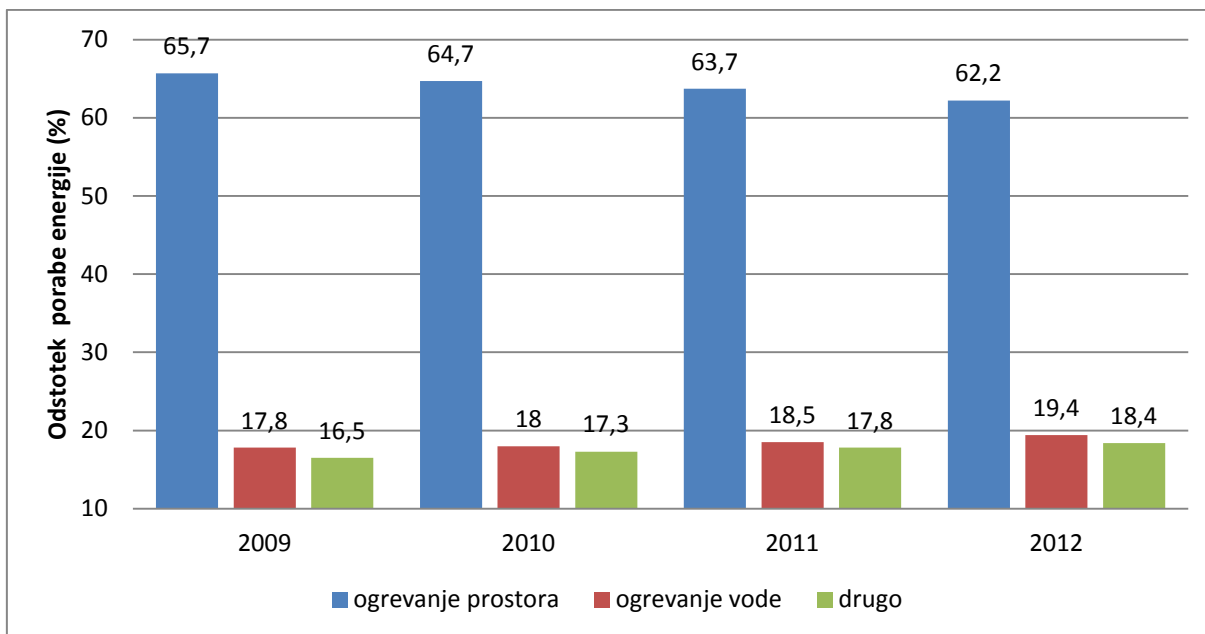
5 STATISTIČNI PODATKI IN PORABA ENERGIJE

5.1 Poraba energije gospodinjstev

Gospodinjstva v Sloveniji porabijo več kot 20 % vse končne energije, skupaj s pridelovalnimi dejavnostmi in gradbeništvom pa delež naraste čez polovico. Zmanjševanje rabe končne energije je pomembno, tako z vidika zagotavljanja nemotene dobave energije ter konkurenčnosti gospodarstva, kakor tudi z vidika zmanjševanja vplivov na okolje preko zniževanja izpustov toplogrednih plinov in drugih onesnaževanj okolja. Kot je razvidno s Slike 4, ki prikazuje strukturo rabe energije v gospodinjstvih, raba energije po letu 2003 (ko je bila poraba energije največja – 52712 TJ) do leta 2009 rahlo pada (46222 TJ). Ta trend se do leta 2012 ni nadaljeval, ampak se je poraba energije do tega leta povečala za 7 % (49696 TJ). Največ energije v slovenskih gospodinjstvih porabimo za ogrevanje prostorov. Slika 5 prikazuje delež porabe energije v letu 2009, kjer ogrevanje znaša 65,7 %, leta 2012 pa se ta delež vrti okoli 62 %. Absolutno gledano smo leta 2009 porabili 32436TJ energije, leta 2012 pa 30910TJ energije oziroma 4,7 % manj energije (Potrošnja v gospodinjstvih, 2014).



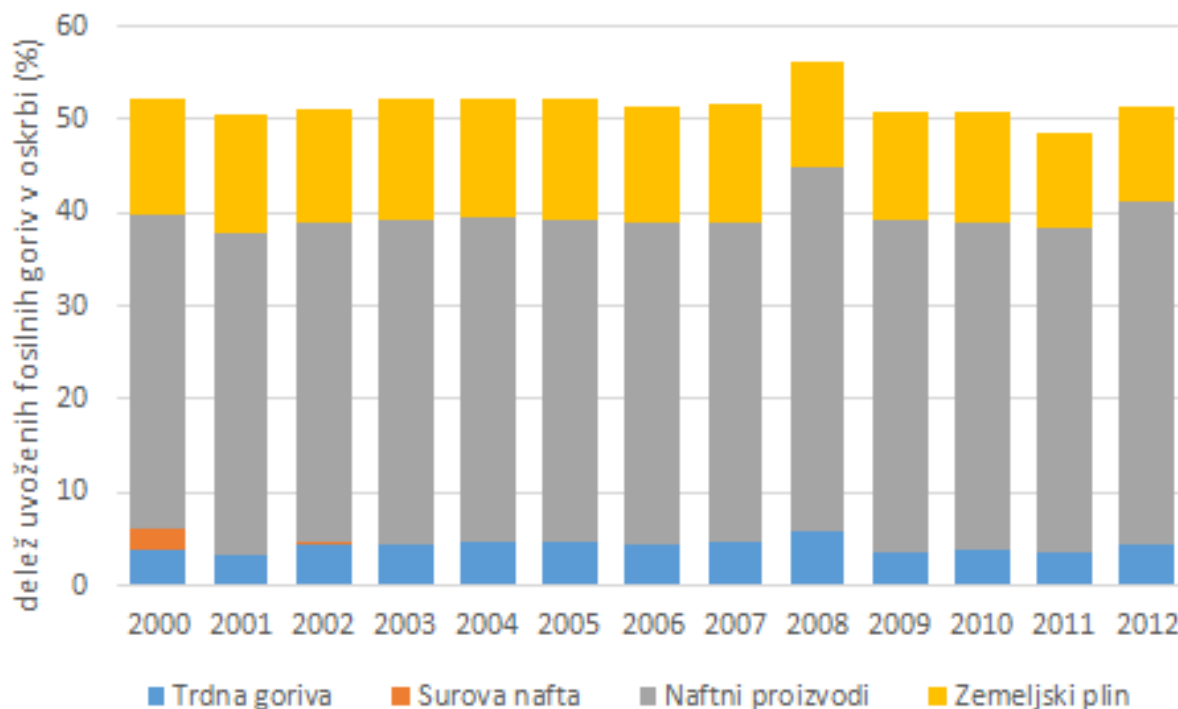
Slika 4: Poraba energije v gospodinjstvih skozi čas (Poraba energije in goriv v gospodinjstvih, Slovenija, 2010).



Slika 5: Odstotek porabe energije glede na namen v slovenskih gospodinjstvih za posamezno leto (Poraba energije in goriv v gospodinjstvih, Slovenija, 2010).

Energetska intenzivnost je razmerje med količino energije (oskrba z energijo ali končna poraba energije) in bruto domačim proizvodom, izraženim v stalnih cenah. Energetska intenzivnost se manjša z izboljševanjem energetske učinkovitosti (Intenzivnost rabe končne energije, 2013).

Energetska intenzivnost v gospodinjstvu je po naraščanju do leta 2003 štiri leta upadala, leta 2008 pa se je zopet povečala. Po drastičnem znižanju leta 2007 za 10,2 % se je leta 2008 povečala za 6,0 %. Povečanje je posledica zamika nakupa tekočih goriv leta 2007 ter hladnejše zime leta 2008. Intenzivnost se je močno povečala tudi leta 2009, kar je posledica izboljšanja metodologije spremljanja rabe lesne biomase in obnovljivih virov. To je vplivalo na občutno rast rabe obnovljivih virov energije (37 %) glede na prehodno leto. Rast intenzivnosti se je nadaljevala tudi naslednje leto (1,7 %), vendar je analiza gibanja rabe energije z izločenim vplivom različnih temperatur pokazala, da je to posledica hladnejše zime v primerjavi s predhodnim letom. Če uporabimo rabo energije, preračunano na povprečno hladno zimo, se je energetska intenzivnost v gospodinjstvu znižala za 1,6 %. V letih 2011 in 2012 se je intenzivnost zniževala z 2,2 in 2,3 %, če upoštevamo rabo energije, preračunano na povprečno hladno zimo, pa za 0,5 in 1,6 %. Za ta sektor je značilno minimalno odstopanje energetske intenzivnosti od povprečja Evropske unije (leta 2011 +5 %). Leta 2000 je bila intenzivnost v Sloveniji za 7 % nižja kot v Evropski uniji. Kazalec je možno izračunati tudi z drugim vplivnim parametrom namesto prebivalstva, in sicer s stanovanjsko površino. Pri tem izračunu je v zadnjih letih opazno hitrejše zniževanje kazalca, saj površina stanovanj raste občutno hitreje kot število prebivalcev (Energetska učinkovitost in raba energije v gospodinjstvih, 2013; Intenzivnost rabe končne energije, 2013).



Slika 6: Delež uvoženih fosilnih goriv v celotni oskrbi z energijo Slovenije (Odvisnost od uvoza energije, 2013)

Evropska Unija in Slovenija na zelo visoko mesto v energetske politiki postavljata zanesljivost oskrbe z energijo. Problematika oskrbe z energijo je bila zlasti pomembna pozimi 2008/2009, ko je bila poraba energentov na 50 %. Tega leta so nastale tudi težave pri dobavi zemeljskega plina, ki so bile posledice ukrajinsko-ruskega spora. Leta 2011 (Slika 6) se je delež uvožene energije prvič znižal pod 50 %, ravno na račun povečanja obnovljivih virov energije, vendar pa je naslednje leto 2012 delež ponovno narastel prek 50 % (Odvisnost od uvoza, 2013).

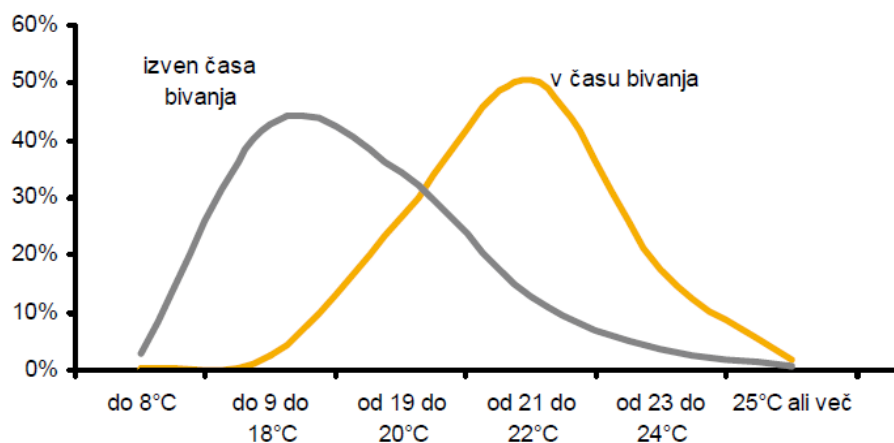
Raba energije v gospodinjstvih se je po preračunu na povprečno hladno zimo v obdobju 2009–2012 zmanjšala, in sicer za 4,7 %. Zmanjšanje porabe energije je posledica izvajanja ukrepov učinkovite rabe energije. Indeks energetske učinkovitosti se v obdobju 2009–2011 nenehno izboljšuje. Negativno pa na zmanjšanje rabe energije predvsem vplivata povečanje števila prebivalcev za 0,2 % ter povečanje ogrevalnih površin za 2,4 %. Sama učinkovitost rabe energije v gospodinjstvih se je v enakem obdobju povečala za 7,1 %. K temu je največ prispevalo povečanje učinkovitosti pri ogrevanju prostorov, ki je znašalo 9,5 %, in je posledica energetskih prenov stavb ter tudi zamenjava sistemov ogrevanja (Poraba energije in goriv v gospodinjstvih, Slovenija, 2012; Energetska učinkovitost in raba energije v gospodinjstvih, 2013).

5.2 Stanje toplotne izoliranosti stavb

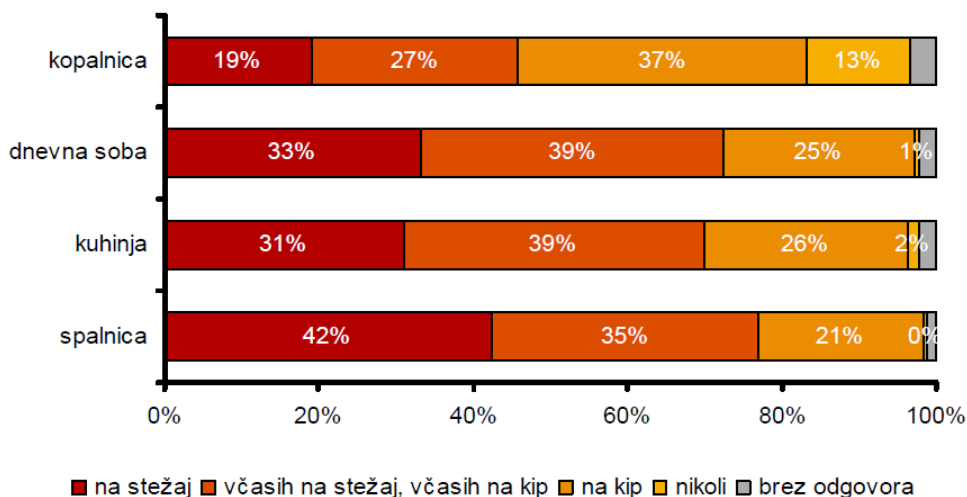
V Sloveniji se od leta 2009 izvaja Raziskava energetske učinkovitosti Slovenije oz. raziskava REUS. Dvanajst kazalnikov o ravnanju z energijo je v sklopu strokovne interpretacije raziskave opredelil Inštitut Jožef Stefan – Center za energetska učinkovitost v sodelovanju z agencijo Informa Echo, ki je bil tudi pobudnik in investitor raziskave. S celotno raziskavo učinkovite rabe energije so skozi čas spremljali:

- stanje v gospodinjstvih, vedenjske navade uporabnikov in pripravljenost za uvajanje ukrepov URE (učinkovita raba energije);
- odnos do problematike učinkovite rabe energije in stopnjo osveščenosti pri porabnikih;
- pogoje (ceno ...), pri kateri je uporabnik pripravljen zamenjati energent ali posamezno trošilo energije;
- trend rabe energije ter s tem omogočiti postopno dvigovanje standardov URE v gospodinjstvih.

V prvi raziskavi, ki se je izvajala leta 2009, je sodelovalo 1078 oseb, iz širšega območja osrednje Slovenije. Raziskovali so, kakšna je najpogostejša vzdrževana temperatura zraka v bivalnih prostorih. Izkazalo se je, da je v času bivanja najpogostejša temperatura zraka okoli 21 °C, kar je blizu optimalne temperature za bivalne prostore. Večji del gospodinjstev izven časa bivanja temperaturo zraka zniža, najmanj do 18 °C (Slika 7). V tej raziskavi so ugotavljali tudi navade uporabnikov ter njihov način prezračevanja prostora. Ugotovili so, da 40 % uporabnikov uporablja vertikalno prezračevanje sanitarnih prostorov (odprto okno na kip), kar je za odvajanje vlage iz prostora ugoden ukrep, vendar pa sočasno s tem izgubljam energijo. Prav tako se spalni prostori in dnevni prostori večji del prezračujejo na stežaj in verjetno samo v določenih intervalih dneva (Slika 8). Tovrstne rezultate so dobili tudi v vseh naslednjih raziskavah (2010, 2011, 2012), z malenkostnim odstopanjem (Raziskava REUS, 2013).



Slika 7: Povprečna temperatura zraka v bivalnem prostoru v času in izven časa bivanja (Raziskava REUS, 2013).



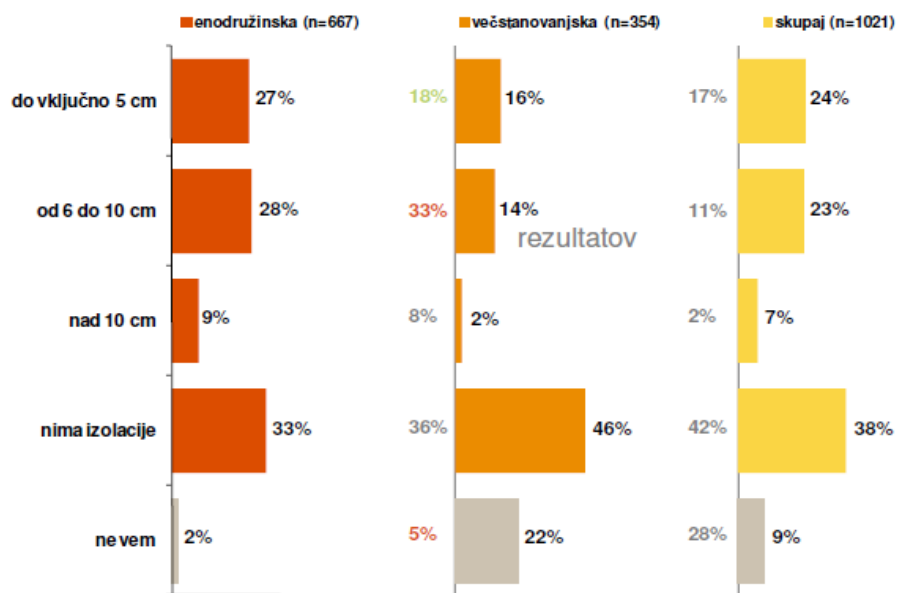
Slika 8: Načini prezračevanja, ki ga uporabljajo Slovenci (Raziskava REUS, 2013).

V drugi raziskavi, ki je potekala leta 2010, so prav tako raziskovali vedenjske trende uporabnikov v gospodinjstvih. Med drugim tudi, kaj je glavni motivator za učinkovito ravnanje z energijo. Prišli so do zaključka, da je za skoraj dve tretjini (65 %) gospodinjstev glavni motivator za učinkovito ravnanje z energijo prihranek denarja ter varovanja okolja. Slaba tretjina (31 %) se je opredelila zgolj za prihranek energije. Ta trend se kasneje v letih 2011 in 2012 ni bistveno spremenil. Velika večina (83 %) gospodinjstev ima pozitiven odnos do učinkovite rabe energije, vendar pa ga v praksi udejanja znatno manj, in sicer le 28 %. V raziskavi leto kasneje se je opazno povečal delež gospodinjstev (5 %), ki dejansko varčuje z energijo. Ta trend se v pozitivni smeri nadaljuje tudi v raziskavi iz leta 2012 (Raziskava REUS, 2013).

V zadnji raziskavi leta 2012 so uporabnike gospodinjstev vprašali, ali razmišljajo o tem, kako bi učinkoviteje trošili energijo, na kar jih je 80 % vprašanih pritrdilo, glavni motivator tega pa je še vedno zniževanje stroškov. Prav tako je ta raziskava potrdila tudi prej omenjeno trditev, da se državljani vedno bolj zavedajo problematike prekomerne porabe energije te dejstva, da z enostavnimi ukrepi lahko pripomorejo k zmanjšanju porabe (Raziskava REUS, 2013).

V raziskavi iz leta 2012 je bilo ugotovljeno, da ima okoli 27 % enodružinskih hiš debelino toplotne izolacije le pet centimetrov, 33 % hiš sploh nima toplotnega ovoja, delež neizoliranih večstanovanjskih stavb pa je 46 %, kar je razvidno tudi s Slike 9. Torej 60 % enodružinskih in 75 % večstanovanjskih stavb po debelini izolacije sodi med energetske neučinkovite. Le 9 % enodružinskih hiš bi lahko uvrstili v energetske učinkovite razred, saj imajo debelino izolacije nad 10 cm. Ti podatki so mogoče nekoliko milejši, saj se je v zadnjih dveh letih, ko je bila kriza gradbeništva na vrhuncu, povečal delež investicij v sanacijo toplotnega ovoja, tako večstanovanjskih objektov, kot tudi individualnih stavb s finančno pomočjo države (Raziskava REUS, 2013).

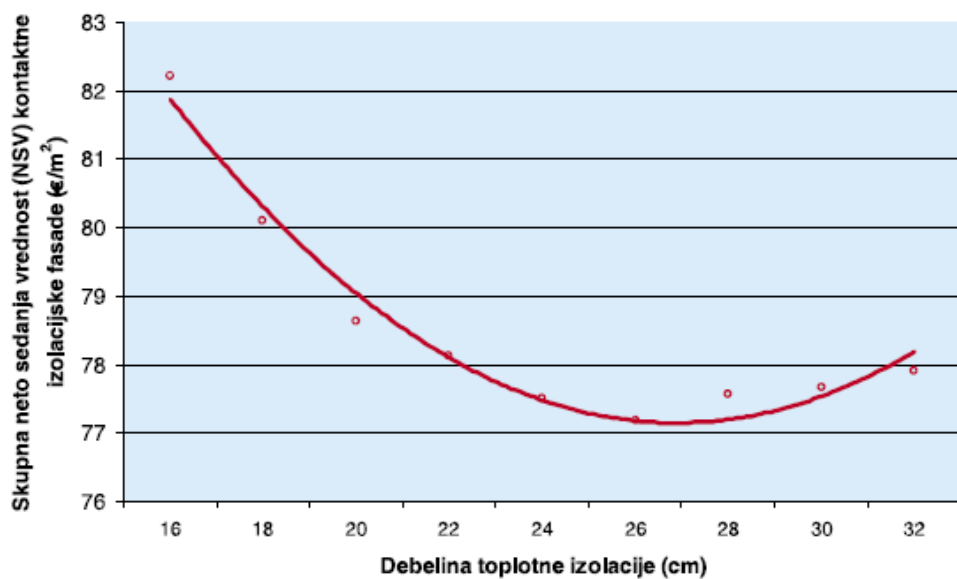
Od dveh ponudnikov toplotne izolacije smo pridobili podatek o najbolj prodajanih izolacijah med izvajanjem finančne pomoči države oz. Eko sklada. Ponudnik Ursa je na slovenskem trgu prodal največ steklene volne debeline 10 cm, sledijo materiali debeline 15 cm (EPS, steklena volna). Ponudnik Demit je prodal največ grafitnega stiropora debeline 12 cm ter navadnega stiropora EPS debeline 15 cm, saj so za tovrstne materiale investitorji še upravičeni do sredstev iz Eko sklada.



Slika 9: Debelina toplotne izolacije stavb (Raziskava REUS, 2013).

Za vrednotenje ekonomske učinkovitosti sta Kunič in Krainer (2009) izdelala primerjalno analizo ekonomskega vrednotenja stroškov v življenjskem ciklusu sistemov kontaktno-izolacijskih fasad, kjer sta bili za cilj izbrani temeljita analiza vplivov debeline toplotne izolacije in priprava instrumentarija za ekonomsko vrednotenje stroškov v življenjskem ciklusu. Z vidika stroškov – po metodi neto sedanje vrednosti (NSV) – so bili v življenjskem ciklusu primerjani vplivi različnih debelin toplotnih izolacij. Ugotovila sta, da se tako letni stroški kot tudi NSV toplotnih izgub znižujejo s povečevanjem toplotne izolacije, vendar je dodatno zniževanje ob hkratnem povečevanju debeline toplotne izolacije vse bolj zanemarljivo. V analizi se je pokazalo tudi asimptotično zniževanje stroškov ob povečevanju debeline toplotne izolacije. Zanimiv podatek, ki je prikazan tudi na Sliki 10, je, da je minimalna neto sedanja vrednost za različne debeline slojev toplotnih izolacij v sklopu kontaktne fasade – pri sedanjih cenah energije in drugih predpostavkah dosežena pri debelini toplotne izolacije 26 cm. Vzrok, da se NSV ne znižuje stalno z debeljenjem toplotne izolacije, so stroški, povezani z dodatno debelino toplotne izolacije. Zaradi tega investicijska vrednost kontaktno-izolacijske fasade narašča strmeje kot se znižuje NSV stroškov zaradi toplotnih izgub.

Neto sedanja vrednost kontakne izolacijske fasade



Slika 10: Prikaz minimuma v skupni neto sedanji vrednosti (NSV) za kontaktno izolacijsko fasado ob najbolj ekonomični toplotni izolaciji debeline 26 cm (Kunič in Krainer, 2009).

6 METODA IZDELAVE ANALIZE

6.1 Analiza obstoječega stanja in vhodni parametri izračuna

Pri izračunu dejanskega prihranka energije se bomo osredotočili na zelo ozek spekter podatkov. Predpostavili bomo nosilno konstrukcijo, konstrukcijsko zasnovo, ovoj stavbe, namen stavbe, lokacijo objekta in opredelili vse proizvode, potrebne za analizo vsebovane energije. Vrednosti vsebovane energije bomo privzeli iz podatkov, ki so trenutno na voljo v strokovni literaturi (študije, inštituti) ter podatkov, ki jih podajajo proizvajalci in jim bomo z zmerno pazljivostjo tudi zaupali. Obstaja namreč velika verjetnost, da ti podatki ne nudijo zadostne natančnosti pri sami analizi.

Pri izračunu prehoda energije se bomo osredotočili na kvadratni meter posameznega dela konstrukcijskega sklopa. Obravnavali bomo štiri sklope, ki so z vidika porabe energije najbolj izpostavljeni:

- tla na terenu oziroma tla nad neogrevano kletjo,
- zunanja stena oziroma stena proti neogrevanim prostorom,
- strop proti neogrevanemu prostoru oziroma strop v sestavi ravnih streh ali poševnih streh,
- terase manjše velikosti, ki skupaj ne presegajo 5 % površine strehe.

Predpostavili bomo enodružinsko hišo, ki je locirana v treh različnih klimatskih conah z različnim trajanjem kurilne sezone, in sicer v Ljubljani, Portorožu in Ratečah. Trajanje kurilne oz. ogrevalne sezone se računsko določa na podlagi temperature zraka. Za prvi dan ogrevalne sezone se šteje dan po tistem, ko je v drugi polovici leta ob 21. uri tri dni zapored temperatura zraka nižja ali enaka +12 °C. Za zadnji dan ogrevalne sezone je tretji zaporedni dan v prvi polovici leta, ko je ob 21. uri temperatura zraka višja ob +12 °C in po tem dnevu ob 21. uri temperatura trikrat zapored ne pade pod omenjeno vrednost temperature zraka. Kurilna sezona v Ljubljani predvidoma traja 234 dni, Ratečah 327 dni in Portorožu 191 dni (Kurilna sezona, 2014). Stavba bo imela tri oziroma štiri etaže, in sicer klet, pritličje, prvo nadstropje in mansardo, saj je za osnovni podatek izvzeta zasnova stavbe, ki je bila največkrat uporabljena v obdobju šestdesetih, sedemdesetih in osemdesetih letih preteklega stoletja, ko je bil glavni poudarek le na velikosti stavbe. Dotični toplotni ovoj stavbe bo ničen oziroma se bo upošteval prispevek toplotnega upora nosilne konstrukcije.

Predvidena notranja temperatura v času ogrevalne sezone bo 20 °C, kot narekuje Pravilnik o učinkoviti rabi energije. Dejanska temperatura v času bivanja je po raziskavi REUS nekoliko večja, vendar bomo zanemarili podatek, da se temperatura v nočnem času oziroma v času, ko je bivalni prostor prazen, nekoliko zniža.

Nosilna konstrukcija se bo spreminjala glede na material, ki je uporabljen v posamezni etaži. V obdobju Jugoslavije je prevladovala klasična gradnja individualnih stavb, kjer je vsa nosilna

konstrukcija zgrajena po mokrem postopku; izjema je streha, saj je veljalo prepričanje, da montažne stavbe niso varne in trajne. Torej bomo za nosilno konstrukcijo izbrali beton, opeko in les.

V analizi bomo primerjali več proizvodov za toplotni ovoj, kjer bo poglobljen podatek dejanska debelina dodatne izolacije, saj bo toplotna prehodnost U fiksna in neodvisna od položaja toplotnega ovoja. Najprej bomo dimenzionirali potrebno izolacijo, da dosežemo mejno vrednost, ki nam jo predpisuje Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah. Kasneje pa bomo mejno toplotno prehodnost konstrukcijskega sklopa še bolj zaostri ter analizirali, pri kateri toplotni prehodnosti dobimo optimalno predpostavljeno razmerje energij. Stremeli bomo k cilju, da mora vsebovana energija predstavljati približno tretjino vse porabljene energije v dobi tridesetih let. V teh tridesetih letih bomo upoštevali le čas ogrevalnega obdobja oziroma čas ogrevalnih sezon. Oprijeli se bomo tudi trditve iz raziskave, da je optimalna ekonomska debelina izolacije približno 26 cm (Kunič in Krainer, 2009).

Preglednica 2: Uporabljeni materiali za izračun vsebovane energije s pripadajočimi koeficienti gostote in toplotne prevodnosti ter referenco izvora podatka.

Material in referenca izvora podatka	Gostota (kg/m ³)	Toplotna prevodnost (mW/mK)	Vsebovana energija (MJ/kg)
EPS (Hammond in Jones, 2008)	10	37	100,2
	30	37	100,2
	16	37	100,2
EPS + aditivi (IBO, 2000; Sto, 2006)	12	32	100,2
	18	32	100,2
	16	32	100,2
XPS (IBO, 2000; Sto, 2006)	28	38	67,2
	45	38	67,2
	32	38	67,2
POLIURETAN (Hammond in Jones, 2008)	28	25	72,1
	100	25	72,1
	45	25	72,1
STEKLENA VOLNA MIN GOSTOTA (IBO, 2000; Hammond in Jones, 2008)	15	36	49,4
	40	36	49,4
	22	36	49,4
STEKLENA VOLNA MAX GOSTOTA (IBO, 2000; Hammond in Jones, 2008)	40	38	49,4
	150	38	49,4
	80	38	49,4
KAMENA VOLNA MIN GOSTOTA (IBO, 2000; Hammond in Jones, 2008)	20	40	26,4
	120	40	26,4
	70	40	26,4
KAMENA VOLNA MAX GOSTOTA (IBO, 2000; Hammond in Jones, 2008)	120	45	26,4
	200	45	26,4
	155	45	26,4
CELULOZNA VLAKNA (IBO, 2000)	30	44	10,5
	80	44	10,5
	60	44	10,5
PLUTA (Ecoinvent centre, 2006; IBO, 2000; KBOB, 2006)	100	50	51,5
	220	50	51,5

	160	50	51,5
PENJENO STEKLO (IBO, 2000; Pittsburgh, 2007)	90	60	27,1
	200	60	27,1
	170	60	27,1
AEROGEL (Aspen aerogels, 2014)	60	17	53
	160	17	53
	140	17	53
VIP PANELI (Schonhardt in sod., 2003)	150	6	249,7
	300	6	249,7
	170	6	249,7

V Preglednici 2 so predstavljeni materiali, pripadajoče minimalne in maksimalne gostote ter gostote, ki se največkrat uporabijo v gradbeni dejavnosti (v preglednici obarvane z zeleno). Za vsak proizvod je navedena pripadajoča količina vsebovane energije, ki jo bomo kasneje pretvorili v enoto MJ/m³.

Metodologija izračuna potrebne debeline izolacije temelji ob predpostavki vnaprej določene toplotne prehodnosti. Tu zanemarimo vse druge parametre, ki bi jih morali upoštevati pri dimenzioniranju ustreznega sistema. Debelino dodatne toplotne izolacije posameznega konstrukcijskega sklopa bomo izračunali na podlagi razlike toplotne prehodnosti. V začetku bomo izračunali toplotno prehodnost obstoječega sklopa, ki bo prikazan v preglednici, ter definirali mejno toplotno prehodnost. Sama debelina izolacije bo temeljila na razliki obeh toplotnih prehodnostih. Izračun obstoječega U bo prikazan v preglednici, kjer najprej za posamezen sloj izračunamo toplotni upor $R[m^2K/W]$, nato seštejemo vse toplotne upornosti slojev, na koncu pa vsoto toplotnih upornosti preoblikujemo v toplotno prehodnost $U[W/m^2K] = 1/R$. Za izračun dodatne debeline toplotne izolacije bomo predhodno definirali potrebno razliko toplotnega upora $\Delta R[m^2K/W] = (1/U_{mejno} - \Sigma R)$, v naslednjem koraku pa bomo izračunali potreben sloj izolacije $\Delta d[m] = \Delta R[m^2K/W] * \lambda [W/mK]$. Nato bomo izračunali kubične metre izolacije na kvadratni meter konstrukcijskega sklopa ter absolutno vrednost vsebovane energije materiala v enoti MJ.

Seznam vhodnih parametrov izolacijskih materialov, ki so prikazani v Preglednici 2 (gostota in toplotna prevodnost), opredeljuje minimalne in maksimalne gostote posameznega proizvoda ter gostote, ki so največkrat uporabljene v gradbene namene ter določajo najpogostejše pripadajoče toplotne prevodnosti materiala. Seznam, ki je delo mentorja Romana Kuniča, je bil pregledan in potrjen s strani Nemškega inštituta FIW, sodobnega raziskovalnega centra za testiranje, spremljanje in certificiranje izolacijskih ter konstrukcijskih materialov. Podatki o količini vsebovane energije proizvoda niso jasno določeni, zato bomo privzeli podatke, ki so trenutno na voljo. Zaradi tega razloga obstaja velika verjetnost za netočen izračun v analizi. Zaradi preglednosti bomo analizirali le materiale, ki so po pogostosti največkrat uporabljeni v gradbene namene, v posameznih konstrukcijskih sklopih pa izločili tiste proizvode, k jih ni smiselno vgrajevati v toplotni ovoj.

Pri analizi vsebovane energije smo upoštevali le energijske vrednosti za toplotne izolacije brez upoštevanja zaščitnih slojev, pritrtil ter tehnologij vgrajevanja. Ti parametri so sicer nujni sestavni deli sistemov, vendar se sestava sistemov zelo razlikuje od vrste konstrukcijskega sklopa in izbire toplotne izolacije. Tako bi upoštevanje teh elementov oziroma parametrov zelo otežilo analizo in medsebojno primerjavo različnih proizvodov.

6.2 Sestava konstrukcijskih sklopov

Zunanja stena oziroma stena proti neogrevanim prostorom je zgrajena iz masivnega materiala po mokrem postopku gradnje. Na sam izračun toplotne upornosti vrsta materiala (betonski zidaki, opečnati zidaki in armirano-betonska stena) ne vpliva oziroma je vpliv tako majhen, da ga zanemarimo. Zato predpostavimo, da bo nosilna konstrukcija zgrajena z opečnatim materialom.

Preglednica 3: Sestava in U zunanje in kletne stene.

	Material	d (cm)	λ (W/(mK))	R (m ² K/W)	
1	α_n	0		0,130	
2	notranji omet	2	1,4	0,014	
3	opečna stena	30	0,93	0,323	
4	zunanji omet	2	1,4	0,014	
5	α_z			0,040	
			ΣR	0,521	
			U (W/(m ² K))	1,919	>U _{mej} = 0,28W/(m ² K)

Kljub temu, da bomo predpostavili poljuben položaj toplotne izolacije v konstrukcijskem sklopu, ne bomo analizirali vseh toplotnoizolacijskih materialov. Penjenega stekla namreč ni smiselno nameščati na toplotni ovoj stene. Zato bomo izbrali ekspandiran polistiren, ekspandiran polistiren z dodanimi refleksijskimi aditivi (grafit), ekstrudiran polistiren, poliuretan, stekleno in kameno volno obeh gostot, celulozno izolacijo, pluta, aerogel in vakuumskoizolacijski panel. S temi proizvodi bomo lahko dosegli poljubno izvedbo toplotnega ovoja.

Konstrukcijski sklop tal nad neogrevano kletjo oziroma tla na terenu bodo brez izolacijskega sloja. Upoštevana bo toplotna upornost obloge, hidroizolacije in betonske plošče debeline 30 cm, v primeru morebitno izdelanega estriha.

Upoštevani izolacijski materiali v analizi bodo ekspandiran polistiren, ekspandiran polistiren z dodanimi refleksijskimi aditivi (grafit), ekstrudiran polistiren, vakuumskoizolacijski paneli, steklena volna večje gostote, kamena volna večje gostote, penjeno steklo, pluta, poliuretan in aerogel.

Preglednica 4: Sestava in U tal na terenu.

	Material	d (cm)	λ (W/(mK))	R (m ² K/W)	
1	$\alpha=6$	0		0,170	
2	obloga ploščice	2	2,3	0,009	
3	AB plošča	30	0,93	0,323	
4	HI	0,05	0,19	0,003	
			ΣR	0,504	
			U (W/(m ² K))	1,984	$>U_{mej} = 0,30W/(m^2K)$

Za strop proti neogrevanemu prostoru oziroma strop v sestavi ravnih streh ali poševnih streh bomo privzeli sestavo skeletne strehe. Ta sestava je s strani toplotne prehodnosti najbolj neugodna (v primerjavi s teraso), saj bo upoštevana le toplotna upornost lesenega opaža. Za tovrstni konstrukcijski sklop bi lahko upoštevali vse proizvode, vendar bomo uporabili le najbolj pogosto uporabljene v praktičnem smislu. In sicer ekspandiran polistiren, ekspandiran polistiren z dodanimi refleksijskimi aditivi (grafit), ekstrudiran polistiren, vakuumskoizolacijski panel, poliuretan, stekleno in kameno volno obeh gostot in celulozno izolacijo.

Preglednica 5: Sestava in U skeletne lesene strehe, ravne strehe in terase večje velikosti.

	Material	d (m)	λ (W/(mK))	R (m ² K/W)	
1	α_n	0		0,130	
2	lesen opaž	0,02	1,4	0,014	
3	(izolacija)	0	0	0,000	
4	lesen opaž	0,02	0,14	0,143	
5	α_z			0,040	
			ΣR	0,327	
			U (W/(m ² K))	3,057	$>U_{mej} = 0,28W/(m^2K)$

Sestavo terase manjše velikosti, ki skupaj ne presega 5 % površine strehe, bomo obravnavali kot ravno armirano betonsko streho z naklonskim betonom ter zaključno pohodno oblogo. Za ta konstrukcijski sklop bomo primerjali identične materiale kot pri sestavi tal na terenu ter dodali še stekleno in kameno volno manjše gostote.

Preglednica 6: Sestava in U terase manjše velikosti.

	Material	d (cm)	λ (W/(mK))	R (m ² K/W)	
1	α_n	0		0,130	
2	notranji omet	2	1,4	0,014	
3	AB plošča	30	2,04	0,147	
4	obloga ploščice	2	2,3	0,009	
5	α_z			0,040	
			ΣR	0,340	
			U (W/(m ² K))	2,941	>U _{mej} = 0,60W/(m ² K)

Trenutni veljavni predpisi opredeljujejo mejne vrednosti toplotnih prehodnosti U_{max} , ki jih je treba izpolniti za vsak konstrukcijski sklop različno. V nadaljevanju bomo za vsak posamezen primer analizirali tudi strožje kriterije, saj želimo ugotoviti, kolikšna mora biti toplotna prehodnost, da izpolnimo začetno predpostavko vsebovane energije ter porabljene energije.

Preglednica 7: Vrednosti največje dovoljene toplotne prehodnosti U_{max} (Tehnična smernica TSG-1-004:2010, 2013).

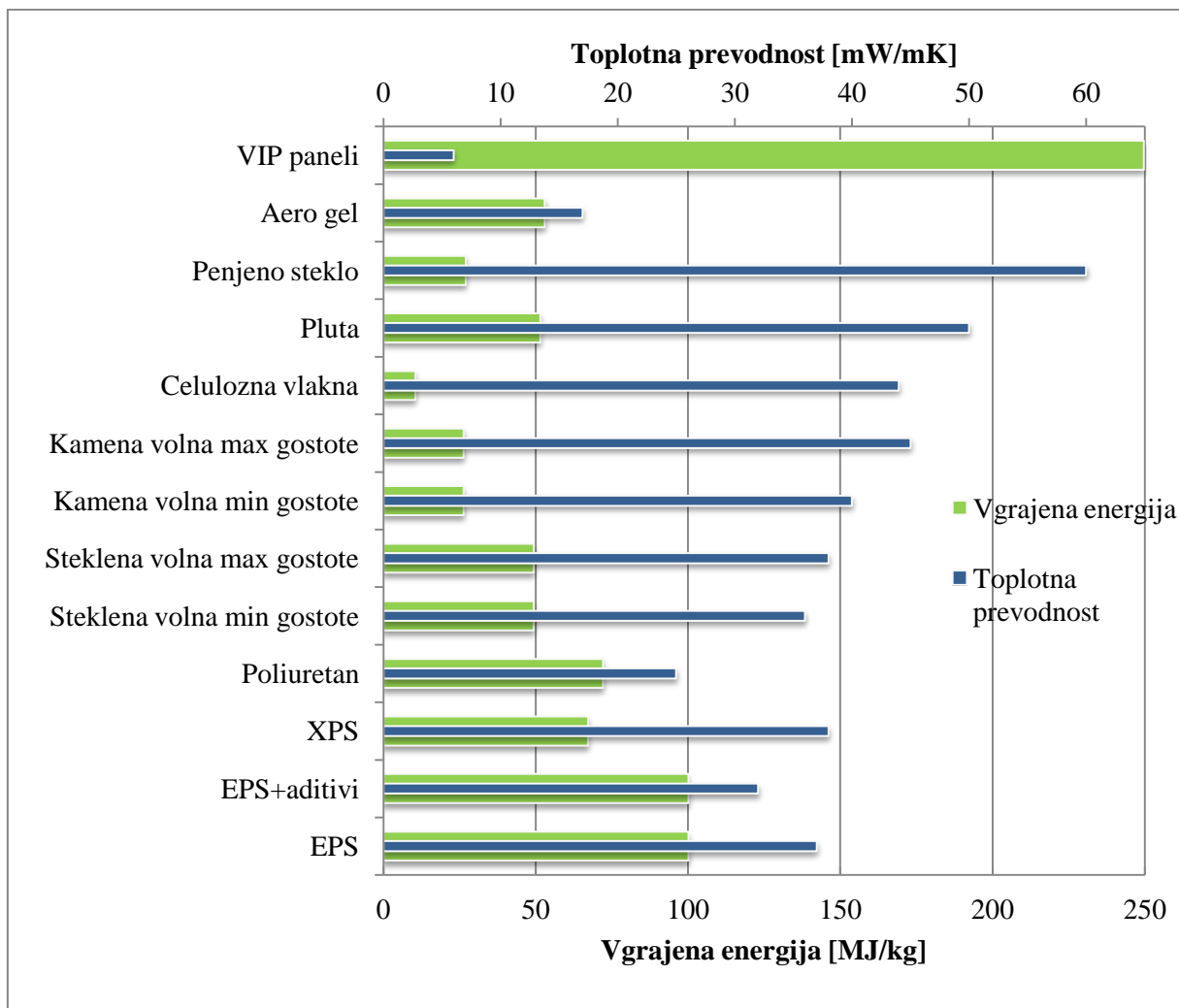
	Gradbeni elementi stavb, ki omejujejo ogrevane prostore	U_{max} [W/(m ² K)]
1	Zunanje stene in stene proti neogrevanim prostorom	0,28
2	Tla na terenu in tla nad neogrevano kletjo, neogrevanim prostorom ali garažo pri talnem ogrevanju	0,30
3	Strop proti neogrevanemu prostoru, stropi v sestavi ravnih ali poševnih streh	0,20
4	Terase manjše velikosti, ki skupaj ne presegajo 5 % površine strehe	0,60

7 REZULTATI ANALIZE

S Slike 11 je razvidno, da po večini prevladujeta dva ekstrema, in sicer velika toplotna prevodnost ter visoka vrednost vsebovane energije: vakuumskoizolacijski paneli, ki imajo veliko količino vsebovane energije in hkrati majhno toplotno prevodnost, ter penjeno steklo in pluta, ki imata relativno visoko vrednost toplotne prevodnosti. Čim višja je toplotna prevodnost in hkrati visoka vrednost vsebovane energije materiala, tem večja je vrednost vsebovane energije na enoto površine toplotnega ovoja za isti toplotni učinek.

Potemtakem bi lahko sklepali, da materiali, ki imajo relativno visoko vrednost vsebovane energije in hkrati veliko toplotno prevodnost, z energijskega vidika niso primerni za namestitev v toplotni ovoj. Zaradi visoke toplotne prevodnosti materiala je treba za enako stopnjo izoliranosti konstrukcijskega sklopa namestiti večjo debelino izolacije. To pa skupno pomeni še večjo vsebovano energijo. Ti proizvodi so penjeno steklo, pluta, kamena volna večje gostote in steklena volna večje gostote. Vendar pa moramo za natančno analizo upoštevati še samo gostoto materiala.

Materiali, ki imajo zelo majhno vrednost vsebovane energije, so z energijskega vidika zelo primerni za toplotni ovoj, kljub nekaterim visokim vrednostim toplotne prevodnosti. Na Sliki 11 najbolj izstopata penjeno steklo in vakuumskoizolacijski paneli (VIP). Za penjeno steklo, ki ima visoko vrednost toplotne prevodnosti in razmeroma majhno vsebnost vsebovane energije, ne moremo trditi, da gre za energijsko potraten material. Medtem pa lahko zagotovo trdimo, da so vakuumski paneli energijsko zelo potratni, vendar pa imajo absolutno najmanjšo vrednost toplotne prevodnosti.

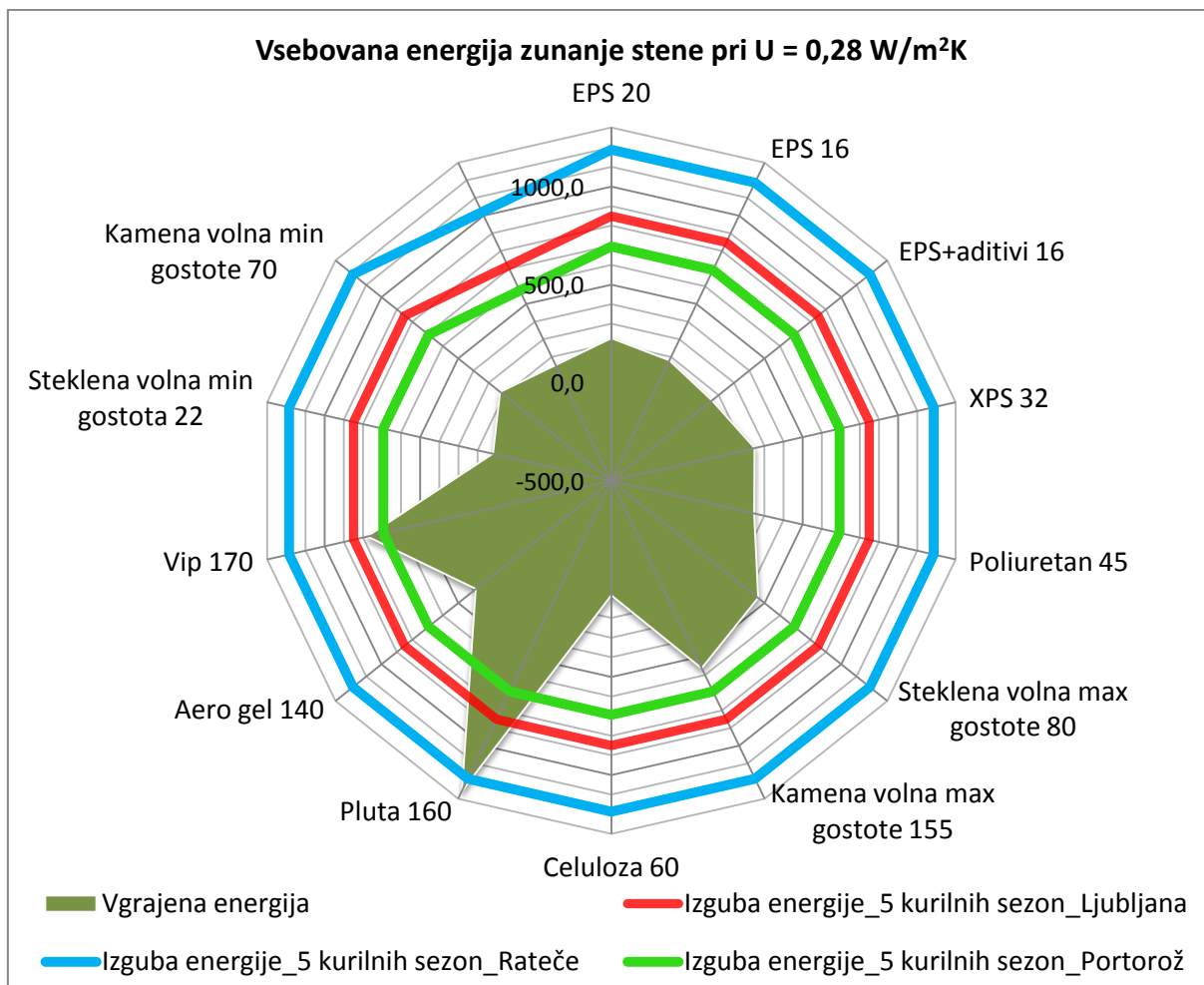


Slika 11: Razmerje med toplotno prevodnostjo materialov in pripadajočo količino vsebovane energije

7.1 Interpretacija rezultatov konstrukcijskih sklopov

7.1.1 Zunanja stena

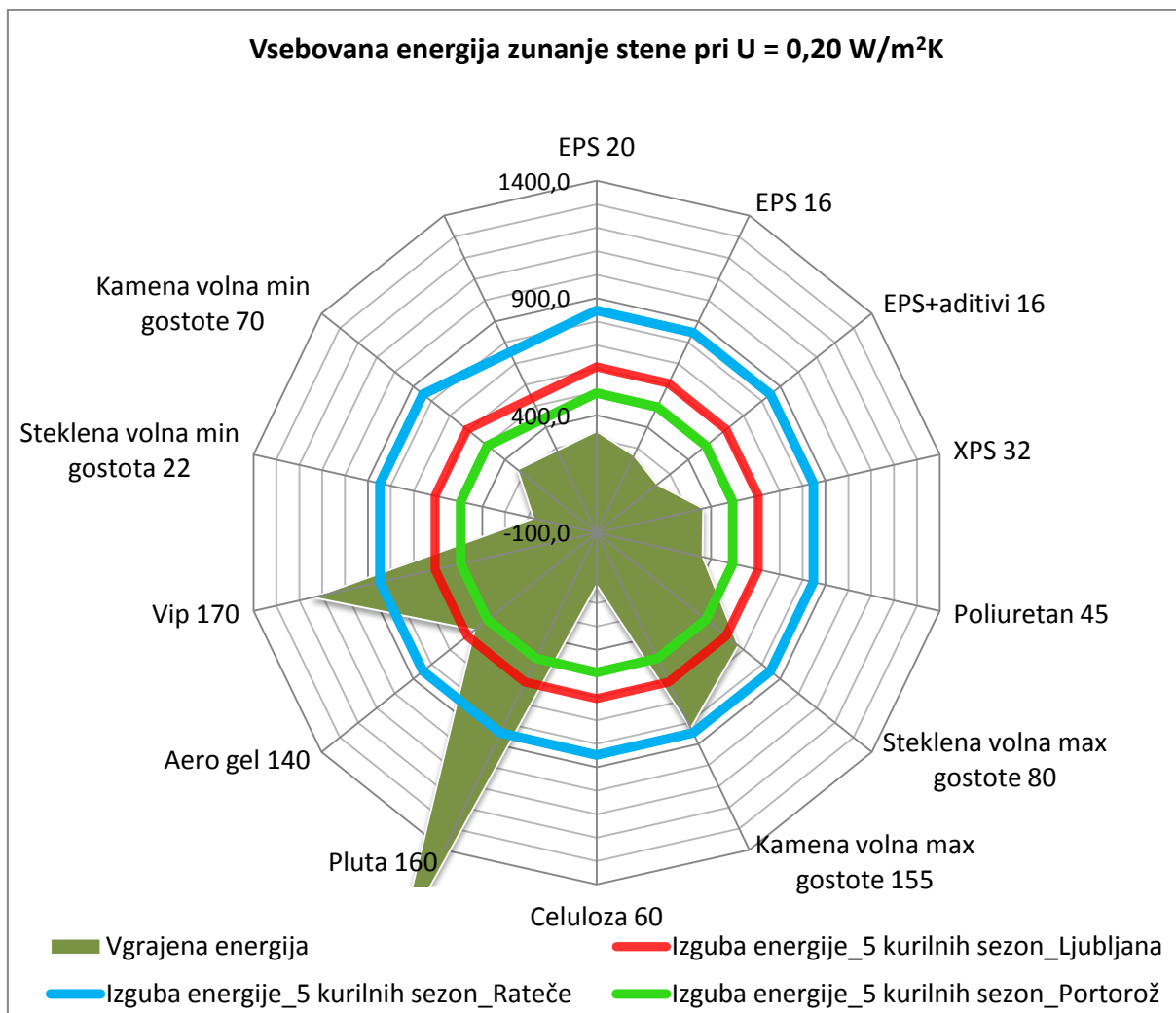
Za zunanjo steno oziroma steno proti neogrevanemu prostoru smo najprej določili potrebno računsko debelino izolacije, da smo zadostili predpisanemu pogoju $U = 0,28 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Nato pa smo ta pogoj zaostriili na $U = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ in $U = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ter analizirali, pri kateri vrednosti toplotne prehodnosti dobimo razmerje energij v skladu z osnovno predpostavko.



Slika 12: Vsebovana energija toplotnoizolacijskih materialov konstrukcijskega sklopa zunanje stene pri $U = 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$

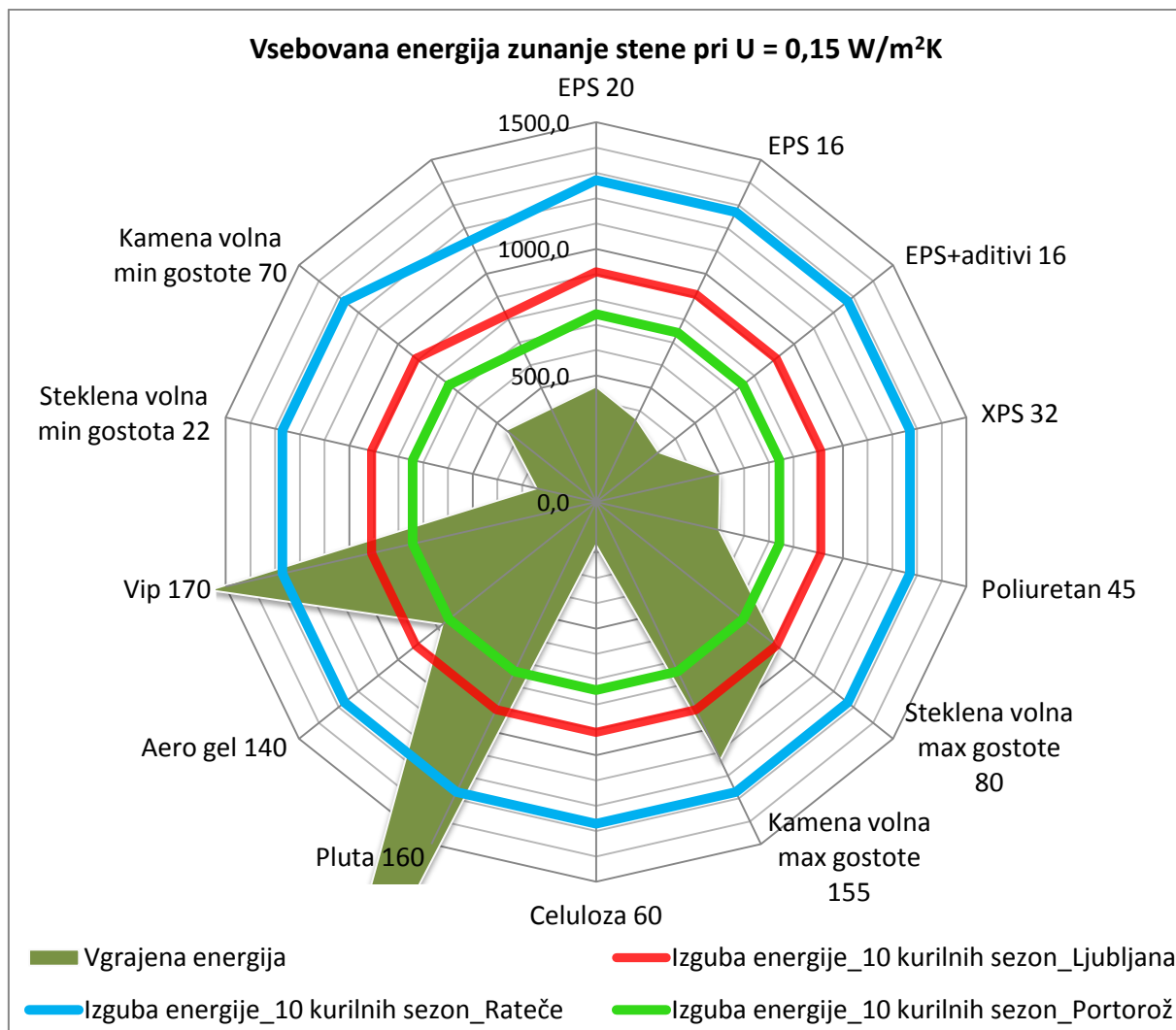
S Slike 12 so razvidne krivulje vsebovane energije različnih proizvodov. Tako lahko opazimo, da imajo vsi gradbeni proizvodi, ki so splošno uporabljeni v gradbeništvo (glej Preglednico 2), enako vrednost vsebovane energije, ki v obdobju petih let preide iz konstrukcijskega sklopa. Lahko bi rekli, da v primeru toplotnega ovoja stene lahko uporabimo poljuben proizvod, a je treba razmisliti, da je amortizacijska doba kontaktnoizolacijskih fasad 30 let. Razvidno je tudi, kolikšen je prehod toplote v treh različnih krajih po Sloveniji. Zato smo v naslednjem koraku (Slika 13) toplotno prehodnost zaostriili na $U = 0,20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ter s tem zmanjšali prehod toplote skozi element stavbe, vendar povečali vrednost vsebovane energije. Prišli smo do približno identičnih rezultatov razmerja kot v prejšnjem koraku. Le pri vakuumskoizolacijskih panelih večje gostote in pluti so razvidna odstopanja. Tako lahko zaključimo, da pluto kot izolacijski material energetsko ni smiselno vgrajevati v toplotni ovoj stene, vakuumskoizolacijske panele pa je smiselno vgrajevati le na področju Rateč.

Če zunanjo steno izoliramo, kot zahteva veljavni predpis (PURES), se za vse razširjene toplotnoizolacijske materiale povrne vsebovana energija prej kot v petih letih.



Slika 13: Vsebovana energija toplotnoizolacijskih materialov konstrukcijskega sklopa zunanje stene pri $U = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$

V tretjem koraku (Slika 14) smo toplotno prehodnost še bolj zaostri, in sicer na $U = 0,15 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Pri energetsko potratnih izolacijskih materialih je prišlo še do večjih odstopanj kot v prejšnjih dveh korakih, samo razmerje med vsebovano energijo in energijo, ki preide skozi element stavbe, pa ostane enako. Kamena in steklena volna večje gostote sta v analizi upoštevani predvsem zaradi lažje predstave, koliko je pomembna gostota materialov pri vsebovani energiji. V toplotni ovoj stene namreč ni smiselno vgrajevati kamene in steklene volne večje gostote. S Slike 14 je razvidno tudi, da v desetih letih skozi ovoj stavbe preide približno enaka količina energije, kot je vsebovane energije. Iz tega lahko zaključimo, da v amortizacijski dobi trideset let vsebovana energija elementa predstavlja ravno eno tretjino celotne porabljene energije. Tudi v tem koraku lahko potrdimo, da plute kot izolacijskega materiala ni smiselno vgrajevati v toplotni ovoj, vakuumskoizolacijske panele pa le na področju Rateč, vendar pod posebnimi pogoji (ko ni druge izbire).



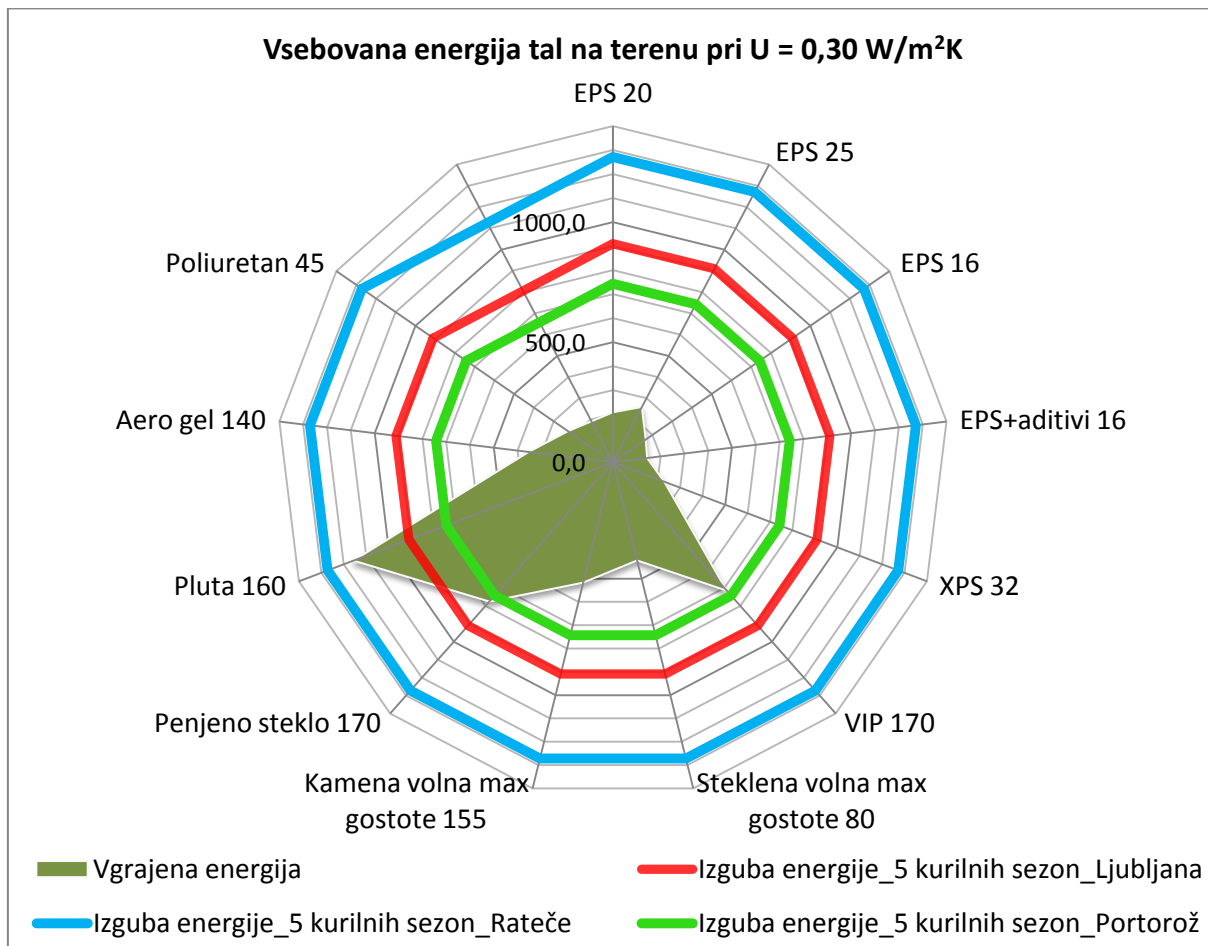
Slika 14: Vsebovana energija toplotnoizolacijskih materialov konstrukcijskega sklopa zunanje stene pri $U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$

7.1.2 Tla na terenu

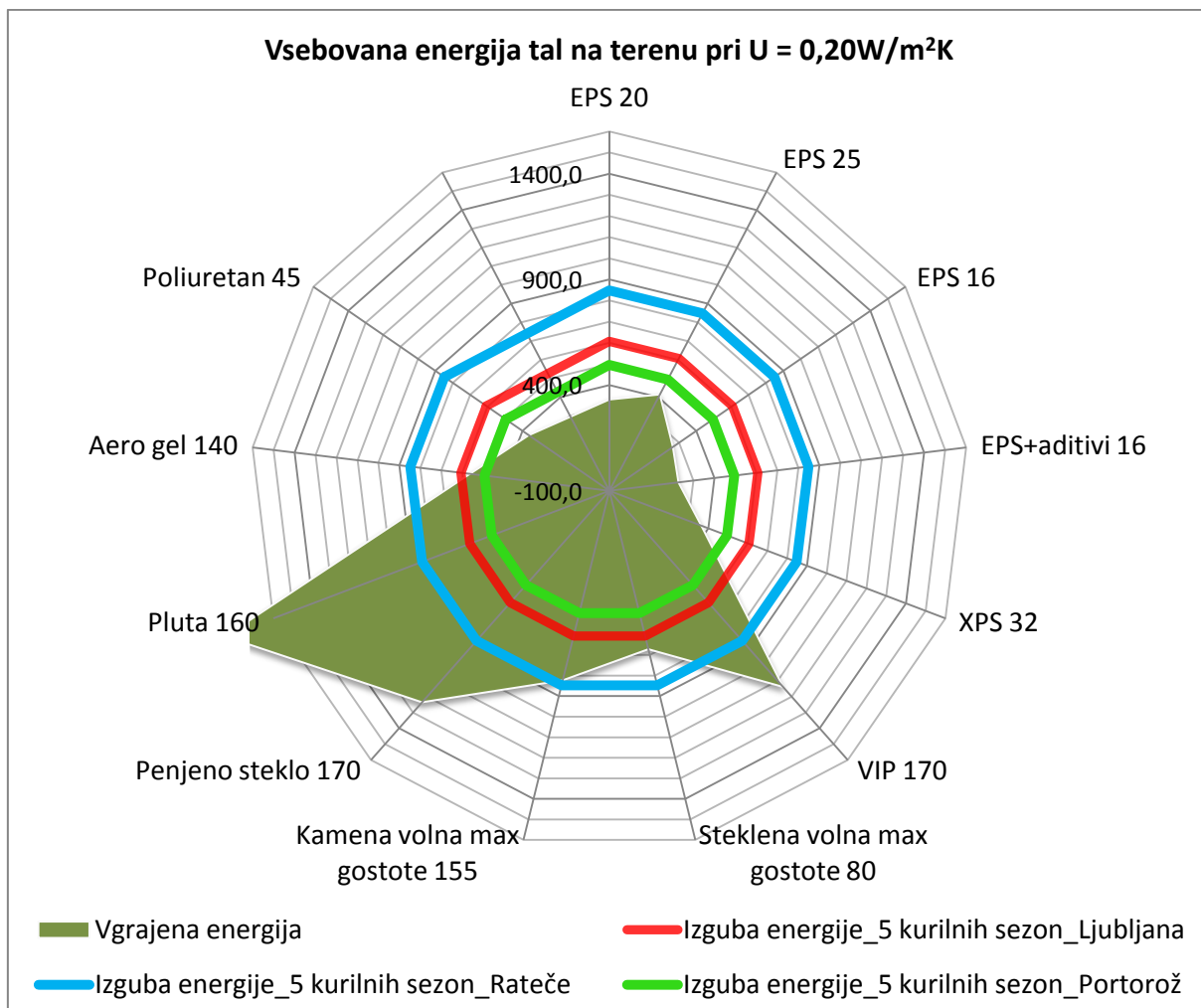
Za tla na terenu oziroma tla proti neogrevani kleti smo določili potrebno računsko debelino izolacije, da smo zadostili predpisanemu pogoju $U = 0,30 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Nato pa smo ta pogoj zaostрили tako kot pri steni, na $U = 0,20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ in $U = 0,15 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, ter analizirali, pri kateri toplotni prehodnosti se nam pojavi predpostavljeno razmerje energij.

S Slike 15 je razvidno, da je v časovni dobi petih let razmerje med vsebovano energijo in porabljeno energijo za vse izolacijske materiale enako. Odstopanja se ponovno kažejo pri pluti. V naslednjem koraku (Slika 16) smo toplotno prehodnost zaostрили na $U = 0,20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, kjer lahko opazimo, da se vsebovana energija skokovito poveča, vendar pa je petletna opazovana doba prekratko obdobje, da bi lahko potrdili prikazane rezultate. Zato smo v tretjem koraku (Slika 17) toplotno prehodnost zaostрили

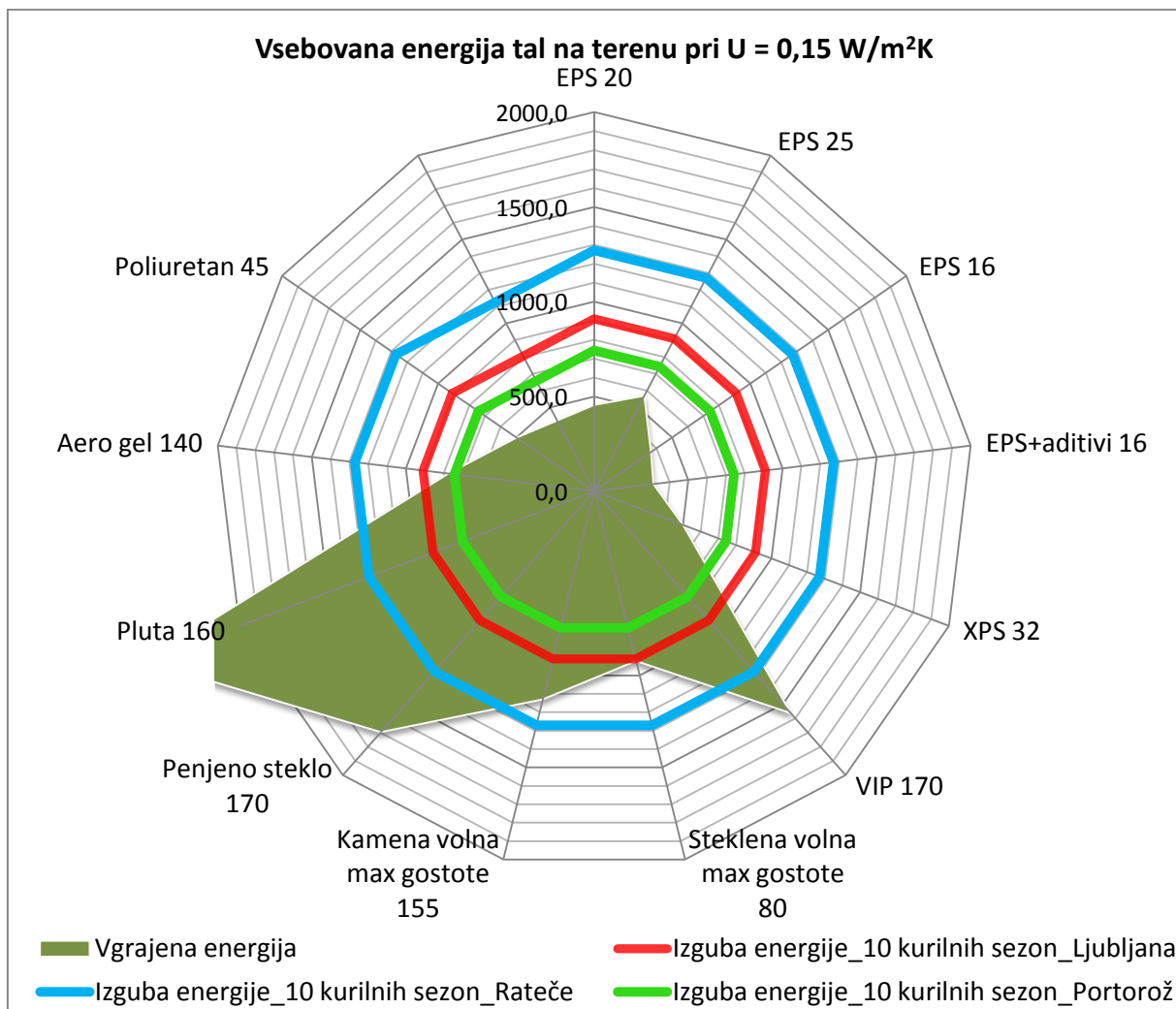
še na $U = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Kot smo ugotovili že v prejšnjih korakih, tudi tu nastopajo velika odstopanja pri energetsko potratnih izolacijskih materialih, razmerje med vsebovano in porabljeno energijo v dobi desetih let pa je enako kot v prejšnjem koraku.



Slika 15: Vsebovana energija toplotnoizolacijskih materialov konstrukcijskega sklopa tla na terenu pri $U = 0,30 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$



Slika 16: Vsebovana energija toplotnoizolacijskih materialov konstrukcijskega sklopa tla na terenu pri $U = 0,20\text{ W/m}^2\text{K}$



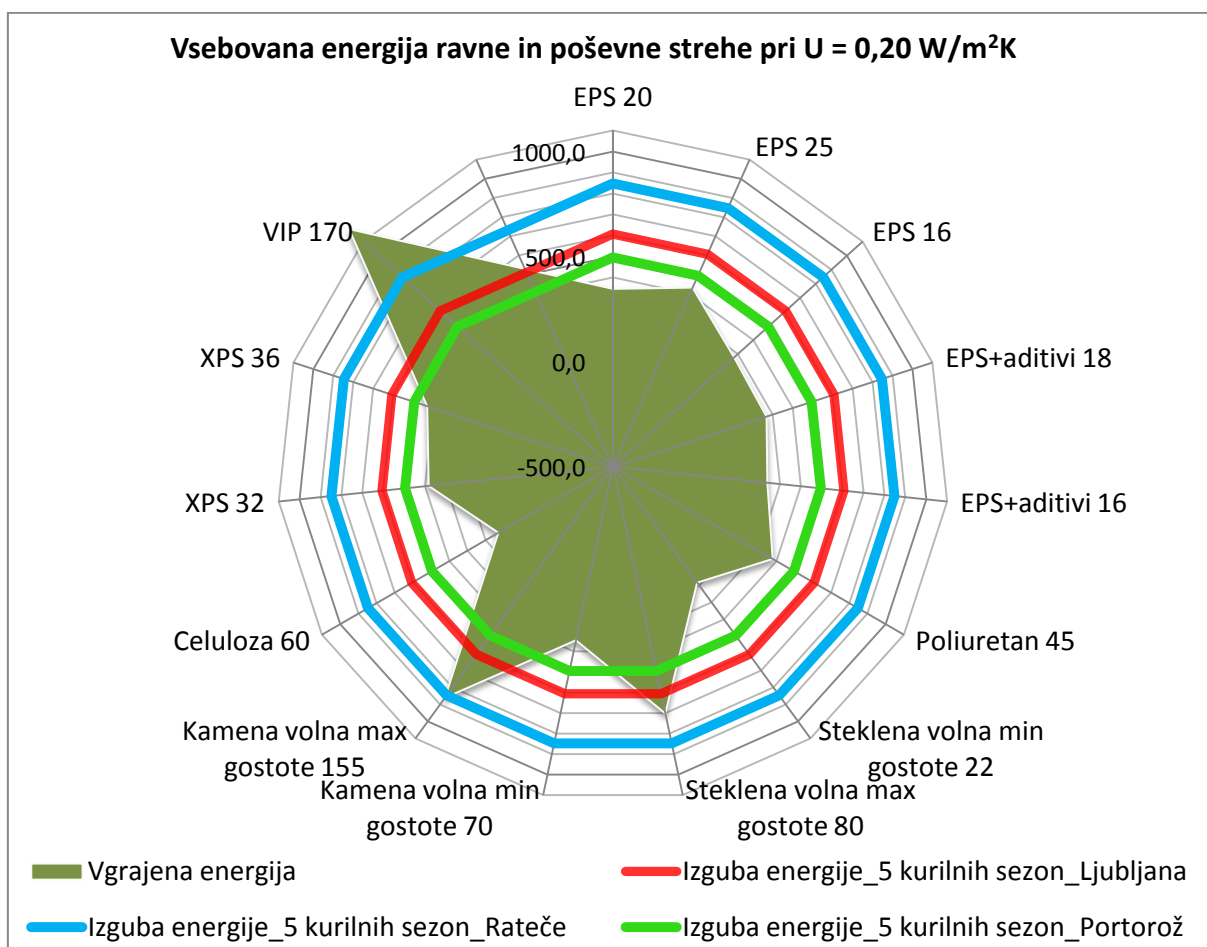
Slika 17: Vsebovana energija toplotnoizolacijskih materialov konstrukcijskega sklopa tla na terenu pri $U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$

S Slike 17 je razvidno, da v desetih letih skozi ovoj stavbe preide približno enaka količina energije kot je vsebovane energije. Pri pluti so vidna ogromna odstopanja in tudi tu lahko zaključimo, da material z energetskega stališča ni primeren. Vakuumskoizolacijske plošče in penjeno steklo so energetske smiselni le na področju Rateč, medtem ko so vsi drugi proizvodi sprejemljivi po celotni regiji. Tudi tu lahko potrdimo, da je v amortizacijski dobi trideset let vsebovana energija elementa predstavlja ravno eno tretjino celotne porabljene energije.

7.1.3 Ravna in poševna streha

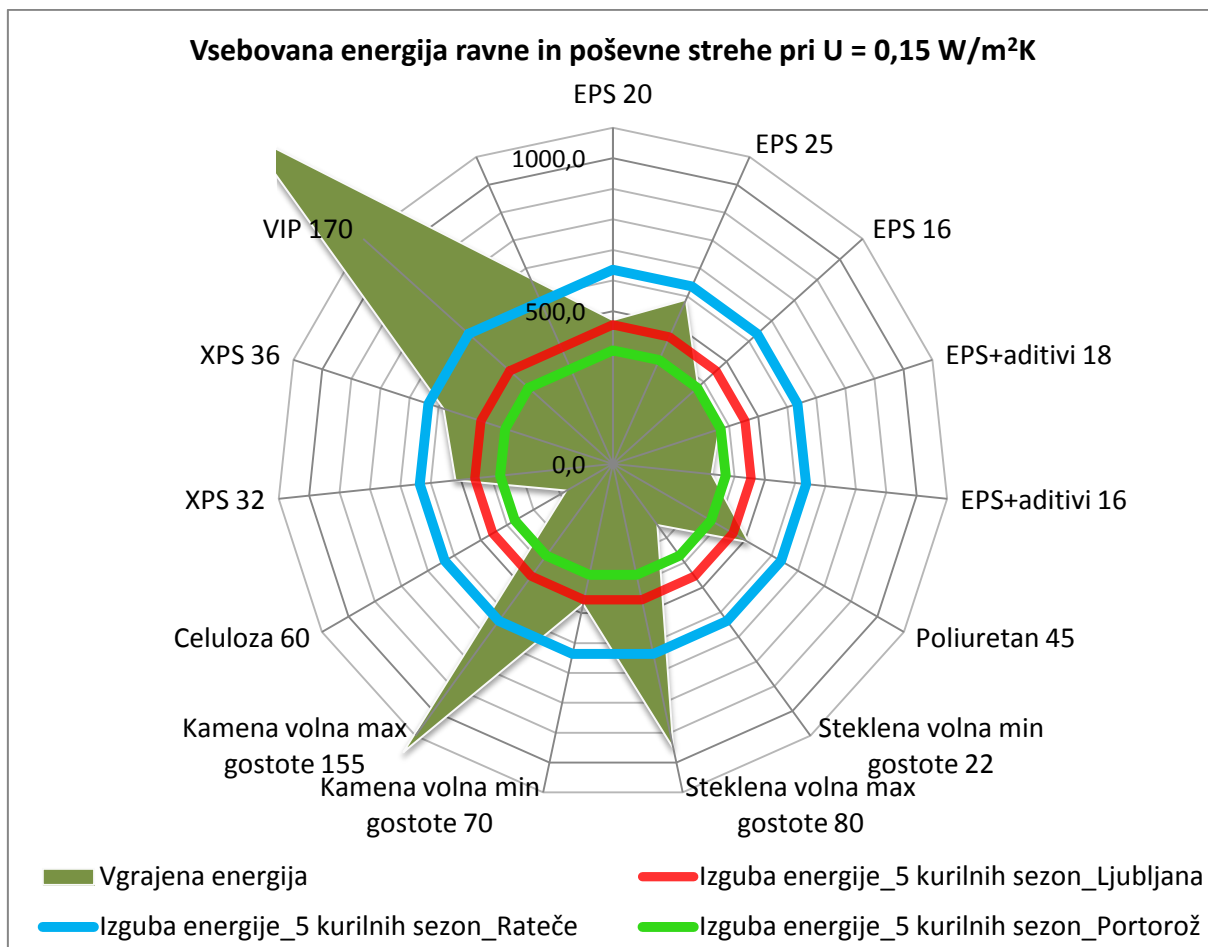
Za strop proti neogrevanemu prostoru oziroma strop v sestavi ravnih ali poševnih streh smo določili računsko debelino izolacije tako, da zadostimo pogoju $U = 0,20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Nato pa smo ta pogoj zaostriili še bolj kot pri steni in tleh na terenu, in sicer na $U = 0,15 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ in $U = 0,10 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, ter

tudi tu analizirali, pri kateri vrednosti toplotne prehodnosti dobimo razmerje energij v skladu s predpostavko.



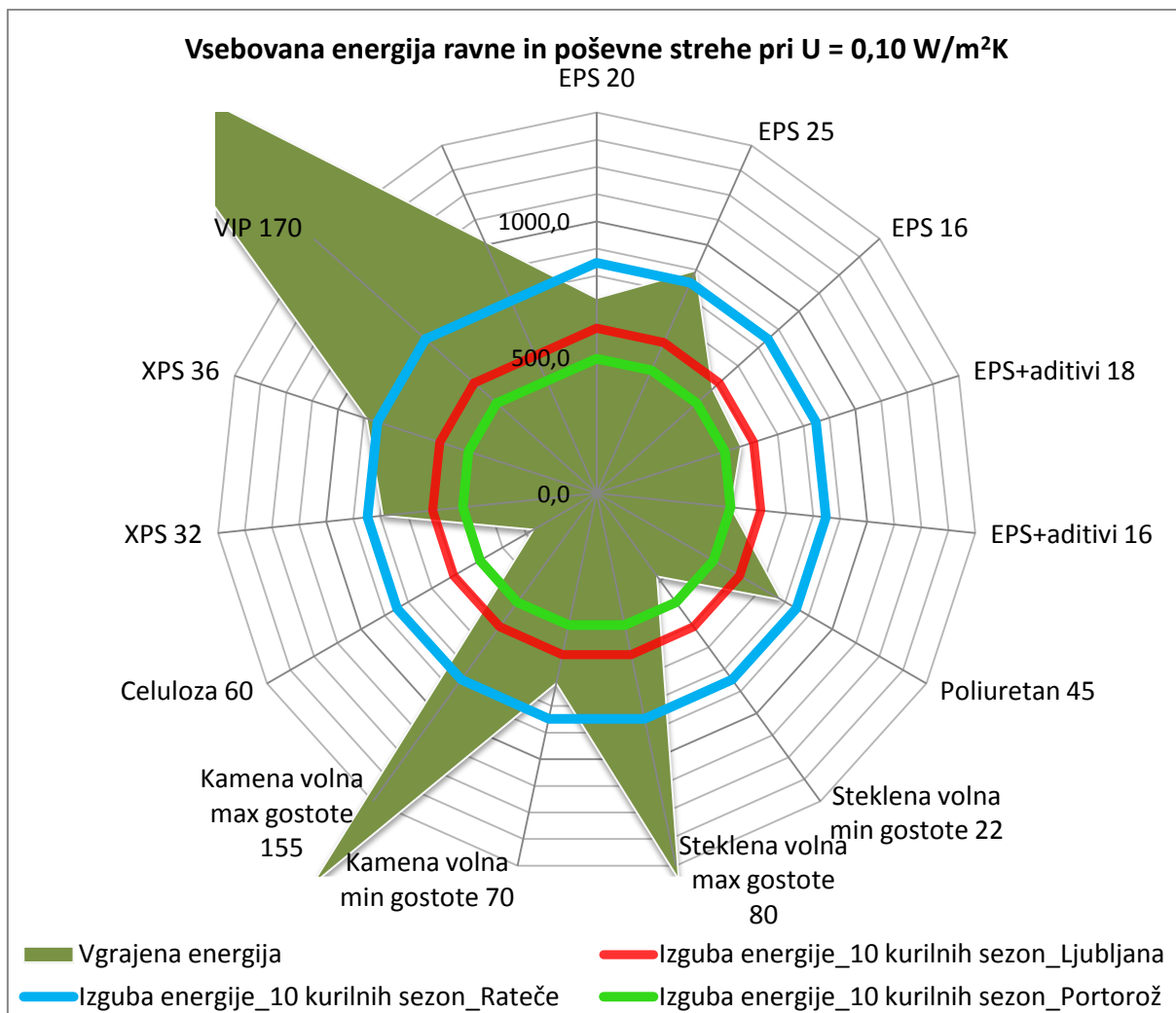
Slika 18: Vsebovana energija toplotnoizolacijskih materialov konstrukcijskega sklopa ravne in poševne strehe pri $U = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$

Slika 18 kaže, da je v Ljubljani razmerje vsebovane energije in energije, ki je porabljena v dobi petih let, približno enako za vse proizvode. Odstopanja se kažejo le pri vakuumskoizolacijskih ploščah. V drugem koraku (Slika 19) smo toplotno prehodnost zaostri na $U = 0,15 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, vendar smo prišli do enakega zaključka kot v prejšnjih analizah. Razmerje med vsebovano in porabljeno energijo je enako, večja odstopanja nastanejo le pri energetsko potratnih izolacijskih materialih.



Slika 19: Vsebovana energija toplotnoizolacijskih materialov konstrukcijskega sklopa ravne in poševne strehe pri $U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$

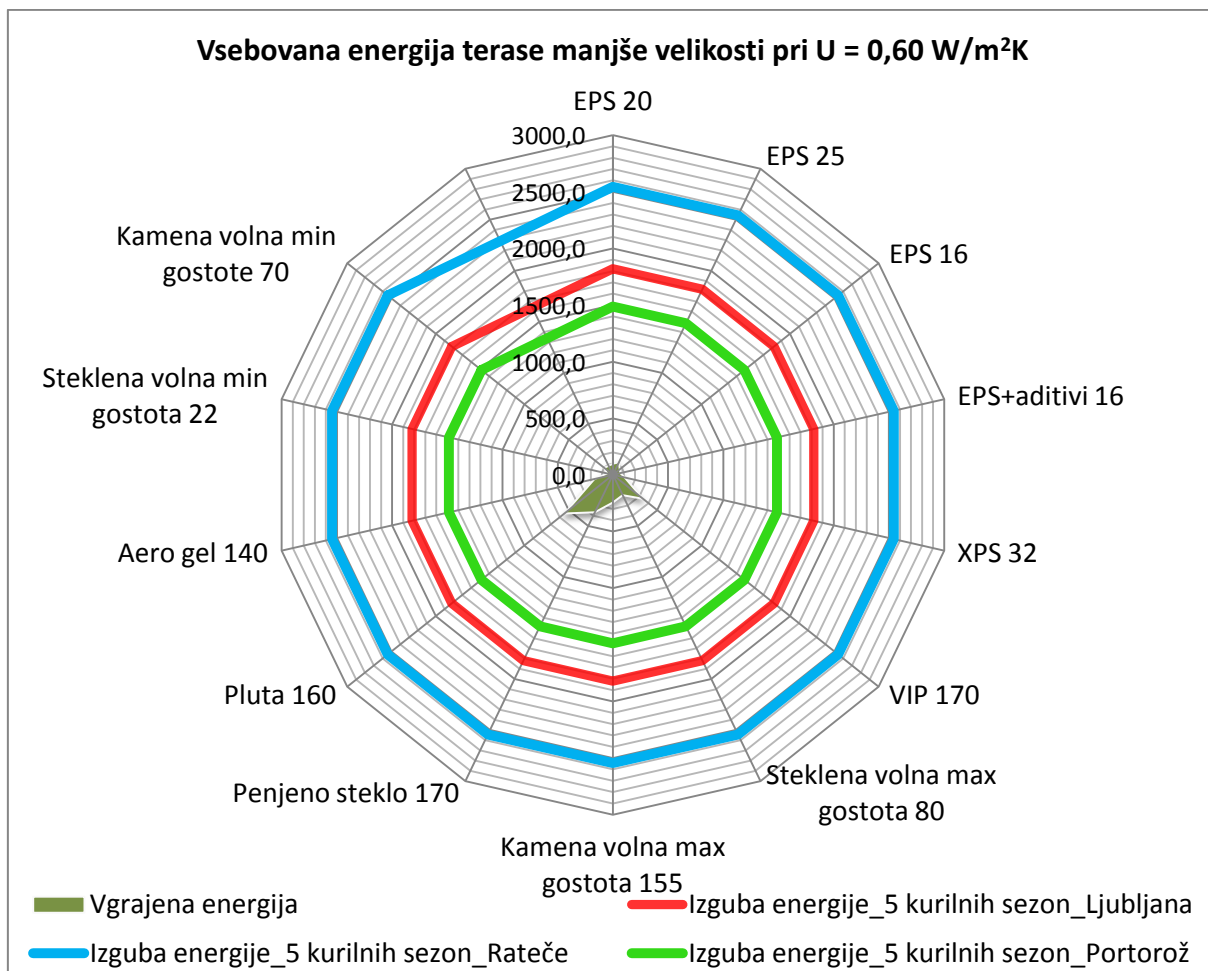
Do oprijemljivih rezultatov smo prišli šele, ko smo toplotno prehodnost zaostriili na $U = 0,10 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, kar je razvidno s Slike 20. Ugotovili smo, da šele pri tej toplotni prehodnosti vsebovana energija predstavlja tretjino vse porabljene energije v amortizacijski dobi trideset let. Odstopanja nastanejo le pri kameni volni gostote 155 kg/m^3 in stekleni volni gostote 80 kg/m^3 . Ti dve izolaciji je energetske smiselno vgrajevati le na področju Rateč, medtem ko v drugih milejših področjih Slovenije le pod določenimi pogoji. Za vakuumskoizolacijske plošče se je izkazalo, da jih s stališča energetskega razmerja ni smiselno vgrajevati v toplotni ovoj.



Slika 20: Vsebovana energija toplotnoizolacijskih materialov konstrukcijskega sklopa ravne in poševne strehe pri $U = 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$

7.1.4 Terasa manjše velikosti

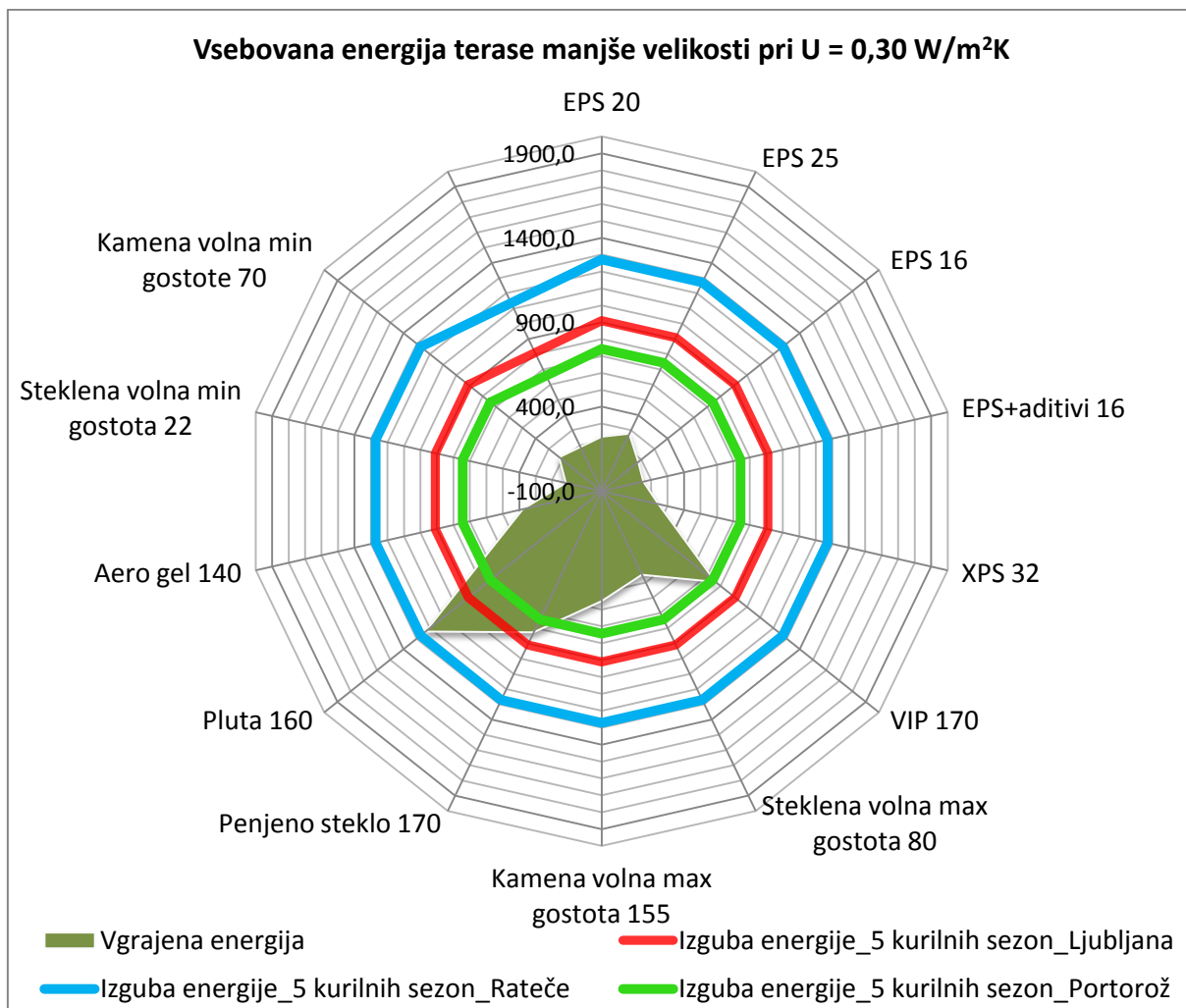
Za teraso manjše velikosti, ki skupaj ne presega 5 % površine strehe, smo določili računsko debelino izolacije, da zadostimo pogoju $U = 0,60 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Nato pa smo ta pogoj zaostri še bolj kot pri tleh na terenu, in sicer na $U = 0,30 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ in $U = 0,20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, ter analizirali, pri kateri toplotni prehodnosti dobimo razmerje ena tretjina vsebovane energije v primerjavi s porabljeno energijo.



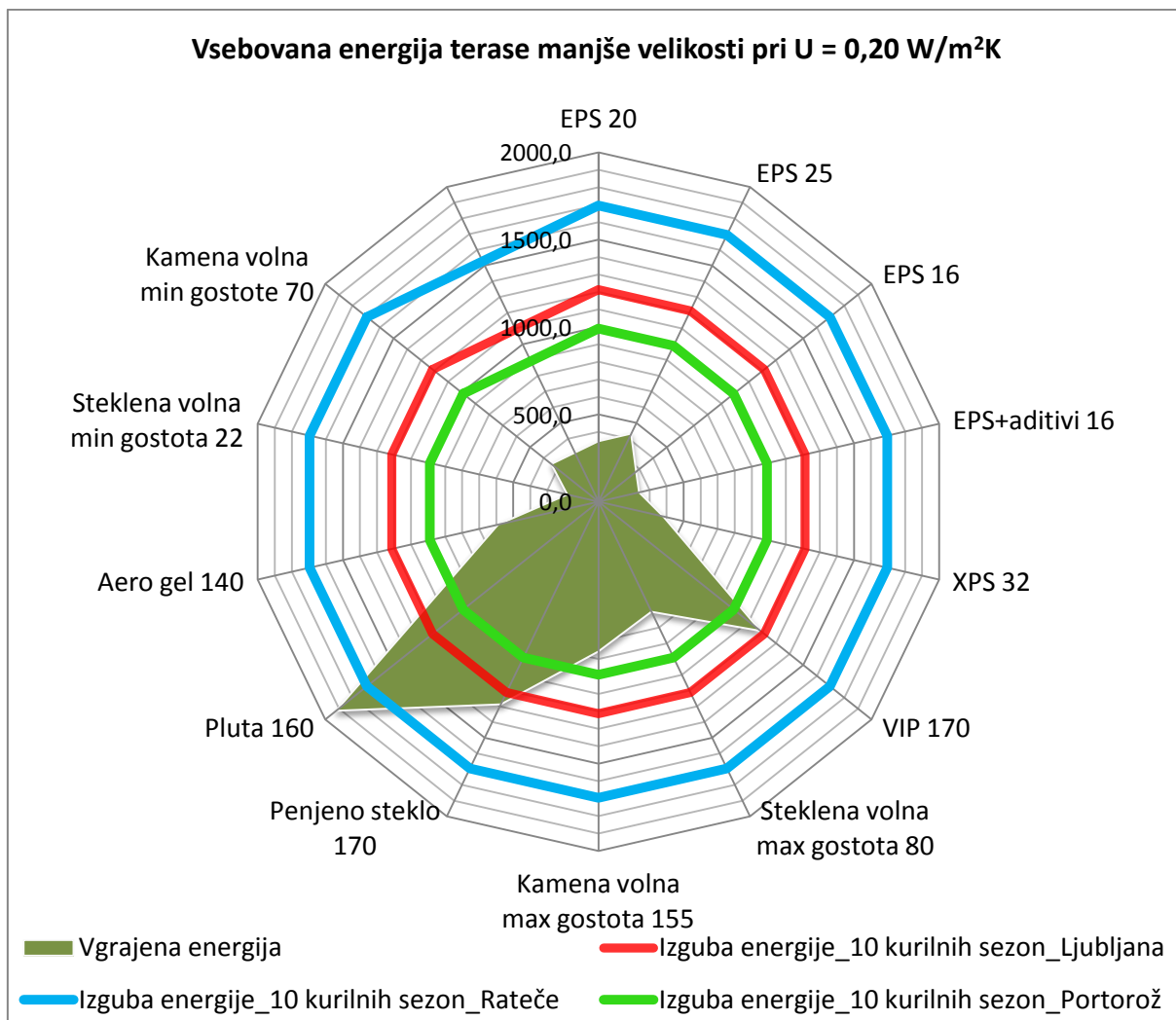
Slika 21: Vsebovana energija toplotnoizolacijskih materialov konstrukcijskega sklopa terase manjše velikosti pri $U = 0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$

Ko smo definirali toplotno prehodnost $U = 0,60 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, smo v primerjavi z drugimi elementi stavbe dobili relativno zelo majhne debeline izolacije. To razmerje je razvidno s Slike 21, kjer je v absolutnem smislu poraba energije v petih letih precej večja od vsebovane energije posameznih izolacijskih materialov. Ogromno absolutno odstopanje je v agresivni klimatski coni v Ratečah, kjer bi bilo treba razmisliti o zaostritvi toplotne prehodnosti. Če za primer navedemo Rateče, kjer v petih letih izgubimo 2500 MJ energije, bi to v tridesetih letih nanese 15000 MJ porabljene energije. V tretjem koraku (Slika 23), ko smo toplotno prehodnost zaostri na $U = 0,20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, je bila poraba energije v desetih letih manjša (1800 MJ) kot pa v petih letih (2500 MJ), ko je toplotna prehodnost definirana bolj skopo.

V drugem koraku (Slika 22) smo toplotno prehodnost zaostri na $U = 0,30 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ in dobili identične rezultate kot v vseh prejšnjih analizah. Razmerje je namreč ponovno odvisno le od toplotnih karakteristik materiala. Vendar pa je ravnanje z energijo mnogo boljše na dolgi rok, kot pa je to predpisano v zakonu.



Slika 22: Vsebovana energija toplotnoizolacijskih materialov konstrukcijskega sklopa terase manjše velikosti pri $U = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$



Slika 23: Vsebovana energija toplotnoizolacijskih materialov konstrukcijskega sklopa terase manjše velikosti pri $U = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$

V tretjem koraku smo toplotno prehodnost zaostri na $U = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ in šele tu lahko govorimo o smiselnosti vsebovane energije. Ponovno se namreč izkaže, da je pluta kot izolacijski material smiselna le na področju Rateč, če gledamo razmerje tretjino vsebovane energije v primerjavi s porabljeno energijo v tridesetih letih. Vsi drugi proizvodi so energetsko sprejemljivi za izvedbo toplotnega ovoja terase manjše velikosti.

7.2 Sklep izračunov

Količina vsebovane energije v posameznih proizvodih je odvisna od vrste konstrukcijskega sklopa ter definicije toplotne prehodnosti elementa stavbe. Treba je poudariti, da so bili v tej analizi izvzeti vsi drugi parametri, ki vplivajo na energetsko bilanco (lokacija, osončenost itd.).

Z analizo smo želeli odgovoriti na vprašanje, ali je v amortizacijski dobi trideset let z namenom varčevanja energije v stavbi smiselno vgrajevati proizvode, ki vsebujejo veliko energije. V primeru vakuumskoizolacijskih plošč smo ugotovili, da jih je kljub relativno visoki vsebnosti vsebovane

energije smiselno uporabiti za toplotni ovoj na področju ostrejšje klime. Izkazalo se je tudi, da pluta kot izolacijski material s stališča razmerja energij ni primerna za izdelavo toplotnega ovoja, saj v nobenem primeru ne doseže razmra iz osnovne predpostavke oziroma se komajda povrne v tridesetih letih.

Med organskimi materiali so se najbolje izkazali ekspandiran polistiren (EPS), ekspandiran polistiren z dodanimi aditivi, ekstrudiran polistiren (XPS), poliuretanska pena in celulozna vlakna. Slednja so se izkazala za najboljša. Ti proizvodi imajo sami po sebi zelo nizko gostoto in s tem primerno nizko toplotno prevodnost. Najslabše se je izkazala pluta. Na splošno so se ti proizvodi izkazali za optimalno izbiro toplotne izolacije, saj so v vseh primerih znotraj označenih območij.

Izmed anorganskih materialov sta bili najboljši steklena in kamena volna manjše gostote, medtem ko so volne večje gostote energetsko bolj potratne, vendar jih je še vedno smiselno vgrajevati v toplotni ovoj. Slabši material s stališča energije je penjeno steklo, vendar pa ima ta material kopico drugih pozitivnih lastnosti in ga je zato smiselno uporabiti pod določenimi pogoji (velika tlačna odpornost, izjemna odpornost na vlago in difuzijsko paro).

Med novejšimi proizvodi se je za najboljši izolacijski material izkazal aerogel, ki se s stališča vsebovane energije lahko primerja s celulozno izolacijo. Aerogel kot izolacijski material predstavlja boljšo izbiro kot celulozna vlakna, saj ga za enak učinek porabimo polovico manj. Vakuumskoizolacijski paneli so se izkazali nekoliko slabše, saj jih je upravičeno uporabiti le pod določenimi pogoji. Ugotovili smo tudi, da vakuumskoizolacijske plošče energetsko ni smiselno vgrajevati v konstrukcijski sklop streha (poševna in ravna streha oz. terasa). Edina pozitivna lastnost je izredno majhna toplotna prevodnost in s tem povezana izjemno majhna debelina izolacije za isti učinek toplotne izolativnosti.

Najbolj izstopajoči so bili rezultati konstrukcijskega sklopa terasa manjše velikosti, ki skupaj ne presega 5 % površine strehe, kjer je dovoljena izjemno visoka toplotna prehodnost. Če namreč sledimo definiciji po zastavljeni osnovni predpostavki o tretjini vsebovane energije v primerjavi s porabljeno energijo v tridesetih letih, lahko hitro ugotovimo, da bi bilo potrebno toplotno prehodnost močno zaostriti. Ugotovili smo, da bi morala biti toplotna prehodnost vsaj reda velikosti $U = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, pri čemer smo prvotni faktor $U = 0,60 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ zmanjšali za trikrat. Pri drugih konstrukcijskih sklopih smo ta faktor zmanjšali samo za polovico.

8 ZAKLJUČEK

Individualne stavbe oziroma enodružinske hiše ter večstanovanjski objekti, ki so se gradili v obdobju šestdesetih, sedemdesetih in osemdesetih letih prejšnjega stoletja, predstavljajo znaten delež stanovanjskega fonda v Sloveniji. Znano je tudi, da se v takratnem obdobju gradnje ni posvečalo posebne pozornosti v toplotno zaščito stavbe in jih je zato velika večina energetsko potratnih in potrebne prenove, ker je treba slediti Evropski zakonodaji o učinkoviti rabi energije. Največji delež energije gre v slovenskih gospodinjstvih na račun ogrevanja, ki znaša kar 60 % celotne porabe energije (Raziskava REUS, 2013).

Kljub porastu energetskih obnov je v Sloveniji še vedno več kot polovica individualnih in večstanovanjskih objektov energetsko potratnih, ravno na račun ogrevanja bivalnih prostorov. V preteklih letih je bilo v Sloveniji izvedenih veliko raziskav na temo ekonomične debeline toplotnoizolacijskih slojev, pogrešamo pa analize smiselnosti vgrajevanja toplotnoizolacijskih materialov, ki so energetsko potratne zaradi same izdelave, kot končni proizvod pa so lahko cenovno ugodne.

V analizi smo privzeli referenčni objekt, lociran v treh različnih klimatskih conah v Sloveniji, in sicer v Ljubljani, Portorožu in Ratečah. Analiziran je bil prehod toplote skozi kvadratni meter posameznih konstrukcijskih sklopov. V izračunu so bile upoštevane največje zakonsko dovoljene vrednosti toplotne prehodnosti, ki so definirane v pravilniku PURES. V nadaljevanju analize pa so bile te vrednosti zaostrene do tolikšne mere, da je razmerje med vsebovano energijo izbranih proizvodov in energijo, ki preide iz stavbe v obdobju amortizacijske dobe trideset let, trikratnik vsebovane energije, kar je bila tudi osnovna predpostavka izračuna. Tako smo prišli do rezultatov, da so vsi anorganski izolacijski materiali z izjemo penjenega stekla in vsi organski izolacijski materiali z izjemo plute primerni za izvedbo toplotnega ovoja stavbe.

S pomočjo analize lahko potrdimo, da pluta kot izolacijski material na dolgi rok oziroma za čas amortizacijske dobe ni primerna v nobenem konstrukcijskem sklopu. Vakuumskoizolacijski paneli, penjeno steklo in kamena volna večje gostote pa le v področju klime, identični Ratečam, in še to pod posebnimi pogoji. Vsi drugi organski in anorganski materiali, katerih gostote se najbolj uporabljene v gradbeništvu, so s stališča energijskih razmerij primerni. Izhajali smo namreč iz osnovne predpostavke, da mora vsebovana energija predstavljati eno tretjino vse porabljene energije med kurilno sezono v dobi trideset let. V ta namen je bilo treba toplotne prehodnosti za vse posamezne sklope zaostri za približno dvakratnik predpisanih vrednosti. Tako lahko navedemo primer konstrukcijskega sklopa tla na terenu, kjer je predpisan $U_{\max} = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$, vendar smo ga morali zaostri za približno dvojno vrednost, in sicer na okrog $U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Do največjega odstopanja je prišlo pri analizi terase manjše velikosti, kjer je največji dovoljen prehod toplote definiran zelo skopo, in sicer $U = 0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$. Izkazalo se je, da so energijske izgube v dobi petih kurilnih sezon znatno večje, kot je vsebovane energije izolacijskih materialov. Ko smo toplotno prehodnost sklopa zaostri na $U = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$, smo dobili znatno manjše energijske izgube. Šele pri toplotni prehodnosti $U = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ smo dobili razmerje energij v skladu z osnovno predpostavko. Torej je bilo treba toplotno prehodnost zmanjšati za trikratnik, medtem ko je bilo treba pri vseh drugih konstrukcijskih sklopih toplotno prehodnost zmanjšati le za polovico, da je bil končni rezultat v skladu z osnovno predpostavko.

Pri sami izbiri toplotne izolacije in drugih konstrukcijskih materialov ter tehnologiji gradnje bi sicer morali upoštevati celovito analizo proizvoda (LCA) oziroma celotnega okoljskega vpliva, izkazanega v enotah CO_2 , in ne samo na podlagi vsebovane energije oziroma na podlagi ekonomske analize.

Strnemo lahko, da so okoljski vplivi v obliki vsebovane energije toplotnoizolacijskih materialov v primerjavi z vsebovano energijo drugih gradbenih materialov, ki so vgrajeni v povprečni stavbi, majhni. Poleg tega je treba poudariti, da zaradi prihrankov energije (drastično zmanjšanje toplotnih izgub) ključno prispevajo k zmanjšanju vplivov stavb na okolje. Zato toplotne izolacije uvrščamo v sam vrh najučinkovitejših naložb za varčevanje z energijo in posredno v zmanjševanje vpliva na okolje (Kunič, Tavzes in Kutnar, 2012).

VIRI

Aspen aerogels. 2014. Embodied Energy and CO₂ Values for Aerogel and Other Insulations. <http://www.pacorinc.com/pdf/Aspen-Pacor-Green-Table.pdf> (Pridobljeno 7. 8. 2014.)

Buchanan, A.H., Honey, B.G. 1994. Energy and carbon dioxide implications of building construction. *Energy and Buildings* 20: 205–217.

Cabeza, L.F., Rincón, L., Vilariño, V., Pérez, G., Castell, A. 2014. Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 29: 394–416.

Crawford, R.H., Treloar, G.J. 2003. Validation of the use of Australian input output data for building embodied energy simulation. V: Eighth International IBPSA Conference, Eindhoven, Netherlands.

Crowther, P. 1999. Design for disassembly to recover embodied energy. V: The 16th Annual Conference on Passive and Low Energy Architecture, Melbourne/ Brisbane/Cairns, Australia.

Debnath, A., Singh, S.V., Singh, Y.P. 1995. Comparative assessment of energy requirements for different types of residential buildings in India. *Energy and Buildings* 23: 141–146.

Dovjak, M., Krainer, A. 2013. A tool for the design of sustainable building concepts. V: Hauser, G. (ur.), Lützkendorf, T. (ur.), Essig, N. (ur.). *Implementing sustainability – barriers and chance*. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag: 967–974.

Ecoinvent centre. 2006. Ecoinvent database. Swiss Centre for Life Cycle Inventories. www.ecoinvent.ch (Pridobljeno 7. 8. 2014.)

Energetska izkaznica. 2013. Gradbeni inštitut ZRMK. http://www.gi-zrmk.eu/?page_id=100 (Pridobljeno 5. 7. 2014.)

Energetska učinkovitost in energetske izkaznice. 2011. <http://www.energetska-ucinkovitost.si/energetska-ucinkovitost-v-stavbah/evropske-direktive/prenos-vslovensko-zakonodajo/> (Pridobljeno 5. 7. 2014.)

Energetska učinkovitost in raba energije v gospodinjstvih. 2013. Agencija Republike Slovenije za okolje. http://kazalci.arso.gov.si/?data=indicator&ind_id=603 (Pridobljeno 30. 7. 2014.)

Gonzalez, M.J., Navarro, J.G. 2006. Assessment of the decrease of CO₂ emissions in the construction field through the selection of materials: practical case studies of three houses of low environmental impact. *Building and Environment* 41, 7: 902–909.

Hammond, G., Jones, C. 2008. Inventory of Carbon and Energy (ICE). Sustainable Energy Research Team, Department of Mechanical Engineering, University of Bath, UK.

<http://www.uea.ac.uk/~e680/energy/NBS-M016/ICE%20Version%201.6a.pdf> (Pridobljeno 5. 8. 2014.)

IBO. 2000. Ökologie der Dämmstoffe. Österreichisches Institut für Baubiologie und ökologie. Donau Universität Krems, Zentrum für Bauen und Umwelt. Dunaj: Springer-Verlag.

Intenzivnost rabe končne energije. 2013. Agencija Republike Slovenije za okolje. http://kazalci.arso.gov.si/?data=indicator&ind_id=608 (Pridobljeno 30. 7. 2014.)

KBOB. 2014. Empfehlung – Ökobilanzdaten im Baubereich. Bundesamt für Bauten und Logistik 2009/1 (BBL). Bern. <http://www.bbl.admin.ch/kbob/00493/00495/> (Pridobljeno 4. 8. 2014.)

Koskela, L. 1992. Application of the new production philosophy to construction. Technical Report 72. California, USA. Stanford University.

Kumar Dixit, M., Fernández-Solís, J.L., Lavy, S., Culp, C. H. 2010. Identification of parameters for embodied energy measurement. *Energy and Buildings* 42: 1238–1247.

Kunič, R., Krainer, A. 2008. Energetska učinkovitost, varovanje okolja in celostno načrtovanje. *Gradbeni vestnik* 57, 6: 146–152.

Kunič, R., Krainer, A. 2009. Ekonomična debelina slojev toplotnih izolacij v kontaktno-izolacijskih fasadah obodnih sten. *Gradbeni vestnik* 58, 12: 306–311.

Kunič, R., Tavzes, Č., Kutnar, A. 2012. Ogljični odtis toplotnoizolacijskih materialov v toplotnem ovoju stavb = Carbon footprint of thermal insulation materials in building envelopes. *Gradbeni vestnik* 61, 9: 206–214.

Kurilna sezona. 2014. Ministrstvo za kmetijstvo in okolje. http://www.mko.gov.si/si/delovna_podrocja/gozdarstvo/navodila_za_pravilno_kurjenje/nasveti_za_pripravo_drv/kurilna_sezona (Pridobljeno 3. 8. 2014.)

Marušič, I. 2014. Celovita obnova toplotnega ovoja večstanovanjske stavbe na obali, v pogledu ekonomike in ogljičnega odtisa. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba I. Marušič).

Miller, A.J. 2001. Embodied energy – a life cycle of transportation energy embodied in construction materials. V: COBRA 2001, Conference Papers, RICS Foundation.

Mudražija, S. 2011. Zakonodajne osnove energetske učinkovitosti stavb. Gradbeni vestnik 60, 8: 223–228.

Odvisnost od uvoza. 2013. Agencija Republike Slovenije za okolje.

http://kazalci.arso.gov.si/?data=indicator&ind_id=498 (Pridobljeno 27. 8. 2014.)

Oka, T., Suzuki, M., Konnya, T. 1993. The estimation of energy consumption and amount of pollutants due to the construction of buildings. Energy and Buildings 19: 303–311.

Papadopoulos, A.M. 2005. State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments. Energy and Buildings 37: 77–86.

Pittsburgh. 2007. Foamglas – Produkteprofile: Foamglas-Platten, Foamglas-Boards. Pittsburgh Corning AG (Schweiz). Rotkreuz. www.foamglas.ch (Pridobljeno 5. 8. 2014.)

Poraba goriv in energije v gospodinjstvih, Slovenija. 2012. Statistični urad Republike Slovenije. http://www.stat.si/novica_prikazi.aspx?id=5803 (Pridobljeno 30. 7. 2014.)

Poraba energije in goriv v gospodinjstvih. 2010. Agencija Republike Slovenije za okolje. http://kazalci.arso.gov.si/?data=indicator&ind_id=350 (Pridobljeno 30. 7. 2014.)

Potrošnja v gospodinjstvih. 2014. Agencija Republike Slovenije za okolje. http://kazalci.arso.gov.si/?data=group&group_id=12 (Pridobljeno 30. 7. 2014.)

Predpisi o toplotnih izgubah stavb. 2002.

<http://gcs.gi-zrmk.si/Svetovanje/Clanki/PDFknjiznjicaAURE/IL2-02.PDF> (Pridobljeno 21. 6. 2014.)

Pullen, S., Holloway, D., Randolph, B., Troy, P. 2006. Energy profiles of selected residential developments in Sydney with special reference to embodied energy. V: Proceedings of the Australian

and New Zealand Architectural Science Association, 40th Annual Conference, "Challenge for architectural science in changing climate", Adelaide, Australia.

Raziskava REUS. 2013. Pozitivna energija. <http://www.pozitivnaenergija.si/raziskava/raziskava-reus/predstavitev-rezultatov> (Pridobljeno 25. 7. 2014.)

Schonhardt, U., Binz, A., Wohler, M., Dott, R. 2003. Ökobilanz eines Vakuum-Isolations-Paneels (VIP). Muttenz, Institut für Energie, Fachhochschule beider Basel.

Schum, H., Beutler, M., Marfels, H. 1994. Bericht über die Untersuchung von Produkten aus künstlichen Mineralfasern (KMF) im Hochbau hinsichtlich ihres Faser-freisetzung-Verhaltens, TÜV Südwest e. V.

Sedlbauer, K., Koenig, N. 1998. Sind Massnahmen zur Verminderung der Risiken durch kuenstliche Mineralfasern erforderlich undwelche Alternativen gibt es? WKS B Heft 42: 33–39.

Sharma, A., Saxena, A., Sethi, M., Shree, V., Varun. 2011. Life cycle assessment of buildings: a review. Renewable & Sustainable Energy Reviews 1: 871–5.

STO. 2006. Technisches Merkblatt: Sto-Polystyrol-Hartschaumplatte EPS 15/20. Sto AG. Niederglatt. www.sto-ag.ch (Pridobljeno 7. 8. 2014.)

Suzuki, M., Oka, T., Okada, K. 1995. The estimation of energy consumption and CO₂ emission due to housing construction in Japan. Energy and Buildings 22: 165–169.

Šijanec-Zavrl, M. 2010. Novi izzivi na področju nizkoenergijske gradnje. Gradbeni inštitut ZRMK. http://www.ditles.si/Files/DOM_10/6_Novi%20izzivi_Marjana%20Sijanec.pdf (Pridobljeno 28. 6. 2014.)

Šijanec-Zavrl, M., Butala, V., Galonja, S., Kaplar, J., Kunič, R., Medved, S., Potočar, E., Praznik, M., Prek, M., Selan, B., Tomšič, M., Zupan, M., Koporčič, D. 2012. Energetska učinkovitost in energetska izkaznica stavb – priročnik. Maribor, Založba Forum Media.

Tehnična smernica TSG-1-004:2010. 2013. Učinkovita raba energije. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor.

http://www.arhiv.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/zakonodaja/prostor/graditev/TSG-01-004_2010.pdf (Pridobljeno 15. 8. 2014.)

Toplotnoizolacijski materiali. 2003. <http://gcs.gi-zrmk.si/Svetovanje/Clanki/PDFknjiznjicaAURE/IL2-03.PDF> (Pridobljeno 21. 6. 2014.)

Treloar, G.J., Love, P.E.D., Holt, G.D. 2001. Using national input output data for embodied energy analysis of individual residential buildings. *Construction Management and Economics* 19, 1: 49–61.

Venkatarama Reddy, B.V., Jagadish, K.S. 2003. Embodied energy of common and alternative building materials and technologies. *Energy and Buildings* 35: 129–137.