

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

VISOKOŠOLSKI STROKOVNI
ŠTUDIJSKI PROGRAM PRVE
STOPNJE OPERATIVNO
GRADBENIŠTVO

Kandidat/-ka:

ALJA KOŠTOMAJ

**IN-SITU MERITVE ENERGIJSKIH KAZALNIKOV IN
KAZALNIKOV KAKOVOSTI NOTRANJEGA OKOLJA NA
PRIMERU PASIVNE HIŠE**

**IN-SITU MEASUREMENTS OF ENERGY INDICATORS AND
INDOOR ENVIRONMENTAL QUALITY INDICATORS IN
CASE OF A PASSIVE HOUSE**

Mentor/-ica:

doc. dr. Mateja Dovjak

Somentor/-ica:

asist. dr. David Antolinc

Član komisije:

Predsednik komisije:

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

Ta stran je namenoma prazna.

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	UDK: 628.8:697(043.2)
Avtorica:	Alja Koštomaj
Mentorica:	doc. dr. Mateja Dovjak
Somentor:	asist. dr. David Antolinc
Naslov:	In-situ meritve energijskih kazalnikov in kazalnikov kakovosti notranjega okolja na primeru pasivne hiše
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – visokošolski strokovni študij
Obseg in oprema:	46 str., 10 pregl., 15 graf., 31 sl., 2 en., 1 pril.
Ključne besede:	pasivna hiša, energijski kazalniki, kakovost notranjega zraka, toplotno udobje, svetlobno udobje

Izvilleček

V diplomski nalogi smo z vidika energijskih kazalnikov in kazalnikov kakovosti notranjega okolja analizirali realen objekt – obstoječo pasivno hišo. Metoda dela vključuje kombinacijo in-situ meritev energijskih kazalnikov in kazalnikov kakovosti notranjega okolja z računskimi metodami. Za stavbo smo najprej izvedli termovizijo in preverili prisotnost toplotnih mostov. Izračunane energijske kazalnike (izbrane parametre gradbene fizike in rabe energije) smo primerjali z merjenimi. Ugotovili smo, da se primerjane vrednosti toplotne prehodnosti dokaj dobro ujemajo. Izdelali smo računsko energetsko izkaznico in stavbo uvrstili v energijski razred ter pridobili druge podatke o energijski rabi. Kazalnike kakovosti notranjega okolja (izbrane parametre toplotnega okolja, svetlobnega okolja, kakovosti notranjega zraka) smo primerjali z zakonsko določenimi in priporočenimi vrednostmi. Meritve koncentracije CO₂ so v času povečanih aktivnosti pokazale prekoračitev vrednosti, ki jo priporoča standard ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2004. Predlagali smo skrb za naravno prezračevanje, v primeru uporabe rekuperatorja pa nastavitev na zmogljivejšo stopnjo delovanja. Mehanski sistem je treba redno čistiti in vzdrževati. Temperatura notranjega zraka, površinske temperature obodnih površin, srednja sevalna temperatura in občutena temperatura so bile v času meritev v skladu z zahtevami Pravilnika o prezračevanju in klimatizaciji stavb. Do sevalne asimetrije ni prišlo. Relativna notranja zračna vlaga je bila v času zimskih meritev zelo nizka, zato je ob pogosti rabi kamina potrebno dovlaževanje zraka. V poletnem času so bile izmerjene previsoke vrednosti relativne zračne vlage, ki so bile posledica takratnih zunanjih klimatskih razmer. Meritve naravne osvetljenosti prostorov niso dosegle priporočene meje le na enem delu opazovanega območja; predlagamo dosvetljevanje s svetili. Raven hrupa zaradi občasnih zunanjih dejavnikov je prekoračila omejitev po Pravilniku o zvočni zaščiti stavb. Glede na dobro energijsko učinkovitost smo predlagali povečanje rabe obnovljivih virov energije. Prišli smo do zaključka, da je za uravnoteženje kakovosti notranjega okolja z energijsko učinkovitostjo pri načrtovanju gradnje potrebno izhajati iz potreb uporabnikov, njihovega zdravja in udobja.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: UDK: 628.8:697(043.2)
Author: Alja Koštomaj
Supervisor: Asisst. Prof. Mateja Dovjak, Ph. D.
Co-supervisor: Asisst. dr. David Antolinc, Ph. D.
Title: In-situ measurements of energy indicators and indoor environmental quality indicators in case of a passive house
Document type: Graduation Thesis – Higher professional studies
Notes: 46 p., 10 tab., 15 graph., 31 fig., 2 eq., 1 ann.
Key words: passive house, energy indicators, indoor air quality, thermal comfort, visual comfort

Abstract

In the thesis we analyzed an existing passive house building regarding the parameters of energy use and indoor environmental quality indicators. The method includes a combination of in-situ measurements of energy / indoor environmental quality indicators and calculation methods. We carried out the thermal imaging of building envelope in order to check the thermal bridges. Calculated heat flux / U values of constructional complexes were compared with the measured ones and we have found out that there are differences between them. We created a calculated energy certificate of the building and obtained other data on energy use. Indoor environmental quality indicators (selected parameters of the thermal environment, the lighting environment, the interior air quality) were compared with the mandatory and recommended values. Measurements of indoor CO₂ concentration during the increased activity time have shown the exceeded values regarding the recommendation by ANSI / ASHRAE Standard 62.1-2004. We proposed natural ventilation, and in case of recuperator use more intensive operation level must be set up. The ventilation system must be regularly cleaned and maintained. The indoor air temperature, the surfaces temperature of building envelope, the mean radiant temperature and the operative temperature were in accordance with the recommendations of the Rules on ventilation and air conditioning of buildings during the measurement period. Radiative asymmetry was minimal. Relative indoor air humidity was very low at the time of winter measurements. Therefore, when the frequent use of the fireplace, humidification is required. Too high relative humidity values were shown during the summer and we have no possibility to control it because they are the result of outdoor climate conditions. Measured values of daylight illumination did not reach the recommended limits in only one part of the observed area and thus we suggest additional lighting. The noise level due to occasional outdoor factors has exceeded the limit according to the Regulation on sound protection of buildings. Given the good energy efficiency, we proposed to increase the use of renewable energy sources. We have come to the conclusion that in order to balance the indoor environmental quality with energy efficiency, the building design and engineering must follow the needs, health and comfort of users.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorici doc. dr. Mateji Dovjak in somentorju asist. dr. Davidu Antolincu za pomoč, strokovno vodenje in prijetno sodelovanje v času izdelave diplomske naloge.

Hvala vsem, ki ste verjeli vame in me spodbujali, ko mi je zmanjkovalo moči.

Največja možna mera hvaležnosti gre mojemu partnerju Frenku, ki mi je ves čas študija nudil tako strokovno pomoč kot moralno oporo, in sinu Jakobu, ki pri svojih desetih letih zmore toliko razumevanja. Brez njiju ne bi zmogla!

KAZALO VSEBINE

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	I
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	II
ZAHVALA.....	III
KAZALO VSEBINE	IV
KAZALO PREGLEDNIC.....	VI
KAZALO GRAFIKONOV	VII
KAZALO SLIK.....	VIII
KAZALO PRILOG	IX
KRATICE.....	X
1 UVOD.....	1
2 CILJI IN HIPOTEZE	3
2.1 Pregled veljavne zakonodaje, priporočil in znanstvenih študij.....	3
2.2 Ogled in predstavitev objekta.....	3
2.3 Izvedba in-situ meritev energijskih kazalnikov in kazalnikov kakovosti notranjega okolja.....	3
2.4 Izdelava računske energetske izkaznice	3
2.5 Vrednotenje rezultatov in njihova interpretacija	3
3 METODOLOGIJA	4
3.1 Pregled in izbor zakonodaje, priporočil, znanstvenih študij in ostale literature	4
3.2 Predstavitev objekta	5
3.2.1 SPLOŠNO O OBJEKTU.....	5
3.2.2 KONSTRUKCIJSKI SKLOPI	7
3.2.2.1 Tla na terenu	7
3.2.2.2 Cokl.....	7
3.2.2.3 Zunanje stene	8
3.2.2.4 Strop proti neogrevanemu podstrešju.....	8
3.2.2.5 Strop v sestavi poševne strehe	8
3.2.2.6 Vertikalna okna in balkonska vrata	9
3.2.2.7 Strešna okna	9
3.2.2.8 Vhodna vrata.....	9
3.2.3 STROJNE INŠTALACIJE	9
3.2.3.1 Ogrevanje s pripravo tople sanitarne vode	9
3.2.3.2 Prezračevanje	9
3.2.3.3 Razsvetljava.....	10
3.3 Izvedba in-situ meritev.....	10
3.3.1 IZBOR ENERGIJSKIH KAZALNIKOV IN KAZALNIKOV KAKOVOSTI NOTRANJEGA OKOLJA.....	10
3.3.2 IZBOR MERILNIH INŠTRUMENTOV IN OSTALE OPREME	10

3.3.2.1	Ploskovni senzor za merjenje specifičnega toplotnega toka in temperature na površini konstrukcijskega sklopa	11
3.3.2.2	Naprava za zajem podatkov	11
3.3.2.3	Kombiniran merilnik ravni osvetljenosti, intenzitete zvoka, temperature zraka in relativne vlažnosti zraka	12
3.3.2.4	IR merilnik temperature površine	12
3.3.2.5	Merilnik temperature zraka in relativne vlažnosti zraka	13
3.3.2.6	Merilnik temperature zraka in koncentracije CO ₂	13
3.3.2.7	Merilnik temperature zraka in relativne zračne vlažnosti	14
3.3.3	IZVEDBA TERMOVIZIJE	15
3.3.4	DOLOČITEV MERILNIH MEST IN IZVEDBA MERITEV	17
3.3.4.1	Merilno mesto št. 1 - SZ stran	20
3.3.4.2	Merilno mesto št. 2 – JZ stran	21
3.3.4.3	Merilno mesto št. 3 – JV stran	21
3.3.4.4	Merilno mesto št. 4 – strop	22
3.3.4.5	Merilno mesto št. 5 - tla	22
3.3.4.6	Merilni mesti št. 6 in 7 – temperatura zraka (°C) in relativna zračna vlažnost (%)... 23	
3.3.4.7	Merilni mesti št. 8 in 9 – koncentracija CO ₂ (ppm)	23
3.3.4.8	Merilna mesta od št. 10 do 14 – osvetlitev (lx)	23
3.3.4.9	Merilna mesta od št. 15 do 18 – raven hrupa (dB)	23
3.4	Izračun izbranih parametrov gradbene fizike	23
3.4.1	SZ STENA	24
3.4.2	JZ STENA	25
3.4.3	STROP V SESTAVI POŠEVNE STREHE	26
3.4.4	STROP PROTI NEOGREVANEMU PODSTREŠJU	27
3.4.5	TLA NEOGREVANE SHRAMBE	28
3.5	Izdelava računske energetske izkaznice	29
3.5.1	POSTOPEK IZDELAVE	29
3.5.2	GLAVNI REZULTATI ENERGETSKE IZKAZNICE	31
3.6	Primerjava izmerjenih vrednosti energijskih kazalnikov z rezultati izračunov	32
3.7	Primerjava izmerjenih vrednosti kazalnikov kakovosti notranjega okolja z zakonsko določenimi in priporočenimi vrednostmi	32
3.7.1	KAKOVOST NOTRANJEGA ZRAKA	32
3.7.2	TOPLOTNO UDOBJE	34
3.7.3	SVETLOBNO UDOBJE	38
4	REZULTATI IN RAZPRAVA	41
5	ZAKLJUČEK	44
VIRI		45
PRILOGE		

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Terminski pregled izvedbe meritev energijskih kazalnikov	17
Preglednica 2: Terminski pregled izvedbe meritev kazalnikov kakovosti notranjega okolja ..	17
Preglednica 3: Prikaz toplotne prehodnosti posameznih konstrukcijskih sklopov	29
Preglednica 4: Prikaz izpolnjevanja zahtevanih pogojev	32
Preglednica 5: Primerjava vrednosti toplotne prehodnosti	32
Preglednica 6: Minimalne in maksimalne vrednosti izmerjenih temperatur in zračne vlage ..	35
Preglednica 7: Srednja sevalna temperatura in občutena temperatura v bivalnem delu	38
Preglednica 8: Prikaz rezultatov meritev osvetljenosti z naravno svetlobo	39
Preglednica 9: Prikaz ravni hrupa v dB	40
Preglednica 10: Rezultati meritev kazalnikov kakovosti notranjega okolja	43

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1:	Časovno spreminjanje gostote toplotnega toka in temperature na površini severozahodne stene.....	24
Grafikon 2:	Časovno spreminjanje povprečja obeh gostot toplotnega toka in temperaturne razlike na površini severozahodne stene.....	24
Grafikon 3:	Časovno spreminjanje gostote toplotnega toka in temperature na površini jugozahodne stene.....	25
Grafikon 4:	Časovno spreminjanje povprečja obeh gostot toplotnega toka in temperaturne razlike na površini jugozahodne stene.....	25
Grafikon 5:	Časovno spreminjanje gostote toplotnega toka in temperature zraka v okolici stropa v sestavi poševne strehe	26
Grafikon 6:	Časovno spreminjanje gostote toplotnega toka in temperaturne razlike v okolici stropa v sestavi poševne strehe	26
Grafikon 7:	Časovno spreminjanje gostote toplotnega toka in temperature zraka/površine stropa proti neogrevanemu podstrešju	27
Grafikon 8:	Časovno spreminjanje gostote toplotnega toka in temperaturne razlike v okolici stropa proti neogrevanemu podstrešju	27
Grafikon 9:	Časovno spreminjanje gostote toplotnega toka in temperature na površini tal neogrevane shrambe	28
Grafikon 10:	Prikaz pretoka zraka glede na stopnjo prezračevanja	33
Grafikon 11:	Koncentracija CO ₂	34
Grafikon 12:	Spreminjanje temperature in relativne zračne vlažnosti v mesecu februarju .	36
Grafikon 13:	Spreminjanje temperature in relativne zračne vlažnosti v mesecu avgustu ...	36
Grafikon 14:	Primerjava ocenjene in programske izračunane porabe električne energije za ogrevanje	41
Grafikon 15:	Primerjava ocenjene in programske izračunane porabe električne energije za delovanje stavbe	42

KAZALO SLIK

Slika 1: Fotografija izbranega objekta	5
Slika 2: Tloris pritličja	6
Slika 3: Tloris mansarde.....	6
Slika 4: Prerez temeljnih tal.....	7
Slika 5: Prerez cokla	7
Slika 6: Prerez zunanje stene.....	8
Slika 7: Prerez stropa proti neogrevanemu podstrešju	8
Slika 8: Prerez stropa v sestavi poševne strehe	8
Slika 9: Ploskovni senzor za merjenje specifičnega toplotnega toka in temperature na površini konstrukcijskega sklopa	11
Slika 10: Naprava za zajem podatkov	11
Slika 11: Merilnik osvetljenosti in zvočne intenzitete (Vir: Conrad, 2017)	12
Slika 12: IR merilnik temperature površine (Vir: Conrad, 2017)	12
Slika 13: Merilnik temperature zraka in relativne zračne vlažnosti (Vir: Conrad, 2017).....	13
Slika 14: Merilnik temperature zraka in koncentracije CO ₂ (Vir: Conrad, 2017)	13
Slika 15: Merilnik temperature zraka in relativne zračne vlažnosti.....	14
Slika 16: Termografska kamera (Vir: spletna stran Conrad, 2017)	14
Slika 17: Termografski posnetek SV stene objekta na dan 6. 2. 2017	15
Slika 18: Termografski posnetek južnega vogala objekta na dan 6. 2. 2017.....	16
Slika 19: Termografski posnetek JZ strani objekta na dan 6. 2. 2017.....	16
Slika 20: Tloris pritličja – razpored merilnih mest.....	18
Slika 21: Tloris mansarde – razpored merilnih mest.....	18
Slika 22: Razpored merilnih mest v prerezu A - A	19
Slika 23: Razpored merilnih mest v prerezu B - B	19
Slika 24: Namestitev merilne opreme na notranji strani SZ stene.....	20
Slika 25: Namestitev merilne opreme na zunanji strani SZ stene	20
Slika 26: Namestitev merilne opreme na notranji strani JZ stene	21
Slika 27: Namestitev merilne opreme na stropu v sestavi poševne strehe	22
Slika 28: Namestitev opreme na stropu proti neogrevanemu podstrešju	22
Slika 29: Namestitev merilne opreme na tleh neogrevane shrambe	23
Slika 30: Grafični prikaz rezultatov energetske izkaznice	31
Slika 31: Stanje filtrov prezračevalne naprave po enomesečni uporabi v zimskem obdobju. 33	

KAZALO PRILOG

PRILOGA A: OSNUTEK ENERGETSKE IZKAZNICE

KRATICE

ARSO	Agencija republike Slovenije za okolje
EU	Evropska unija
HVAC	ogrevanje, prezračevanje in klimatizacija (ang. <i>Heating, Ventilation and Air-Conditioning</i>)
IR	infrardeči
J	jug
JV	jugovzhod
JZ	jugozahod
LED	svetleča dioda (v ang. <i>light-emitting diode</i>)
PGD	projekt za gradbeno dovoljenje
PURES	Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah
RAL	RAL (v nem. <i>Reichs-Ausschuss für Lieferbedingungen</i>)
RH	relativna zračna vlažnost (v ang. <i>relative humidity</i>)
S	sever
SV	severovzhod
SZ	severozahod
V	vzhod
Z	zahod
XPS	ekstrudiran polistiren

1 UVOD

Pri gradnji sodobnih stavb se z vidika izpolnjevanja sedmih bistvenih zahtev Uredbe (EU) št. 305/2011, ki naj bi jih vsak objekt glede na svoj namen izpolnil, osredotočamo tudi na zahtevo po varčevanju z energijo in ohranjanju toplote. To področje je natančneje opredeljeno v *Pravilniku o učinkoviti rabi energije v stavbah* (Uradni list RS št. 52-2856/2010). V njem so določene zahteve za učinkovito rabo energije v stavbah na področju toplotne zaščite, ogrevanja, hlajenja, prezračevanja, klimatizacije, priprave tople sanitarne vode in razsvetljave v stavbah, zagotavljanja deleža obnovljivih virov energije za delovanje sistemov stavbe in način izračuna energijskih lastnosti stavbe. Rešitve oziroma gradbene ukrepe za doseganje teh zahtev določa *Tehnična smernica za graditev TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije* (Ministrstvo za okolje in prostor, 2010), katere uporaba je obvezna.

Še posebej stroga so priporočila glede učinkovite rabe energije za stavbe, grajene po neformalnem standardu pasivne gradnje (Passive House Institute, 2015).

Priporočila se nanašajo predvsem na:

- učinkovito toplotno zaščito stavbe; toplotna prehodnost U vseh uporabljenih gradbenih elementov ne sme presegati $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$,
- zrakotesno izvedbo stavbe, ki je po standardiziranem postopku kontrolirana s t. i. blower-door testom; pri tlačni razliki 50 kPa se v eni uri ne sme zamenjati več kot 60% celotnega volumna zraka,
- izvedbo konstrukcijskih detajlov brez toplotnih mostov; linijska toplotna prehodnost toplotnega mostu ψ sme znašati največ $0,01 \text{ W}/(\text{m K})$,
- nizko toplotno prehodnost zastekljenih površin; toplotna prehodnost okna U_w in okvirja U_f ne smeta presegati vrednosti $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$, pri visokem faktorju prehoda celotnega sončnega sevanja $g \geq 50 \%$, kar v zimskem času omogoča neto dobitke toplote,
- nizke toplotne izgube pri pripravi sanitarne vode,
- porabo električne energije za delovanje prezračevalne naprave, ki sme znašati največ $0,4 \text{ Wh}/(\text{m}^3)$;
- uporabo varčnih naprav za uporabo v gospodinjstvu, kar pomeni najmanj energijski razred A.

Za doseganje standarda pasivne hiše morajo biti zgoraj naštetе komponente premišljeno povezane v celoto. Le tako lahko dosežemo ključne specifične vrednosti, ki so značilne za pasivne stavbe:

- letna potrebna toplota za ogrevanje $\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$,
- skupna letna poraba primarne energije $\leq 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$,
- zrakotesnost $n_{50} < 0,6 \text{ h}^{-1}$,
- letna poraba električne energije $\leq 18 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$,
- toplotne izgube $\leq 10 \text{ W}/\text{m}^2$.

Pri izpolnjevanju zahteve po varčevanju z energijo in ohranjanju toplote se pogosto pozablja na kakovost notranjega okolja.

Le-to vključuje področja in z njimi povezane kazalnike: kakovost notranjega zraka, toplotno udobje, vizualno in nevizualno udobje, ergonomija in univerzalno načrtovanje (Dovjak, M. 2016). Ne glede na to, ali obravnavamo naše bivalno ali delovno okolje, imajo razpoložljive razmere v njem velik vpliv na naše psihofizično zdravje in počutje. Pogosto se niti ne zavedamo prisotnosti dejavnikov, ki posredno ali neposredno vplivajo na nas. Problematiko nezdravega bivalnega in delovnega okolja so izpostavile tudi študije (Krainer s sod., 2008), (Dovjak, 2012), (Dovjak s sod., 2013 in 2014).

V prid temu, da strokovna javnost prepozna pomembnost multidisciplinarnega sodelovanja in vključitve zdravstvenega vidika v gradbeno stroko, govori poteza Evropske komisije, ki je vidik kakovosti notranjega zraka vključila v predlog spremembe *Direktive o energijskih performancah stavb (EPBD)* (EURACTIV, 2017).

Namen diplomske naloge je z vidika energijskih kazalnikov in kazalnikov kakovosti notranjega okolja analizirati realen objekt – hišo, grajeno po standardu pasivne gradnje (v nadaljevanju: pasivno hišo). Zanima nas, ali z obravnavanega vidika dejansko stanje obstoječega objekta ustreza projektiranemu in hkrati, ali takšno stanje zagotavlja kakovostno notranje okolje stanovalcev. Analizo bomo izvedli s pomočjo in-situ izvedenih meritev izbranih energijskih kazalnikov in kazalnikov kakovosti notranjega okolja. Za objekt bo izdelana računska energetska izkaznica. Rezultate energijskih kazalnikov, pridobljene z in-situ izvedenimi meritvami, bomo primerjali z rezultati računske energetske izkaznice stavbe. Izmerjene rezultate kazalnikov kakovosti notranjega okolja bomo primerjali z zakonsko določenimi in priporočenimi vrednostmi. Pri tem bomo obravnavali tudi področne problematizirane dejavnike, na katere opozarjajo obstoječe znanstvene raziskave. Na osnovi vrednotenja bomo definirali pomanjkljivosti in prednosti analize ter predlagali morebitne ukrepe za izboljšave.

2 CILJI IN HIPOTEZE

Za doseganje namena diplomske naloge smo definirali naslednje cilje:

2.1 Pregled veljavne zakonodaje, priporočil in znanstvenih študij

Poiskati in pregledati je treba vso trenutno veljavno zakonodajo na področju pasivnih stanovanjskih stavb (mednarodne in nacionalne pravne akte, priporočila) in znanstvene študije, ki opredeljujejo vidik energijskih kazalnikov in kazalnikov kakovosti notranjega okolja.

2.2 Ogled in predstavitev objekta

Ogledati si je treba izbrani že izvedeni objekt in se osredotočiti na dejansko stanje. Prouči se lokacija objekta in orientacija v prostoru. Predstavi se posamezne konstrukcijske sklope in vgrajene sisteme strojnih inštalacij. Na objektu se opravi termovizija zunanjega toplotnega ovoja. Ugotoviti je treba morebitno problematiko z vidika energijske rabe in kakovosti notranjega okolja in s tem ustvariti podlago za določitev primernih merilnih mest.

2.3 Izvedba in-situ meritev energijskih kazalnikov in kazalnikov kakovosti notranjega okolja

Določiti je treba primerna merilna mesta, opredeliti želene kazalnike, izbrati potrebne merilne inštrumente in morebitne druge pripomočke ter izvesti meritve izbranih energijskih kazalnikov in kazalnikov kakovosti notranjega okolja na konkretnih merilnih mestih.

2.4 Izdelava računske energetske izkaznice

Izbrati je treba primerno programsko opremo, zbrati vhodne podatke in izvesti izračun energetske izkaznice objekta.

2.5 Vrednotenje rezultatov in njihova interpretacija

Na podlagi rezultatov izvedenih in-situ meritev izbranih energijskih kazalnikov je treba izračunati dejansko toplotno prehodnost U (W/m^2K) posameznih konstrukcijskih sklopov in jo primerjati z računsko vrednostjo le-te iz energetske izkaznice. Izmerjene vrednosti kazalnikov kakovosti notranjega okolja primerjamo z zakonsko določenimi in priporočenimi vrednostmi. Definiramo pomanjkljivosti in prednosti posameznih dejavnikov, ki vplivajo na posamezne kazalnike. Predlagamo morebitne ukrepe za izboljšave v smeri zagotavljanja kakovostnega notranjega okolja ob sočasni varčni rabi energije.

3 METODOLOGIJA

3.1 Pregled in izbor zakonodaje, priporočil, znanstvenih študij in ostale literature s področja pasivne gradnje z vidika energijskih kazalnikov in kazalnikov kakovosti notranjega okolja

Področno zakonodajo in priporočila smo poiskali na spletnih straneh EUR-Lex European Union law, Ministrstva za okolje in prostor RS in Uradnega lista RS.

Poročila in znanstvene študije smo iskali v bazi Cobiss, Science Direct in v glasilu Zveze društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije in Matične sekcije gradbenih inženirjev Inženirske zbornice Slovenije Gradbeni vestnik. Znanstvene članke smo iskali v slovenskem in angleškem jeziku.

Ostalo literaturo smo našli v bazi Cobiss in v iskalniku Google Search. Pri iskanju smo uporabili ključne besede v slovenščini in angleščini: »pasivna hiša«, »gradbena fizika«, »kakovost notranjega okolja«, »toplotno udobje« in »sindrom bolnih stavb«.

Pri definiranju zakonskih zahtev in priporočil smo se osredotočili predvsem na podatke iz *Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES2010,2010)*, *Tehnične smernice za graditev TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije (TSG-1-004:2010)*, *Pravilnik o metodologiji izdelave in izdaji energetskih izkaznic stavb* (Uradni list RS št. 92-3699/2014:10302) ter *Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb* (Uradni list RS št. 42-2013/2002:4139 in Uradni list RS št. 105-5224/2002:12315).

Določila *Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah* (Uradni list RS št. 52-2856/2010) (v nadaljevanju PURES) se uporabljajo pri gradnji novih stavb in rekonstrukcijah obstoječih, kjer se posega v vsaj 25 % toplotnega ovoja. Stavbe morajo biti zasnovane in zgrajene tako, da so z vidika energijske rabe ustrezno orientirane in da je razmerje med površino njihovega toplotnega ovoja in kondicionirano prostornino ugodno. Vpliv toplotnih mostov na letno potrebno energijo za ogrevanje in hlajenje mora biti čim manjši. Prekomerno pregrevanje stavb zaradi sončnega obsevanja naj bi bilo preprečeno z vgradnjo pasivnih gradbenih elementov. V primeru nezadovoljivega naravnega prezračevanja stavb se sme izvesti sistem mehanskega prezračevanja, ki učinkovito vrača toploto odvodnega zraka. Sistem mora izpolnjevati tudi vse sanitarno-tehnične in higienske zahteve.

Tehnična smernica za graditev TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije (TSG-1-004:2010) (v nadaljevanju *Tehnična smernica*) podrobno opisuje določila PURES-a, in sicer gradbene ukrepe za doseg njegovih zahtev in predpisuje metodologijo za izračun energijskih lastnosti stavb.

Pravilnik o metodologiji izdelave in izdaji energetskih izkaznic stavb (Uradni list št. 92-3699/2014:10302), (v nadaljevanju PEI) podrobno določa vsebino, obliko, metodologijo izdelave in izdaje energetske izkaznice, način vodenja registra energetskih izkaznic in način prijave energetske izkaznice za vpis v register.

Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb (Uradni list RS št. 42-2013/2002:4139 in Uradni list RS št. 105-5224/2002:12315) določa tehnične zahteve za prezračevanje in klimatizacijo stavb ter za sisteme mehanskega prezračevanja, če so vgrajeni v stavbo.

3.2 Predstavitev objekta

3.2.1 SPLOŠNO O OBJEKTU

Za analizo smo izbrali enodružinsko stanovanjsko pasivno hišo, locirano v Polhovem Gradcu, prikazano na sliki (Slika 1). Podatke v nadaljevanju smo pridobili iz vodilne mape objekta.

Objekt je bil zgrajen leta 2012, njegovo oblikovanje sledi smernicam Zavoda za varstvo kulturne dediščine in gabaritom okoliških objektov. Njegova zasnova in gradnja omogočata optimalno energijsko učinkovitost.



Slika 1: Fotografija izbranega objekta

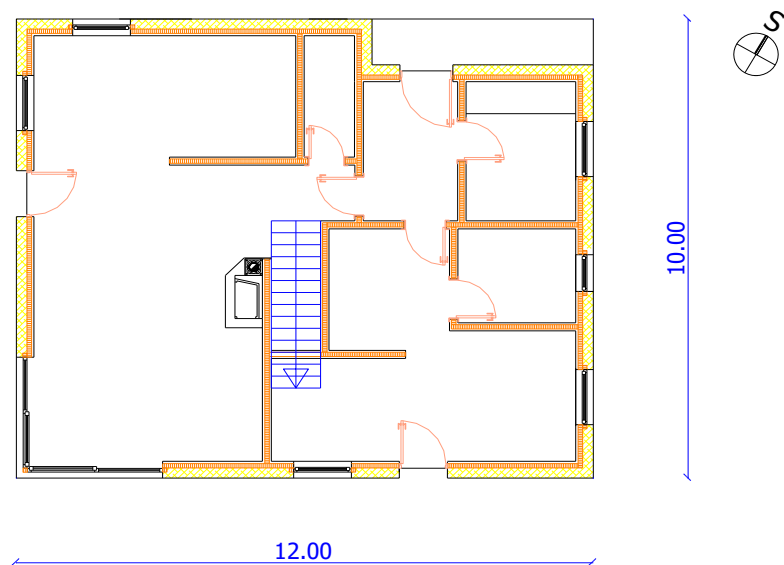
Hiša stoji na ilovnatih tleh, zato je bila izbrana lahka nosilna konstrukcija iz križno lepljenih lesenih plošč, postavljena na betonsko temeljno ploščo. Dimenzije tlorisa objekta znašajo 10 m x 12 m.

Hiša je dvoetažna; poleg pritličja ima še mansardo in neogrevano pohodno podstrešje. Pritličje (Slika 2) je večinoma namenjeno bivalnim prostorom (kuhinja z jedilnico, dnevna soba); v njem so še shramba, manjša kopalnica, spalnica in utility. V mansardi (Slika 3) je otroška soba, spalnica, kopalnica in delovna soba.

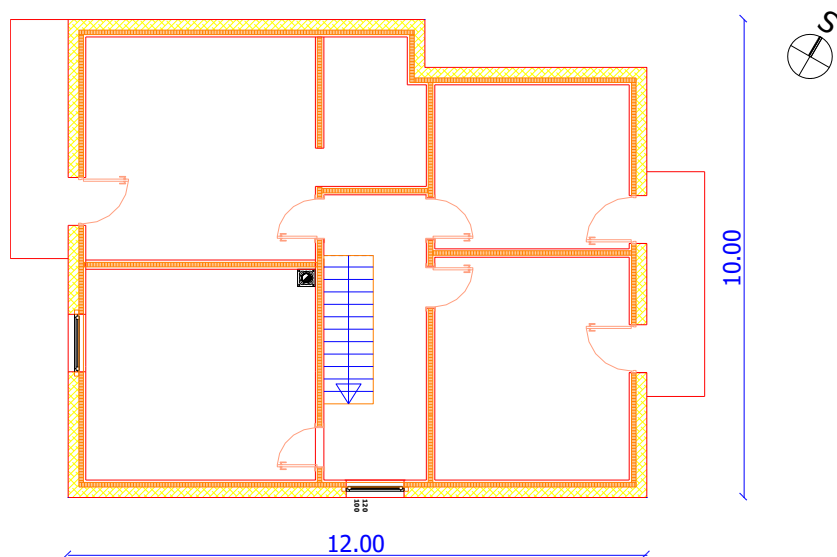
Fasada pritličja je izvedena s tankoslojnim fasadnim ometom bele barve, fasada mansarde in podstrešja je lesena, narejena iz macesnovih desk prizmatične oblike.

Streha je dvokapna, izvedena s 40-stopinjskim naklonom in ima na jugovzhodni strani frčado, ki povečuje uporabni prostor notranjega stopnišča. Streha je pokrita z opečnimi strešniki. Sleme strehe je orientirano v smeri JZ–SV.

Vhodna vrata so lesena, okna in zastekljena zunanja vrata so v kombinaciji lesa in aluminija. Zunanje žaluzije služijo kot pasivni gradbeni element.



Slika 2: Tloris pritličja

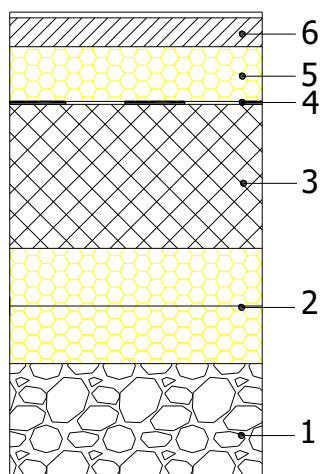


Slika 3: Tloris mansarde

3.2.2 KONSTRUKCIJSKI SKLOPI

Glede na to, da bo v nadaljevanju obravnavana samo kondicionirana prostornina stanovanjske hiše, bodo predstavljeni le konstrukcijski sklopi, ki sestavljajo toplotni ovoj stavbe.

3.2.2.1 Tla na terenu

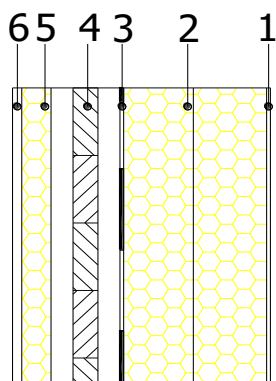


Slika 4: Prerez temeljnih tal

Na sliki (Slika 4) je prikazan prerez tal na terenu. Na temeljna tla je na ločilni sloj iz geotekstila nasut 30 cm debel sloj peska in drobnega gramoza do frakcije 32 mm (1). Nanj sta položeni dve plasti XPS-a z nominalno tlačno trdnostjo 500 kPa v skupni debelini 20 cm (2). Temeljna plošča debeline 25 cm je iz armiranega betona (3). Na ploščo je privarjen hidroizolacijski bitumenski trak s predhodnim bitumenskim premazom (4). Toplotna izolacija je iz 10 cm debele plasti mineralne volne, primerne za večje obremenitve, ki hkrati deluje kot zvočna izolacija (5). Nanjo je položena polietilenska folija, nato pa 5 cm debela plast cementnega tlaka (6). Talne obloge so iz keramičnih ploščic ali parketa, pritrjene s primernim lepilom.

Debelina konstrukcijskega sklopa brez nasutja je 62 cm (brez nasutja).

3.2.2.2 Cokl

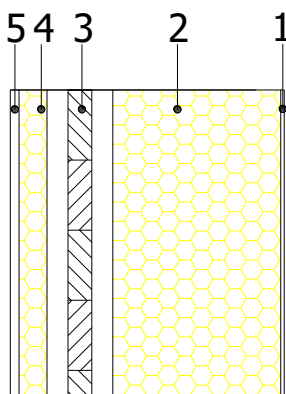


Slika 5: Prerez cokla

Na sliki (Slika 5) je prikazan prerez cokla. Na zunanji strani je lepilna malta z vtisnjeno armirno mrežico (1). Pod njo sta dve med seboj zlepljeni plasti XPS-a v skupni debelini 10cm (2), ki sta na notranji strani z novo plastjo lepilne malte pritrjeni na hidroizolacijski bitumenski trak (3). Nosilna plast je iz troslojne križno lepljene lesene plošče v skupni debelini 9,4 cm (4). Na notranji strani le-te je parna ovira, nato pa 4 cm mineralne volne (5), ki jo zapirajo mavčno-kartonaste plošče (6).

Debelina konstrukcijskega sklopa je 36 cm.

3.2.2.3 Zunanje stene

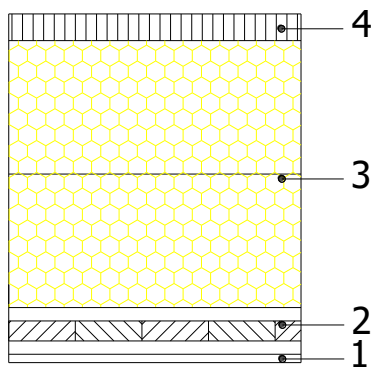


Slika 6: Prerez zunanje stene

Na sliki (Slika 6) je prikazan prerez zunanje stene. Na notranji strani so mavčno-kartonaste plošče (5), pod njo 4 cm mineralne volne in parna ovira (4). Nosilna konstrukcija je sestavljena iz troslojne križno lepljene lesene plošče v skupni debelini 9,4 cm (3). Na njo so z lepilno malto pritrjene 24 cm debele lamele iz mineralne volne (2), primerne za kontaktno fasado. Na njo je nanescena lepilna malta z vtisnjeno armirno mrežico, na njo pa zaključni sloj fasadnega ometa (1).

Debelina konstrukcijskega sklopa je 40 cm.

3.2.2.4 Strop proti neogrevanemu podstrešju

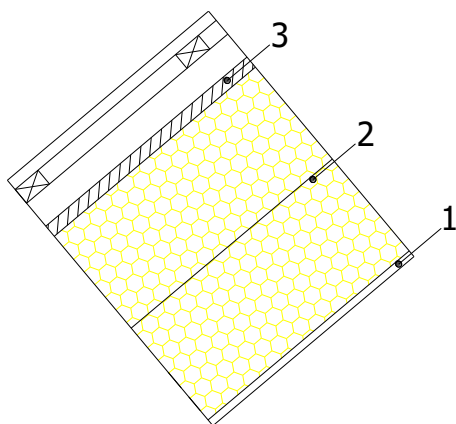


Slika 7: Prerez stropa proti neogrevanemu podstrešju

Na sliki (Slika 7) je prikazan prerez stropa proti neogrevanemu podstrešju. Na notranji strani so mavčno-kartonaste plošče (1), ki so od nosilne konstrukcije ločene s parno oviro. Nosilna horizontalna konstrukcija je iz troslojne križno lepljene lesene plošče debeline 7,8 cm (2). Na njo sta položeni dve plasti steklene volne v skupni debelini 40 cm (3), ki sta pokriti s paropropustno folijo. Pohodna tla so iz lesenih desk debeline 4cm (4).

Debelina konstrukcijskega sklopa je 53 cm.

3.2.2.5 Strop v sestavi poševne strehe



Slika 8: Prerez stropa v sestavi poševne strehe

Na sliki (Slika 8) je prikazan prerez stropa v sestavi poševne strehe. Na notranji strani so mavčno-kartonaste plošče (1), ki so s parno oviro ločene od 40 cm debelega sloja izolacije iz steklene volne (2), ki zapolnjuje prostor med elementi ostrešja. Na zunanji strani je nameščena sekundarna kritina iz lesno-vlaknenih plošč (3). Kritina je iz opečnih zareznikov.

Skupna debelina konstrukcijskega sklopa je 43 cm.

3.2.2.6 Vertikalna okna in balkonska vrata

Vertikalna okna in balkonska vrata iz lesa in aluminija so vgrajena po RAL (v nem. *Reichs-Ausschuss für Lieferbedingungen*) standardu (v nadaljevanju RAL), kar pomeni, da so stiki med steno in okvirjem okna/balkonskih vrat bolj učinkovito zatesnjeni. To se doseže tako, da se na notranji in zunanji strani na okenski okvir namesti različna tesnilna trakova, na zunanji strani pa se morebitne odprtine še dodatno zalije s silikonom odprte celične strukture in montažno peno visoke gostote in z majhno ekspanzijo. Okna imajo troslojno toplotnoizolacijsko zasteklitev. Zunanje premične žaluzije služijo kot pasivni gradbeni element.

Največ steklenih površin je na južni in zahodni strani objekta, saj so tako v zimskem času neto toplotni dobitki zaradi sončnega obsevanja največji.

3.2.2.7 Strešna okna

Strešni okni sta iz lesa in aluminija in sta prav tako troslojno toplotnoizolacijsko zastekljeni. Vgrajeni sta na južni strani strehe. Na zunanji strani imata nameščeno premično senčilo.

3.2.2.8 Vhodna vrata

Vhodna vrata so lesena, masivna, brez steklenih površin in so izdelana po tehnologiji, primerni za gradnjo po pasivnem standardu. Vgrajena so po RAL standardu.

3.2.3 STROJNE INŠTALACIJE

Z vidika gradnje stanovanjske hiše po pasivnem standardu so na podlagi *Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah* (PURES2010, 2010) med sistemi strojnih inštalacij pomembni predvsem:

3.2.3.1 Ogrevanje s pripravo tople sanitarne vode

Ogrevanju služi toplotna črpalka zemlja – voda. Vir toplote predstavlja toplota zemlje, ki se s pomočjo obtočne črpalke preko zemeljskega kolektorja dovaja v toplotno črpalko. Zemeljski kolektor je s skupno dolžino cevi 300 m položen v tla na zemljišču ob stavbi na povprečni globini 1,2 m. Ilovnata tla mu omogočajo dober izkoristek izmenjave toplote.

Toplotna črpalka je vezana na nizkotemperaturni ogrevalni sistem talnega gretja, ker je s tem omogočeno višje grelni število in posledično manjšo porabo energije. Nazivna moč toplotne črpalke je 5,4 kW. Sestavni del toplotne črpalke je 160-litrski hranilnik toplote, ki zagotavlja optimalno pogostost vklopov toplotne črpalke in delovanje ploskovnega ogrevalnega sistema.

Na toplotno črpalko je vezan tudi 200-litrski bojler za toplo sanitarno vodo.

Toplotna črpalka za svoje delovanje potrebuje električno energijo. Električna moč toplotne črpalke je 1,26 kW, kar pomeni, da pri grelnem številu 4,28 proizvede 5,4 kW toplotne energije.

Kot sekundarna (rezervna) ogrevalna naprava v primeru morebitnega dolgotrajnega izpada električne energije je v hiši nameščen kamin z delno akumulacijo toplote. Nahaja se v bivalnem delu stavbe. Kamin je zrakotesen, da dimni plini ne uhajajo v prostor. Optimalno izogorevanje mu omogoča zunanji dovod zraka.

3.2.3.2 Prezračevanje

Hiša, zgrajena po pasivnem standardu, je zrakotesna, zato je poskrbljeno za sistem prisilnega prezračevanja.

V hiši deluje naprava za mehansko prezračevanje z rekuperacijo (prenosom toplote). Ta hladen vstopni (svež) zrak ogreje s toploto, ki je bila odvzeta toplemu odtočnemu (odpadnemu)

zraku. S tem je poskrbljeno za zmanjševanje toplotnih izgub. Poleg toplote vrača v prostor tudi vlago, s čimer se v zimskem času povečuje vlažnost zraka in učinek rekuperacije. Potreba po rekuperaciji je pomembna predvsem v zimskem času in v poletnih vročih dneh. V obdobjih izven kurilne sezone, ko so dnevne zunanje in notranje temperature zraka približno izenačene, prisilno prezračevanje čez dan ni nujno potrebno, ker ga brez toplotnih izgub lahko nadomestimo z naravnim prezračevanjem – z odpiranjem oken. V nočnem poletnem času naprava deluje preko obkroga toplotnega izmenjevalca, da svež dovodni zrak ni predgret, ampak ostaja hladen.

3.2.3.3 Razsvetljava

Za razsvetljavo v hiši se uporabljajo izključno LED žarnice, LED trakovi in ostale varčne sijalke.

3.3 Izvedba in-situ meritev

3.3.1 IZBOR ENERGIJSKIH KAZALNIKOV IN KAZALNIKOV KAKOVOSTI NOTRANJEGA OKOLJA

Glede na zastavljene cilje diplomske naloge se bomo osredotočili na naslednje energijske kazalnike in kazalnike kakovosti notranjega okolja:

- qgostota toplotnega toka (W/m^2)
- T_{pn}temperatura na notranji površini konstrukcijskega sklopa ($^{\circ}C$)
- T_{pz} temperatura na zunanji površini konstrukcijskega sklopa ($^{\circ}C$)
- T_{zn}temperatura zraka v prostoru ($^{\circ}C$)
- T_{zz}temperatura zraka zunaj ($^{\circ}C$)
- RH_nrelativna vlažnost zraka v prostoru (%)
- E_vosvetljenost (lx)
- C_{CO_2}koncentracija onesnaženosti zraka s CO_2 (ppm)
- Lraven hrupa/zvočne moči (dB)

Vse zgoraj naštetih kazalnikov bomo izmerili, nato pa bomo na podlagi opravljenih meritev izračunali še nekatere druge fizikalne količine:

- Utoplotno prehodnost ($W/(m^2 K)$)
- T_{mr}srednjo sevalno temperaturo ($^{\circ}C$)
- T_oobčuteno temperaturo ($^{\circ}C$)

3.3.2 IZBOR MERILNIH INŠTRUMENTOV IN OSTALE OPREME

Pri izvajanju in-situ meritev izbranih energijskih kazalnikov in kazalnikov notranjega okolja bomo uporabljali naslednje merilne inštrumente in opremo:

3.3.2.1 Ploskovni senzor za merjenje specifičnega toplotnega toka in temperature na površini konstrukcijskega sklopa



Slika 9: Ploskovni senzor za merjenje specifičnega toplotnega toka in temperature na površini konstrukcijskega sklopa

Ahlborn ploskovni senzor za merjenje gostote toplotnega toka na sliki (Slika 9) hkrati izmeri tudi temperaturo na površini konstrukcije.

Tehnični podatki:

- Zunanje dimenzije: 120 mm x 120 mm
- Območje merjenja: 90 mm x 90 mm
- Natančnost merjenja: 5 %

3.3.2.2 Naprava za zajem podatkov



Slika 10: Naprava za zajem podatkov

Naprava Ahlborn ALMEMO 2590, ki je prikazana na sliki (Slika 10), omogoča zajemanje podatkov s ploskovnega senzorja toplotnega toka in temperature na površini konstrukcije. Trenutne vrednosti prikaže na zaslonu, zgodovino opravljenih meritev pa shranjuje v interni spomin, iz katerega je možno kasneje prenesti podatke na računalnik in jih uporabiti za analize in vrednotenje.

3.3.2.3 Kombiniran merilnik ravni osvetljenosti, intenzitete zvoka, temperature zraka in relativne vlažnosti zraka



Slika 11: Merilnik osvetljenosti in zvočne intenzitete (Vir: Conrad, 2017)

VOLTcraft DT 8820 na sliki (Slika 11) je naprava s senzorjem svetlobe, zvoka, temperature in relativne vlage. Uporabili smo ga za merjenje osvetljenosti in zvočne intenzitete.

Tehnični podatki:

- Termometer tipa K: -20—50 °C (notranji), -20—750 °C (zunanji), Ločljivost 0,1 °C
- Merilnik hrupa: 35—130 dB, Ločljivost 0,1 dB, Frekvenčno območje 32 Hz—10 kHz
- Merilnik svetlobe: 0,01—20000 Lux, Ločljivost 0,01 Lux
- Vlagomer: 25—95 % RH, Ločljivost 0,1 %

3.3.2.4 IR merilnik temperature površine



Slika 12: IR merilnik temperature površine (Vir: Conrad, 2017)

Za določitev sevalne temperature smo uporabljali IR termometer VOLTcraft IR 900-30S, prikazan na sliki (Slika 12).

Tehnične značilnosti:

- Optika: 30:1
- Merilno območje: -50—900 °C
- Optični in akustični opozorilni prikaz
- Dodatna funkcija kontaktnega merjenja

3.3.2.5 Merilnik temperature zraka in relativne vlažnosti zraka



Za merjenje temperature zraka in relativne zračne vlažnosti v notranjih prostorih smo uporabili merilnik VOLTcraft DL-111K, prikazan na sliki (Slika 13).

Merjene podatke zapisuje in shranjuje v interni spomin, po končanih meritvah se podatke prenese na računalnik za nadaljnjo obdelavo.

Slika 13: Merilnik temperature zraka in relativne zračne vlažnosti (Vir: Conrad, 2017)

3.3.2.6 Merilnik temperature zraka in koncentracije CO₂



Za ugotavljanje kakovosti notranjega zraka v objektu smo merili koncentracijo CO₂. Uporabili smo prenosni merilnik za določanje temperature zraka in koncentracije ogljikovega dioksida VOLTcraft CM-100, prikazan na sliki (Slika 14).

Tehnične značilnosti:

- Prikaz CO₂ in temperature zraka
- Nastavljiv zvočni alarm
- Zunanji senzor
- Ločljivost 1 ppm/0,1 °C

Slika 14: Merilnik temperature zraka in koncentracije CO₂ (Vir: Conrad, 2017)

3.3.2.7 Merilnik temperature zraka in relativne zračne vlažnosti



Slika 15: Merilnik temperature zraka in relativne zračne vlažnosti

Merilnik Ahlborn ALMEMO FHA 646-1, prikazan na sliki (Slika 15) smo uporabili za merjenje notranje in zunanje temperature zraka in relativne zračne vlažnosti.

Tehnični podatki:

- Območje merjenja temperature zraka od $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Območje merjenja relativne zračne vlažnosti od 5 % do 98 %

3.3.2.8 Termografska kamera



Slika 16: Termografska kamera
(Vir: spletna stran Conrad, 2017)

Termografski posnetek objekta je bil izveden s pomočjo termografske kamere FLIR E5, prikazane na sliki (Slika 16).

Tehnične značilnosti:

- Temperaturno območje delovanja od $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+250\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Občutljivost detektorja $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$

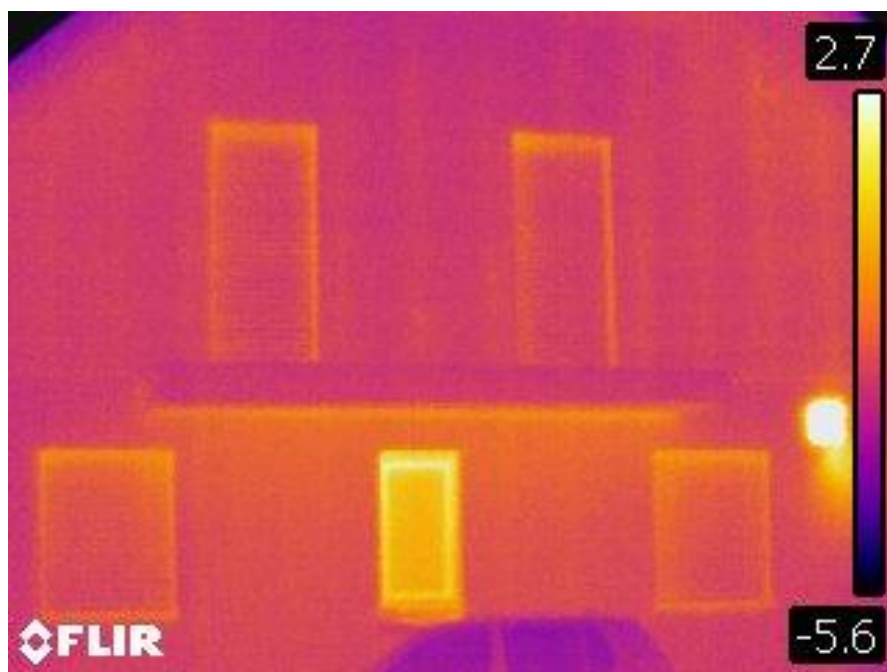
3.3.3 IZVEDBA TERMOVIZIJE

Odločili smo se, da pred določitvijo merilnih mest opravimo termovizijo objekta in preverimo morebitno prisotnost toplotnih mostov. Toplotni mostovi so mesta večjih prehodov toplote, s čimer prihaja do dodatnih transmisijskih toplotnih izgub.

Termovizija je bila opravljena s termografsko kamero FLIR E5, dne 6. 2. 2017 ob 6.30, v zgodnjih jutranjih urah, ko se je zunanja temperatura zraka gibala okrog -5 °C.

Med izvedbo posnetka SV stene, prikazanega na spodnji sliki (Slika 17), so bile na srednjem oknu v pritličju dvignjene zunanje žaluzije. Odstopanje v barvni temperaturi svetlobe v območju tega okna ni posledica večje toplotne prehodnosti, ampak je do njega prišlo zaradi različne emisivnosti površine materialov. Svetla točka na desnem robu predstavlja mesto odvoda odpadnega zraka iz prezračevalne naprave.

Linijski toplotni most je viden na spodnji strani stika med steno in balkonom.



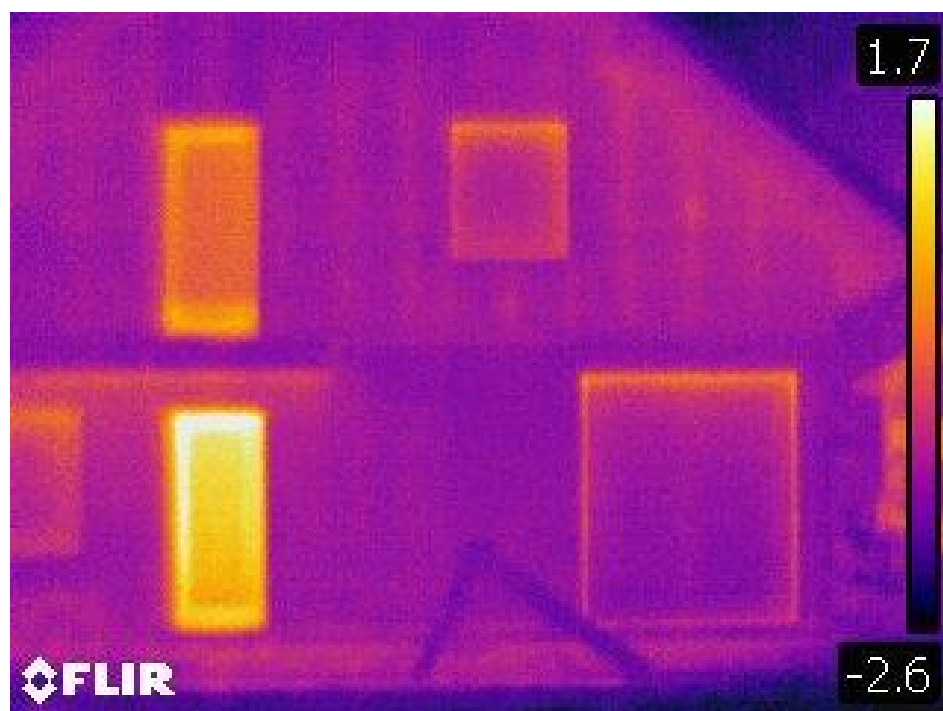
Slika 17: Termografski posnetek SV stene objekta na dan 6. 2. 2017 ob 6.30



Slika 18: Termografski posnetek južnega vogala objekta na dan 6. 2. 2017 ob 6.30

Tudi na posnetku JZ stene, prikazanem na sliki (Slika 19), so na spodnjih zastekljenih vratih dvignjene zunanje žaluzije, zaradi česar se pojavi razlika v barvni temperaturi svetlobe, linijski toplotni most pa je viden na spodnji strani stika med steno in balkonom.

Vpliv obeh toplotnih mostov je bil upoštevan pri izdelavi računske energetske izkaznice, a ker nista posebej izrazita, na izbiro merilnih mest nista vplivala.



Slika 19: Termografski posnetek JZ strani objekta na dan 6. 2. 2017 ob 6.30

3.3.4 DOLOČITEV MERILNIH MEST IN IZVEDBA MERITEV

Merilna mesta za izbrane energijske kazalnike smo izbrali na konstrukcijskih sklopih v sestavi toplotnega ovoja stavbe, in sicer na takšnih točkah objekta, ki bi po naši presoji dala najbolj reprezentativne rezultate. Pri namestitvi merilnih inštrumentov smo upoštevali priporočila glede odmikov od kritičnih mest. Na vseh izbranih mestih so bile meritve izvedene v obdobju meseca februarja, ko so se zunanje temperature gibale med $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ in $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Temperature v obdobju preteklih dveh zimskih mesecev so bile celo nižje od teh. Termin izvedbe meritev energijskih kazalnikov je razviden iz preglednice (Preglednica 1).

Preglednica 1: Terminski pregled izvedbe meritev energijskih kazalnikov

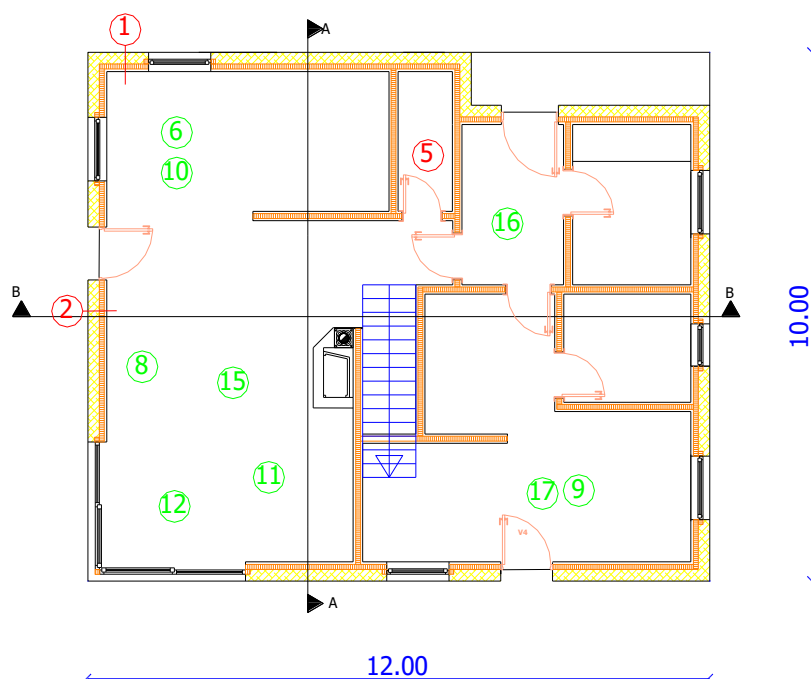
Št. mer. mesta	Konstrukcija	Termin izvedbe meritev
1	SZ stena	7. 2. ob 17:38 do 10. 2. ob 07:08
2	JZ stena	11. 2. ob 21:28 do 13. 2. ob 19:45
3	Strop v sestavi poševne strehe	13. 2. ob 22:45 do 19. 2. ob 18:12
4	Strop proti neogrevanemu podstr.	20. 2. ob 00:12 do 22. 2. ob 18:23
5	Tla v ne ogrevani shrambi	14. 2. ob 20:26 do 21. 2. ob 18:35

Merilna mesta za kazalnike kakovosti notranjega okolja so bila izbrana na točkah znotraj prostorov, nekatere meritve smo opravili tudi zunaj. Termin izvedbe meritev je razviden iz preglednice (Preglednica 2). Posebnosti so navedene pri posameznih merilnih mestih.

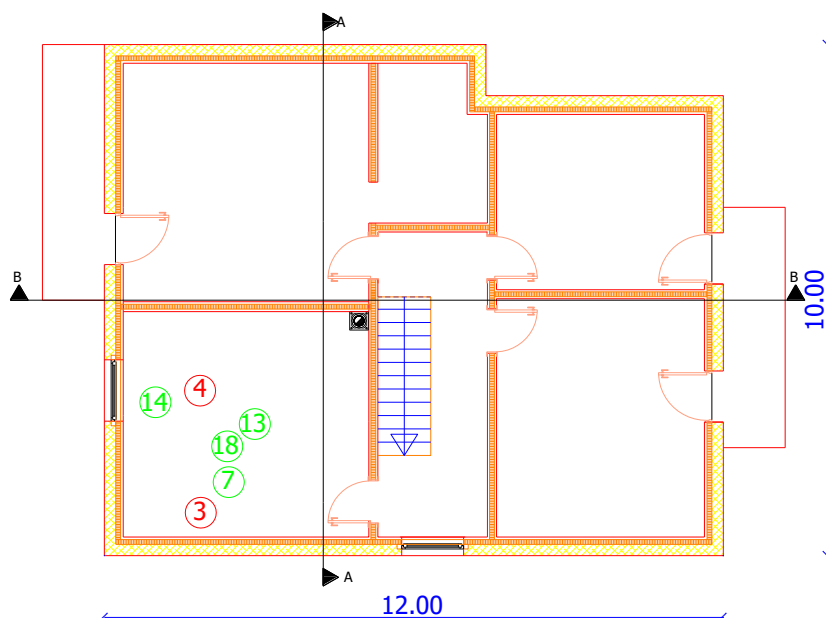
Preglednica 2: Terminski pregled izvedbe meritev kazalnikov kakovosti notranjega okolja

Št. mer. m.	Vrsta meritve	Prostor	Termin
6	temperatura, RH	jedilnica	8. 2. 2017 in 4. 8. 2017
7	temperatura, RH	otroška soba	20. 2. 2017 in 6. 8. 2017
8	koncentracija CO_2	bivalni del	24. 12. 2017 do 2. 1. 2018
9	koncentracija CO_2	spalnica	24. 12. 2017 do 2. 1. 2018
10	osvetlitev	jedilnica	17. 12. 2017 in 6. 1. 2018
11	osvetlitev	dnevna soba – sedežna g.	17. 12. 2017 in 6. 1. 2018
12	osvetlitev	dnevna soba – bral. kotiček	17. 12. 2017 in 6. 1. 2018
13	osvetlitev	otroška soba – igralni del	17. 12. 2017 in 6. 1. 2018
14	osvetlitev	otroška soba – pisal. miza	17. 12. 2017 in 6. 1. 2018
15	raven hrupa	bivalni del	17. 12. 2017 in 18. 12. 2017
16	raven hrupa	predsoba	17. 12. 2017 in 18. 12. 2017
17	raven hrupa	spalnica	17. 12. 2017 in 18. 12. 2017
18	raven hrupa	otroška soba	17. 12. 2017 in 18. 12. 2017

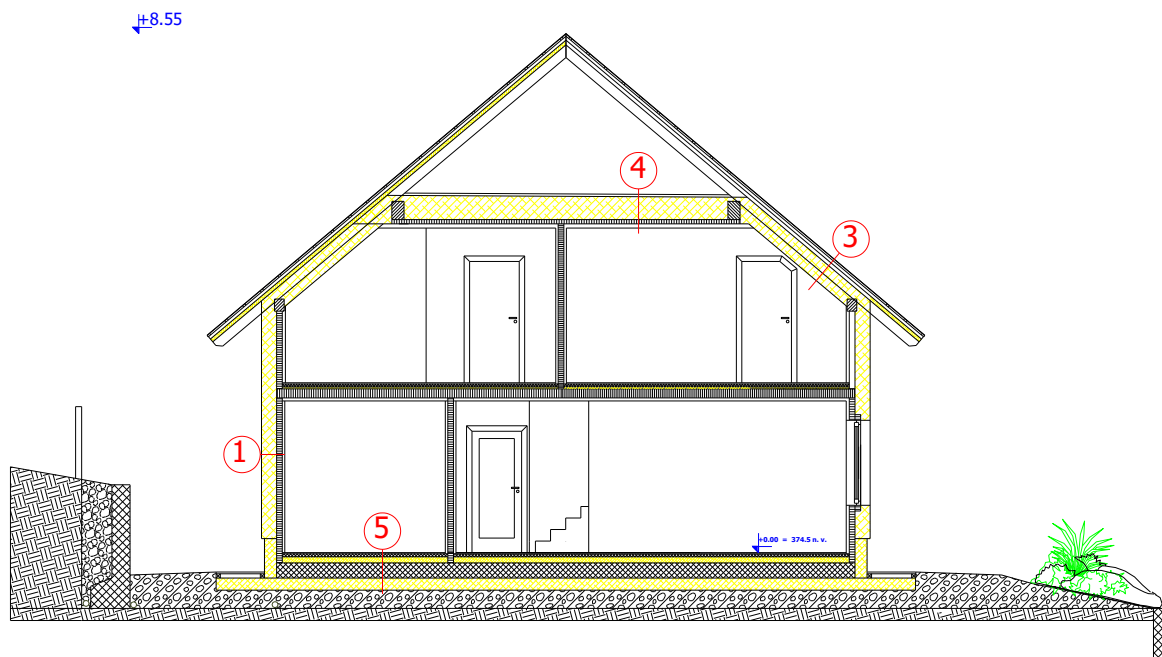
V tlorisih etaž (Slika 20 in Slika 21) in obeh prerezihi hiše (Slika 22 in Slika 23) so v razporedu merilnih mest energijskih kazalnikov označena z rdečimi oznakami, merilna mesta kazalnikov kakovosti notranjega okolja pa z zelenimi oznakami.



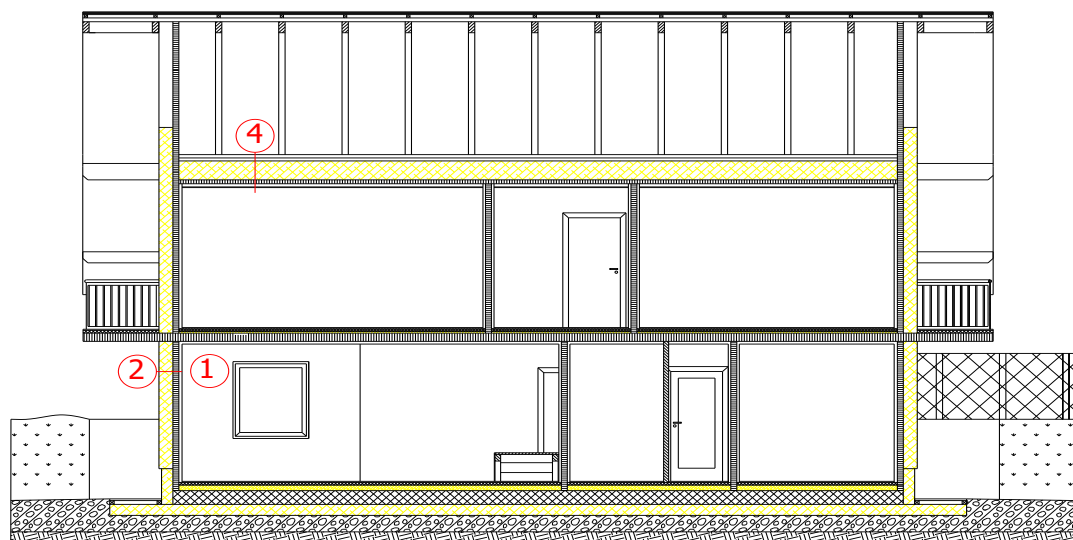
Slika 20: Tloris pritličja – razpored merilnih mest



Slika 21: Tloris mansarde – razpored merilnih mest



Slika 22: Razpored merilnih mest v prerezu A - A

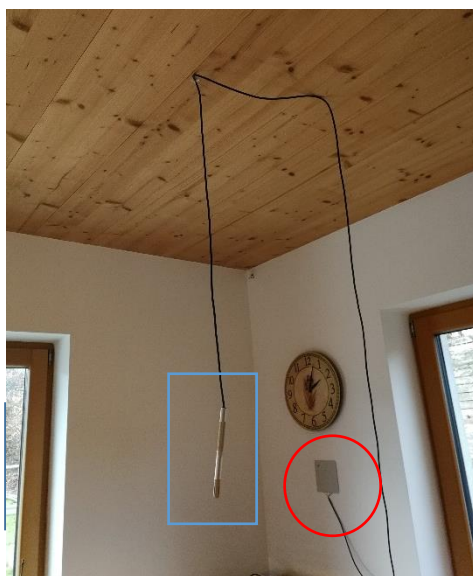


Slika 23: Razpored merilnih mest v prerezu B - B

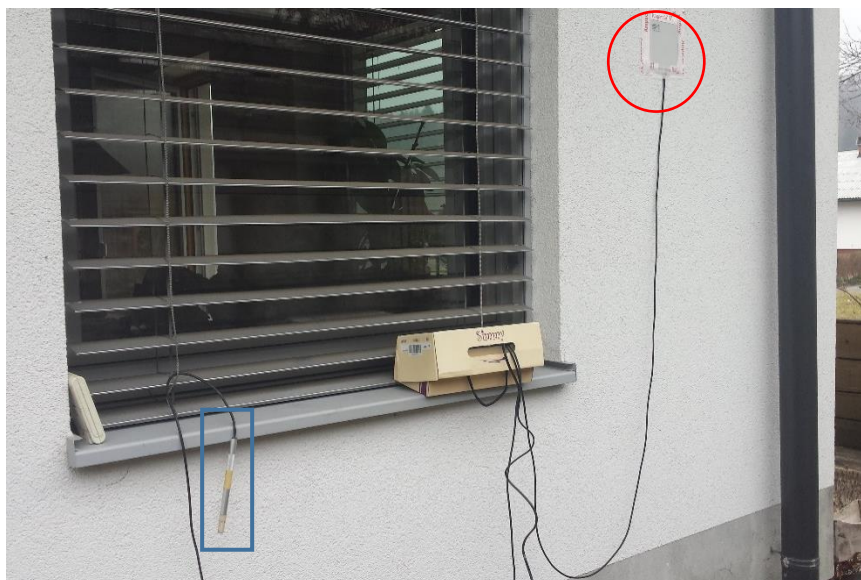
3.3.4.1 Merilno mesto št. 1 - SZ stran

Merilno mesto št. 1 smo izbrali v pritličju na SZ zunanji steni, na notranji in zunanji strani stene jedilnice. To merilno mesto je bilo izbrano, ker v zimskem času ni direktno obsijano s soncem.

Merili smo gostoto toplotnega toka in temperaturo na površini stene. V ta namen smo med vogalom in oknom na višini 1,55 m namestili ploskovni senzor za merjenje gostote toplotnega toka s senzorjem temperature (rdeča barva), kot je to prikazano na sliki (Slika 24). Ploskovna senzorja sta bila nameščena na isti višini diametralno nasprotno na notranji in zunanji strani stene. Na površino smo ju pričvrstili s pomočjo lepilnega traka. Ploskovna senzorja sta bila ločeno priklopljena na napravi za zajem izmerjenih podatkov. Na napravo v prostoru smo priklopili tudi merilnik temperature zraka in relativne zračne vlažnosti (modra barva), ki smo ga obesili s stropa tako, da je bil nameščen 1 m stran od oken na višini 1,7 m od tal. Namestitev opreme na zunanji strani stene je prikazana na sliki na naslednji strani (Slika 25).



Slika 24: Namestitev merilne opreme na notranji strani SZ stene



Slika 25: Namestitev merilne opreme na zunanji strani SZ stene

3.3.4.2 Merilno mesto št. 2 – JZ stran

Merilno mesto št. 2 smo izbrali v pritličju na JZ zunanji steni, na notranji in zunanji strani stene dnevne sobe.

Merili smo gostoto toplotnega toka in temperaturo na površini stene. V ta namen smo med panoramsko steno in vrata na višini 2,04 m namestili ploskovna senzorja za merjenje gostote toplotnega toka s senzorjem temperature, kot je to prikazano na sliki (Slika 26). Ploskovna senzorja sta bila nameščena na isti višini diametralno nasprotno na notranji in zunanji strani stene. Na površino smo ju pričvrstili s pomočjo lepilnega traka. Plošči sta bili ločeno priklopljeni na napravi za zajem izmerjenih podatkov.



Slika 26: Namestitev merilne opreme na notranji strani JZ stene

3.3.4.3 Merilno mesto št. 3 – JV stran

Merilno mesto št. 3 smo določili v otroški sobi v mansardi, na stropu v sestavi poševne strehe. Na JV strani smo na poševnino z lepilnim trakom namestili ploskovni senzor (rdeča barva) za merjenje gostote toplotnega toka s senzorjem temperature. Nameščen je bil tudi merilnik temperature zraka in relativne zračne vlažnosti (modra barva). Namestitev merilnih inštrumentov je prikazan na spodnji sliki (Slika 27). Oba merilnika sta bila priklopljena na napravo za zajem podatkov.

Na zunanji strani konstrukcijskega sklopa zaradi neravnin na strešnikih oziroma zračnega kanala pod njimi plošče ni bilo mogoče namestiti. Ob strešnem oknu na zunanji strani smo zato namestili merilnik temperature zraka.



Slika 27: Namestitev merilne opreme na stropu v sestavi poševne strehe

3.3.4.4 Merilno mesto št. 4 – strop

Merilno mesto št. 3 smo prav tako določili v otroški sobi v mansardi, tokrat na stropu proti neogrevanemu podstrešju. Plošča za merjenje gostote toplotnega toka (rdeča barva) je bila s pomočjo lepilnega traku nameščena le na notranji strani. Na nasprotni strani, v območju neogrevanega pohodnega podstrešja, merilna plošča ni bila nameščena, ker so tla pokrita z nepritrjenimi lesenimi deskami, ki zaradi neravnin ne omogočajo kvalitetnih stikov s podlago in bi zaradi tega prišlo do prevelikih napak pri merjenju. Na obeh straneh sta bila nameščena tudi merilca temperature zraka (modra barva). Oba merilca sta bila povezana z napravo za zajem podatkov. Namestitev merilnih instrumentov je prikazana na spodnji sliki (Slika 28)



Slika 28: Namestitev opreme na stropu proti neogrevanemu podstrešju

3.3.4.5 Merilno mesto št. 5 - tla

Merilno mesto št. 5 je bilo določeno na tleh neogrevane shrambe. Ploskovni senzor (rdeča barva) za merjenje gostote toplotnega toka s senzorjem temperature na površini tal je bil pritrjen na talne keramične ploščice in povezan z napravo za zajem podatkov (zelena barva), kot je to prikazano na sliki (Slika 29). Za temperaturo tal pod talno ploščo smo upoštevali projektno temperaturo zemljine 8 °C.



Slika 29: Namestitev merilne opreme na tleh neogrevane shrambe

3.3.4.6 Merilni mesti št. 6 in 7 – temperatura zraka ($^{\circ}\text{C}$) in relativna zračna vlažnost (%)

Na merilnih mestih št. 6 in 7 smo s stropa jedilnice in otroške sobe v sklopu meritev gostote toplotnega toka obesili še merilnik Ahlborn ALMEMO FHA 646-1 s senzorjem za merjenje temperature in relativne zračne vlažnosti. Merilnik je visel v območju t. i. bivalne cone, kar pomeni odmik vsaj 0,5 m od notranje stene, vsaj 1 m od okna oz. zunanje stene, najmanj 0,1 m od tal in največ 1,8 m nad tlemi, kakor predpisuje *Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji*.

3.3.4.7 Merilni mesti št. 8 in 9 – koncentracija CO_2 (ppm)

Na merilnih mestih št. 8 in 9 smo v območju bivalnega dela in spalnice izmerili vrednosti koncentracije CO_2 . Pri tem smo uporabili kombinirani merilnik VOLTcraft CM 100. Meritve so se izvajale v zimskem času, in sicer v pogojih različnih nastavitev stopenj moči delovanja prezračevalne naprave.

3.3.4.8 Merilna mesta od št. 10 do 14 – osvetlitev (lx)

S števkami od 10 do 14 smo označili merilna mesta na področju dneвне in otroške sobe. V obeh prostorih smo ločeno obravnavali del, kjer zadostuje manj svetlobe, in del z večjo potrebo po njej. Za meritve smo uporabili merilnik osvetlitve VOLTcraft DT 8820. Osvetlitev je bila izmerjena na višini delovne ravnine, to je približno 80 cm nad tlemi.

3.3.4.9 Merilna mesta od št. 15 do 18 – raven hrupa (dB)

S števkami od 15 do 18 smo označili merilna mesta za raven hrupa. Meritve smo opravili zunaj hiše in v različnih notranjih prostorih ob različnih pogojih (ne)delovanja naprav.

3.4 Izračun izbranih parametrov gradbene fizike

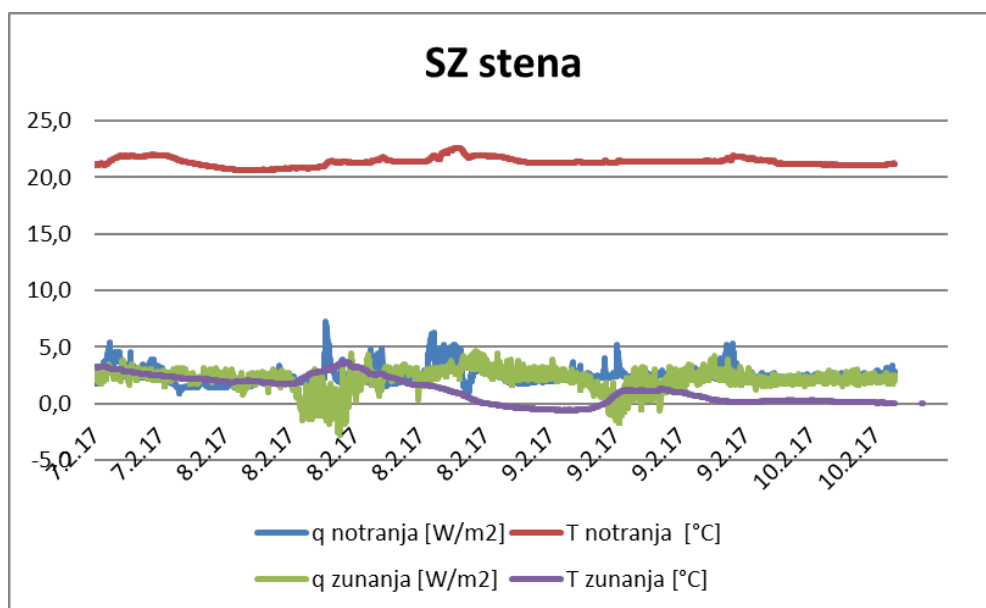
Po opravljenih meritvah smo zajete podatke vsakega posameznega merilnega mesta obdelali v Excelu in za vsako merilno mesto izbrali vrednost gostote toplotnega toka in pripadajoče temperaturne razlike v območju, ko so bili pogoji čim bolj stacionarne narave. Na podlagi izbranih izmerjenih parametrov smo izračunali toplotno prehodnost posameznih konstrukcijskih sklopov in jo kasneje primerjali z rezultati računske energetske izkaznice, izdelane s pomočjo računalniškega programa.

3.4.1 SZ STENA

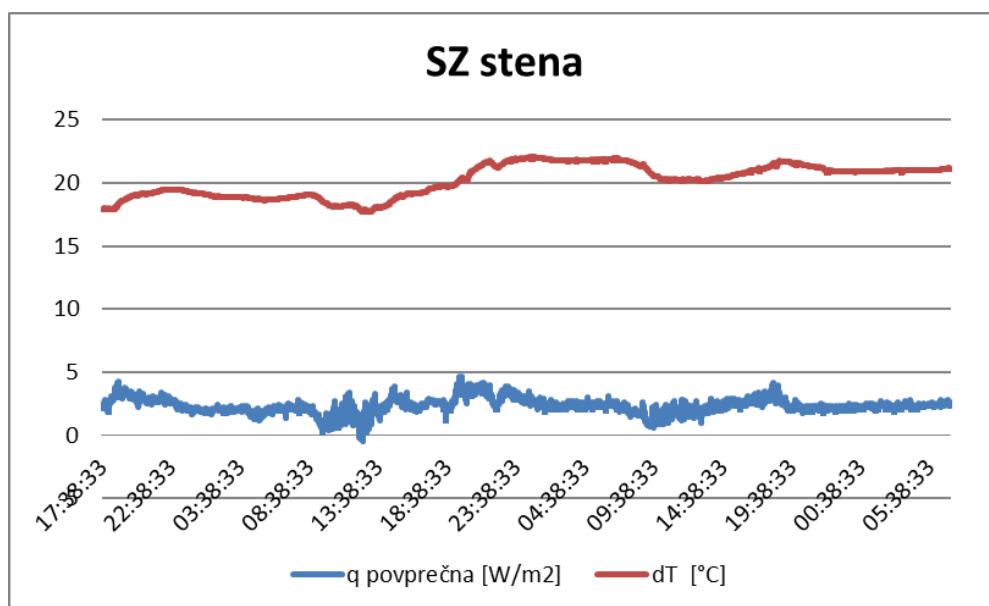
Na podlagi vsake izmerjene vrednosti smo izračunali razliko med notranjo in zunanjo temperaturo na površini stene. Za gostoto toplotnega toka smo pri vsakem odčitku izračunali povprečje vrednosti na notranji in zunanji strani. Gostota toplotnega toka je v vsaki točki prereza konstrukcijskega sklopa enaka, kar je mogoče razbrati tudi iz grafikona (Grafikon 1) - gostota toplotnega toka je po velikosti enaka na notranji in zunanji strani konstrukcijskega sklopa.

Za izračun toplotne prehodnosti so bile upoštevane vrednosti povprečne gostote toplotnega toka in razlike površinskih temperatur v zadnji noči izvajanja meritev (v terminu od 9. 2. 2017 ob 21. uri do 10. 2. 2017 ob 7. uri), ker so bili temperaturni pogoji takrat najbolj stacionarni. Vrednosti so prikazane na grafikonu (Grafikon 2).

Grafikon 1: Časovno spreminjanje gostote toplotnega toka in temperature na površini severozahodne stene



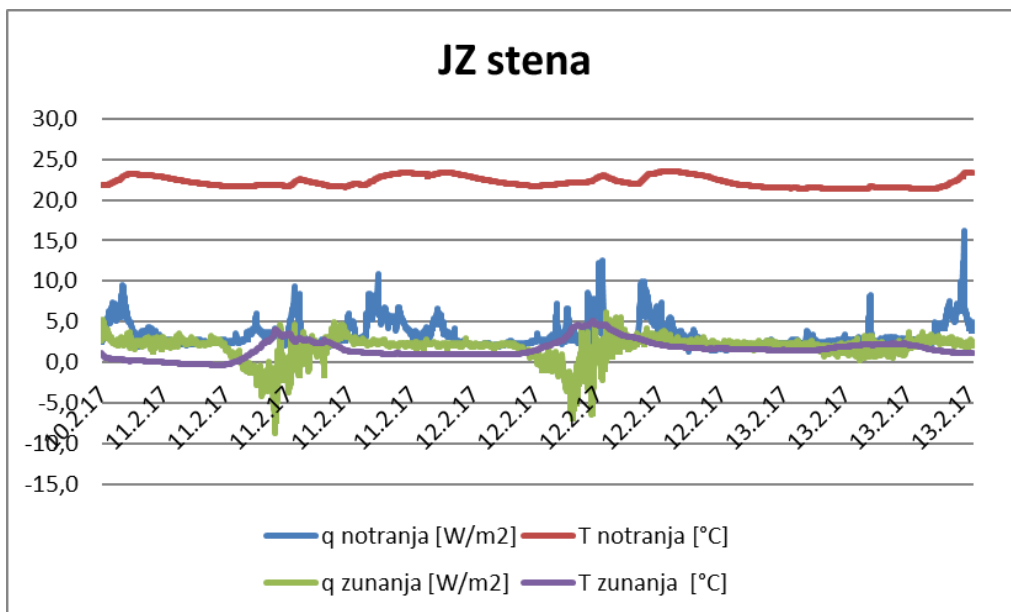
Grafikon 2: Časovno spreminjanje povprečja obeh gostot toplotnega toka in temperaturne razlike na površini severozahodne stene



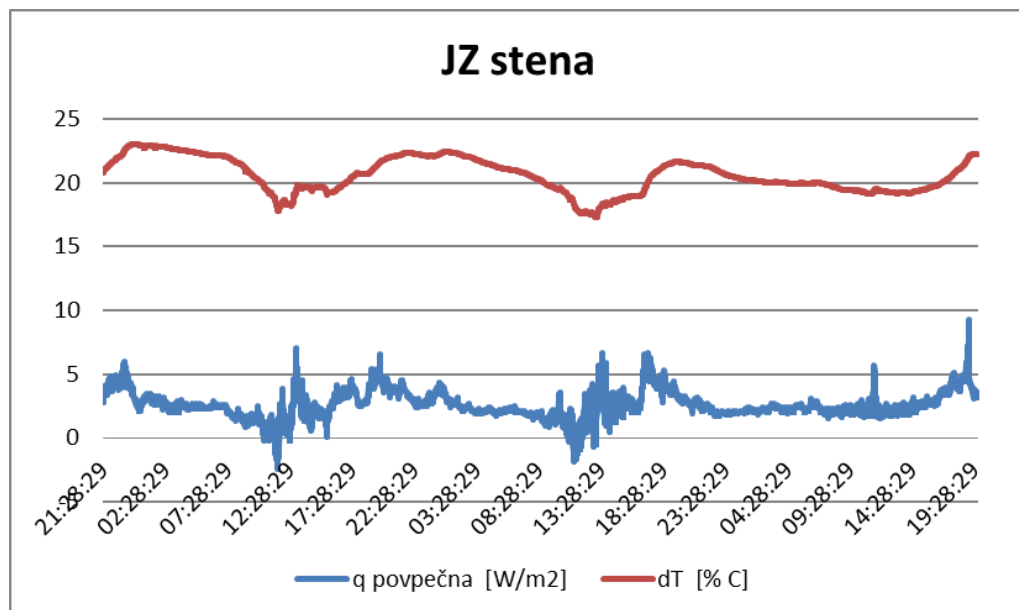
3.4.2 JZ STENA

Tudi ta grafikon (Grafikon 3) pokaže, da je toplotni tok na obeh straneh stene po velikosti enak. Kot vhodne podatke za izračun toplotne prehodnosti smo uporabili vrednosti povprečne gostote toplotnega toka in razlike površinskih temperatur, pridobljenih na osnovi meritev v noči med 12. in 13. 2. 2017 (od 23:30 do 4:00). Vrednosti so prikazane na grafikonu (Grafikon 4).

Grafikon 3: Časovno spreminjanje gostote toplotnega toka in temperature na površini jugozahodne stene



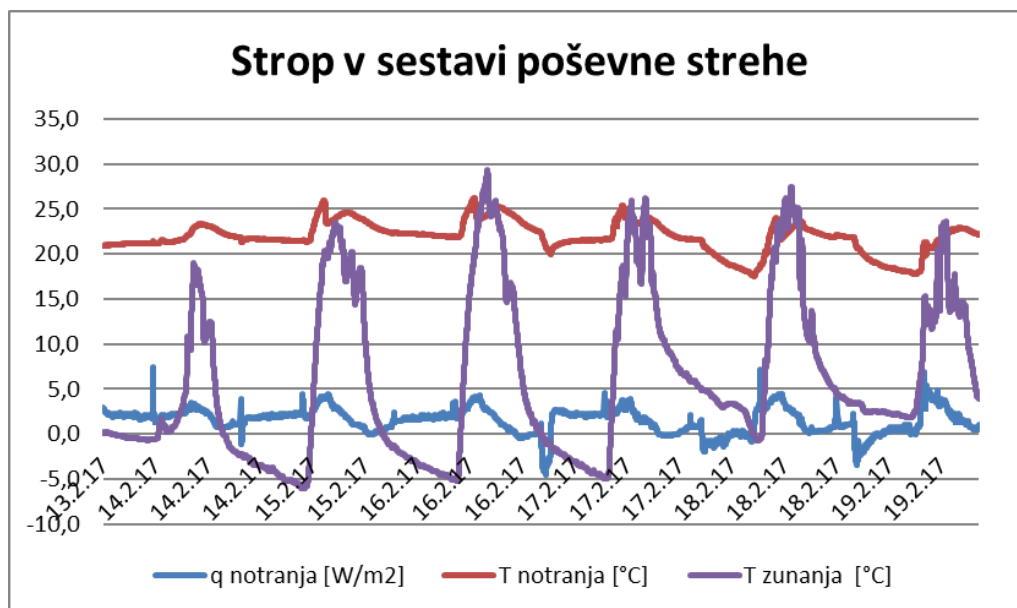
Grafikon 4: Časovno spreminjanje povprečja obeh gostot toplotnega toka in temperature razlike na površini jugozahodne stene



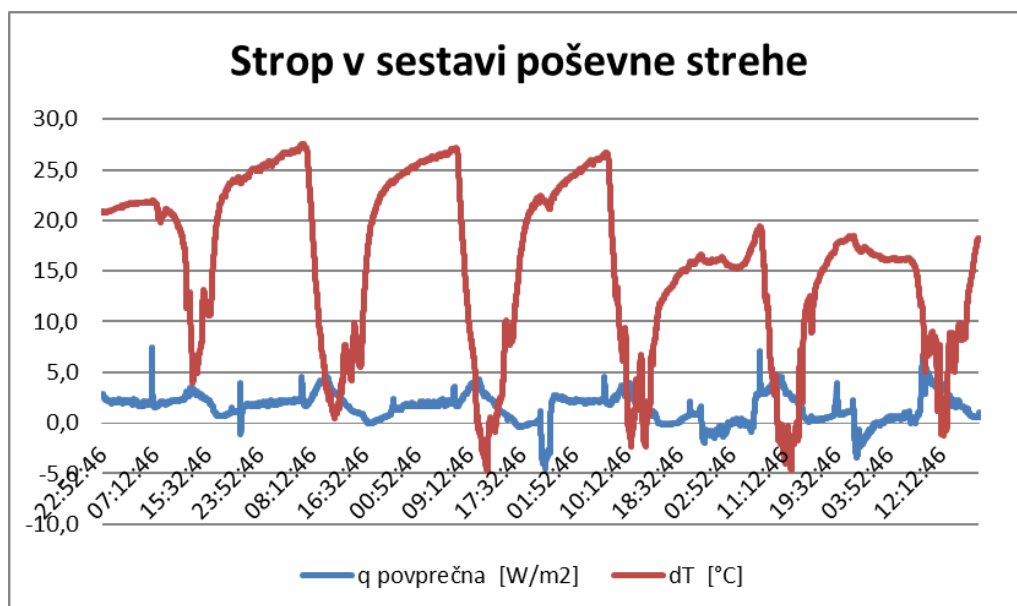
3.4.3 STROP V SESTAVI POŠEVNE STREHE

V obdobju merjenja je bilo sončno vreme, zato je zunanja temperatura zraka zelo nihala. Kljub temu, da merilnik ni bil izpostavljen direktnemu soncu, je zaznal zelo visoke dnevne temperature. Vhodni podatki za izračun toplotne prehodnosti so bili izbrani v noči med 14. in 15. 2. 2017 (od 00:00 do 5:00) in sicer na osnovi meritev ene same plošče (na notranji strani poševnine). Za temperaturno razliko smo upoštevali notranjo in zunanjo temperaturo zraka, zaradi česar je upoštevan vpliv mejne plasti, ki je zanemarljiv. Oboje vrednosti so prikazane na grafikonu (Grafikon 6).

Grafikon 5: Časovno spreminjanje gostote toplotnega toka in temperature zraka v okolici stropa v sestavi poševne strehe



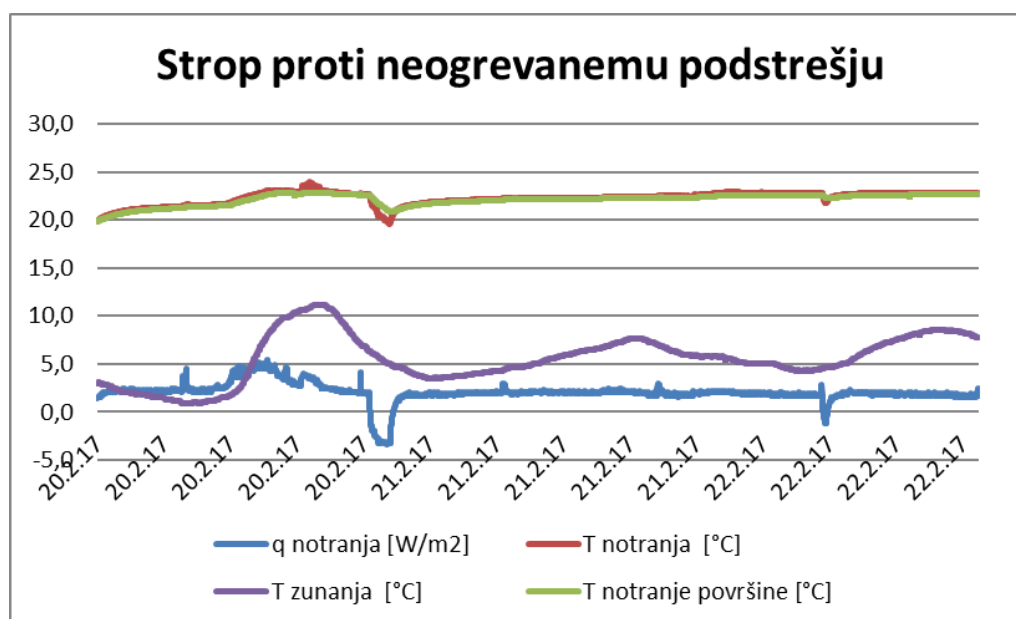
Grafikon 6: Časovno spreminjanje gostote toplotnega toka in temperaturne razlike v okolici stropa v sestavi poševne strehe



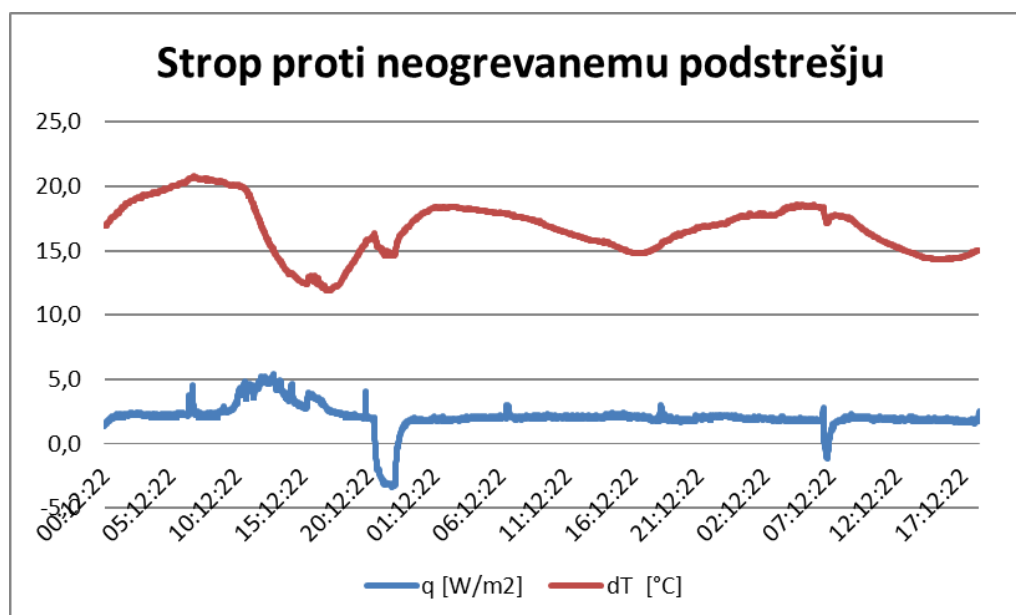
3.4.4 STROP PROTI NEOGREVANEMU PODSTREŠJU

Tudi tu smo uporabili le rezultate meritev gostote toplotnega toka na notranji strani konstrukcije. Za temperaturno razliko smo upoštevali temperaturi zraka in s tem vpliv mejne plasti. V neogrevanem podstrešju je bila temperatura bolj konstantna kot na prejšnjem merilnem mestu. Vrednosti so prikazane na grafikonu (Grafikon 7). Za izračun toplotne prehodnosti tega konstrukcijskega sklopa smo vzeli podatke v noči med 21. in 22. februarjem (od 1:00 do 7:30) in sicer gostoto toplotnega toka ter temperaturno razliko, kot je to prikazano na grafikonu (Grafikon 8).

Grafikon 7: Časovno spreminjanje gostote toplotnega toka in temperature zraka/površine stropa proti neogrevanemu podstrešju



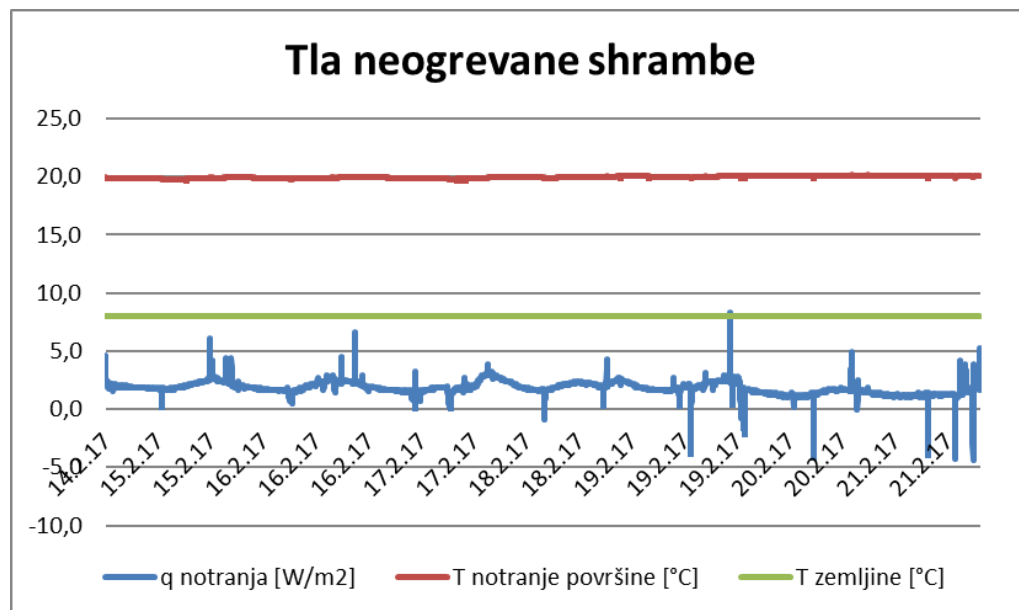
Grafikon 8: Časovno spreminjanje gostote toplotnega toka in temperaturne razlike v okolici stropa proti neogrevanemu podstrešju



3.4.5 TLA NEOGREVANE SHRAMBE

Pri meritvah na tleh neogrevane shrambe smo uporabili le rezultate meritev gostote toplotnega toka na notranji strani talne konstrukcije. Za temperaturno razliko smo upoštevali temperaturo neogrevanih tal shrambe in projektno temperaturo zemljine, ki znaša 8°C. Za izračun toplotne prehodnosti tega konstrukcijskega sklopa smo vzeli podatke v noči med 18. in 19. 2. 2017 (od 0:00 do 5:00). Omenjene količine so prikazane na grafikonu (Grafikon 9).

Grafikon 9: Časovno spreminjanje gostote toplotnega toka in temperature na površini tal neogrevane shrambe



Za izračun toplotne prehodnosti U (W/(m² K)) smo uporabili enačbo

$$U = \frac{q}{T_n - T_z} \quad (1)$$

kjer so:

q....gostota toplotnega toka (W/m²)

T_n...notranja temperatura (°C)

T_z...zunanja temperatura (°C)

Toplotne prehodnosti posameznih konstrukcijskih sklopov na izbranih merilnih mestih so zbrane v preglednici (Preglednica 3).

Preglednica 3: Prikaz toplotne prehodnosti posameznih konstrukcijskih sklopov

Št. mer. mesta	Konstrukcija	Toplotna prehodnost U (W/(m ² K))
1	SZ stena	0,1095
2	JZ stena	0,1073
3	Strop v sestavi poševne strehe	0,0700
4	Strop proti neogrevanemu podstrešju	0,0907
5	Tla v neogrevani shrambi	0,1576

Nizka vrednost toplotne prehodnosti U kaže na energijsko učinkovitost in s tem varčnost stavb. Zato PURES in Tehnična smernica določata maksimalne dovoljene vrednosti le-te.

3.5 Izdelava računske energetske izkaznice

Po *Pravilniku o metodologiji izdelave in izdaji energetskih izkaznic* (Uradni list RS št. 92-3699/2014:10302) ločimo dve vrsti energetskih izkaznic:

- računska energetska izkaznica, ki se izdelava na osnovi izračunanih energijskih kazalnikov rabe energije stavbe, je namenjena stanovanjskim stavbam;
- merjena energetska izkaznica, ki se izdelava na osnovi meritev rabe energije, je namenjena nestanovanjskim stavbam.

Energijski kazalniki za računsko energetsko izkaznico so:

- letna potrebna toplota za ogrevanje stavbe na enoto uporabne površine stavbe (kWh/m²a),
- letna dovedena energija za delovanje stavbe na enoto uporabne površine stavbe (kWh/m²a),
- letne emisije CO₂ zaradi delovanja stavbe na enoto uporabne površine stavbe (kg/m²a).

Stavbo se glede na letno potrebno toploto za ogrevanje na enoto uporabne površine stavbe uvrsti v razred energijske učinkovitosti (od A1 do G). Na osnovi drugih dveh omenjenih meril se stavbe ne razvršča v razrede, temveč se energijske kazalnike prikaže na barvnem traku.

3.5.1 POSTOPEK IZDELAVE

Za izdelavo vzorčne energetske izkaznice je danes na voljo več različnih komercialnih programov proizvajalcev toplotnoizolacijskih materialov. Za naš izračun smo se odločili uporabiti brezplačno dostopen program ArchiMAID, podjetja FIBRAN NORD d.o.o. Le-ta pri izračunih energijske učinkovitosti stavbe upošteva skladnost z določili PURES, Tehnične smernice, Pravilnika o prezračevanju in klimatizaciji stavb in Pravilnika o metodologiji izdelave in izdaji energetskih izkaznic stavb.

V nadaljevanju je predstavljen postopek izračuna energetske izkaznice. Vrstni red vnosa posameznih podatkov sledi zaporedju korakov v programu.

Najprej smo vnesli podatke o natančni lokaciji objekta (geografske koordinate), namembnosti objekta, št. etaž, vrsti objekta (stanovanjski, nestanovanjski...), datum PGD. Z opredelitvijo natančnih koordinat objekta program dostopa do podatkov o lokalnih temperaturah. Datum PGD vpliva na izbor nekaterih mejnih vrednosti, ker so do konca leta 2014 veljale manj stroge zahteve, ki jih predpisuje 21. člen PURES.

Navedli smo vrste energentov, potrebnih za delovanje objekta (toplota iz okolja in električna energija). Pri računski ceni električne energije smo upoštevali le variabilni del cene ponudnika brez davka na dodano vrednost, kar smo ovrednotili v višini 0,10 €/kWh.

Vnesli smo projektne temperature, pri čemer program dopušča le višino notranjih temperatur, ki jih za projektiranje določa PURES (zimsko 20 °C, letno 26 °C). Zunanjo letno temperaturo program preračuna sam na osnovi privzetih podnebnih podatkov za izbrano lokacijo.

Stavbo smo upoštevali kot lahko, srednje zaščiteno glede na konfiguracijo okolice in z večstransko izpostavljenostjo vetru.

Izbrali smo podrobno opredelitev vpliva toplotnih mostov.

Izbrali smo možnost osnovnega načina izračuna notranjih dobitkov z upoštevanjem pavšalne vrednosti, ki po PURES za stanovanjske stavbe znaša 4 W/m².

Pri izračunu nas je zanimala predvsem prostornina znotraj toplotnega ovoja stavbe, zato smo izbrali poenostavljen račun toplotne kapacitete stavbe, ki ne opredeljuje notranjih konstrukcij.

Program določi obdobje kurilne sezone na podlagi razpoložljivih kart temperaturnega primanjkljaja za lokacijo objekta; v našem primeru naj bi trajala od 17. 9. do 25. 5.

Celotno območje znotraj toplotnega ovoja hiše smo obravnavali kot eno kondicionirano cono, ker površina neogrevane shrambe ne presega 20 % celotne površine stavbe, kolikor znaša omejitve po PURES. Vnesli smo podatke o velikosti ogrevane cone (višina, dolžina, širina, število etaž, povprečna višina etaže, notranja temperatura, bruto ogrevana prostornina in uporabna površina. Program zahteva vnos notranje temperature 20 °C, kolikor znaša projektna notranja temperatura. Ogrevanje deluje neprekinjeno, brez znižanja temperature ob koncu tedna.

Definirali smo karakteristike in površine posameznih konstrukcijskih sklopov, ki sestavljajo zunanji toplotni ovoj hiše. Vsi konstrukcijski sklopi so že opisani v točki 3.2.2.

Na osnovi opredeljenih parametrov gradbene fizike program izračuna toplotno prehodnost U (W/(m² K)) vsakega posameznega konstrukcijskega sklopa in pripadajoče toplotne izgube.

Kljub temu da vidna linijska toplotna mostova nista posebej izrazita, sta bila vključena pri upoštevanju toplotnih izgub. Točkovnih toplotnih mostov ni.

Za izračun toplotnih izgub skozi tla smo vnesli podatke o površini in obsegu talne plošče ter vrsto tal, na katerih se le-ta nahaja. Program na osnovi vnesenih parametrov gradbene fizike izračuna toplotno prehodnost in posledične toplotne izgube.

Za izračun toplotnih izgub zaradi prezračevanja smo vnesli podatek o izkoristku sistema za pridobitev odpadne toplote in stopnji izmenjave zraka. Po podatkih proizvajalca prezračevalne naprave naj bi ta v povprečju vračala 85 % toplote odpadnega zraka (HELIOS, 2012).

Pri zavihkih v nadaljevanju je potrebna velika mera poznavanja strojniškega področja.

Zavihek za opis podsistema ogrevala zahteva vnos podatkov o faktorjih učinkovitosti talnega gretja. V hiši je inštaliran standardni nizkotemperaturni sistem talnega ogrevanja s ploskovnimi ogrevali, vgrajenimi po mokrem sistemu.

V zavihek, ki se nanaša na HVAC sistem, smo vnesli podatke o lastnostih prezračevalne naprave, času njenega obratovanja in načinu vračanja odpadne toplote ter vrstah vgrajenih filtrov. Za ogrevanje je vnesen podatek o vrsti in volumnu hranilnika toplote.

V zavihku za izračun dovedene energije za hlajenje smo vnesli zahtevane podatke o mehanskem prezračevanju, zaradi česar so se nerazumno dvignili prikazani stroški električne energije glede na realno obstoječe, ker program to uporabi kot porabljeno električno energijo

za dejansko hlajenje stavbe ne pa za mehansko prezračevanje. Odločili smo se, da teh podatkov ne vključimo v končni izračun.

V zavihku o razsvetljavi smo označili uporabo sijalk.

V zavihkih, ki se nanašajo na podsystem razvoda ogrevalnega sistema, je treba vnesti podatke o hidravlični uravnoteženosti sistema in linijski toplotni prevodnosti izolacije cevi.

Za sistem priprave tople vode smo vnesli število dni rabe tople vode na teden, vrsti generatorja toplote za pripravo tople vode, linijski toplotni prevodnosti izolacije razvodnih cevi ter volumnu in toplotnih izgubah hranilnika tople vode.

Pri toplotni črpalki je treba definirati vrsto le-te, vrsto uporabe (ogrevanje in/ali priprava tople vode), toplotno moč in grelni število.

Na podlagi vnesenih podatkov program izračuna in izpiše energetske izkaznice, izkaz energijskih lastnosti stavbe in elaborat gradbene fizike za področje učinkovite rabe energije v stavbah.

3.5.2 GLAVNI REZULTATI ENERGETSKE IZKAZNICE

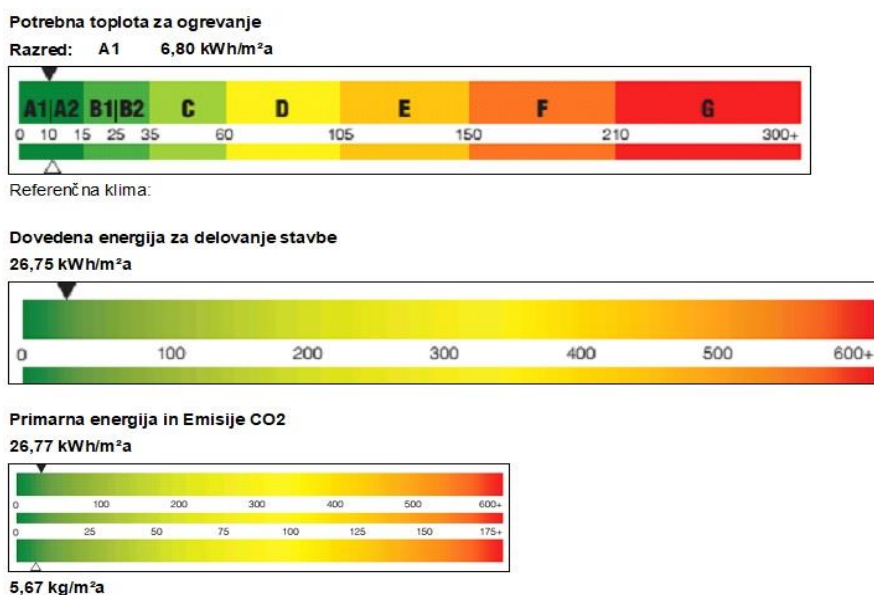
Na podlagi energetske izkaznice je stavba uvrščena v razred energetske učinkovitosti A1, kamor po *Pravilniku o metodologiji izdelave in izdaji energetskih izkaznic stavbe* (Uradni list RS št. 92-3699/2014:10302) uvrščamo objekte, katerih letna potrebna toplota za ogrevanje stavbe na enoto uporabne površine znaša največ 10 kWh/m²a.

Izračunana letna potrebna toplota za ogrevanje stavbe na enoto uporabne površine znaša 6,80 kWh/m²a.

Letna dovedena energija za delovanje stavbe na enoto uporabne površine stavbe po izračunih znaša 26,75 kWh/m²a.

Izračunane letne emisije CO₂ zaradi delovanja stavbe na enoto uporabne površine stavbe znašajo 5,67 kg/m²a.

Rezultati so prikazani tudi na barvnem traku na sliki (Slika 30).



Slika 30: Grafični prikaz rezultatov energetske izkaznice

Z izdelavo računske energetske izkaznice stavbe smo po podatku o zrakotesnosti hiše potrdili tudi izpolnitev dodatnih dveh pogojev, na podlagi katerih je stavba definirana kot pasivna.

Prikazane vrednosti za izpolnitev pogojev so navedene tudi v preglednici (Preglednica 4). Vrednosti, ki ustrezno izpolnjujejo pogoje, smo prikazali z zeleno barvo.

Preglednica 4: Prikaz izpolnjevanja zahtevanih pogojev

Kriterij	Računska vrednost	Omejitev po PURES
Letna potrebna toplota za ogrevanje (kWh/m ²)	6,8	≤ 15
Letna poraba primarne energije (kWh/m ²)	26,77	≤ 120

3.6 Primerjava izmerjenih vrednosti energijskih kazalnikov z rezultati izračunov

Tehnična smernica predpisuje vrednosti največjih dovoljenih toplotnih prehodnosti posameznih konstrukcijskih sklopov, ki sestavljajo zunanji toplotni ovoj stavbe.

Vrednosti toplotne prehodnosti, ki smo jih izračunali na podlagi izvedenih meritev, smo primerjali z računskimi vrednostmi, pridobljenimi v postopku izdelave energetske izkaznice in zakonsko določenimi omejitvami. Primerjava vrednosti je podana v spodnji preglednici (Preglednica 5).

Tako merjene kot računske toplotne prehodnosti so v okvirih določil Tehnične smernice. Vrednosti, ki ustrezajo pogojem, smo pobarvali z zeleno barvo. Vidimo lahko, da toplotna prehodnost dveh konstrukcijskih sklopov (strop proti neogrevanemu podstrešju in tla neogrevane shrambe), izračunana na osnovi merjenih energijskih kazalnikov, nekoliko presega vrednosti računske toplotne prehodnosti, zato smo ti dve vrednosti označili s svetlejšo barvo.

Preglednica 5: Primerjava vrednosti toplotne prehodnosti

	U _{merjena} (W/m ² K)	U _{računska} (W/m ² K)	U _{max} (W/m ² K)
Zunanja stena	0,1095	0,1241	0,28
Strop v sestavi poševne strehe	0,0700	0,0847	0,20
Strop proti neogrevanemu podstrešju	0,0907	0,0803	0,20
Tla neogrevane shrambe	0,1576	0,1128	0,35

3.7 Primerjava izmerjenih vrednosti kazalnikov kakovosti notranjega okolja z zakonsko določenimi in priporočenimi vrednostmi

V diplomski nalogi smo se osredotočili na izbrane kazalnike kakovosti notranjega zraka, toplotnega, svetlobnega in zvočnega udobja.

Z namenom analizirati te aspekte objekta smo opravili meritve izbranih kazalnikov kakovosti notranjega okolja in jih analizirali. Pri tem smo uporabljali prej predstavljene merilne inštrumente.

3.7.1 KAKOVOST NOTRANJEGA ZRAKA

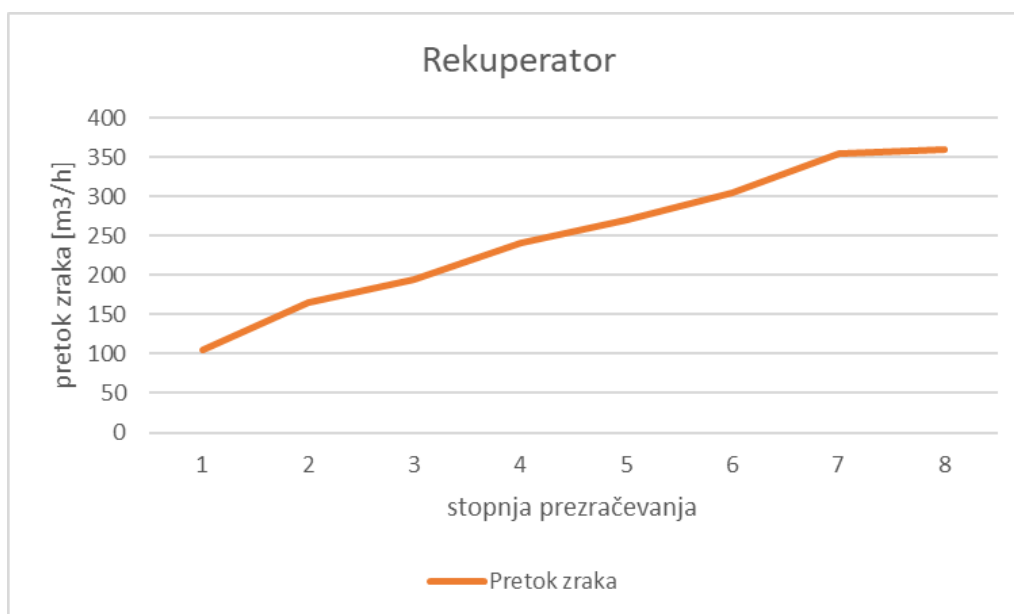
Ljudje preživimo večino svojega časa v zaprtih prostorih. Le-ti so lahko že sami po sebi povzročitelji onesnaženja. Nepremišljeno izbrani materiali, iz katerih je zgrajen objekt, in iz katerih je izdelana njegova oprema, so lahko vir emisij različnih onesnaževalcev. Kakšen zrak dihamo v prostorih, je odvisno od notranjih virov, zunanjih virov, učinkovitosti prezračevanja in življenjskih navad.

Najpogostejši onesnaževalci zraka v notranjih prostorih so formaldehid (pohištvo, izolacijski materiali), azbestna vlakna (kritine), tobačni dim, radon, klor (uporaba agresivnih čistil), CO₂, CO (nepravilno izgorevanje) in ostali.

Zanimivo je, da so z zakonodajo zelo natančno določene dovoljene mejne vrednosti prisotnih snovi v zunanjem zraku. Področje kakovosti zraka v notranjem okolju je slabo regulirano. Vrednosti so določene le za izbrane onesnaževalce v delovnem okolju, v bivalnem je to področje še neurejeno.

Ljudje se običajno ravnamo le po svojem občutku in za zadostno količino in svežino zraka poskrbimo z odpiranjem oken. V obravnavani stavbi se zrak izmenjuje s pomočjo naravnega prezračevanja in prezračevalne naprave. Moč njenega delovanja je možno regulirati v razponu osmih stopenj, glede na potreben pretok zraka. Medsebojno razmerje je prikazano na grafikonu (Grafikon 10). Stopnja nastavitve je odvisna od potreb glede na število prisotnih oseb in njihove aktivnosti.

Grafikon 10: Prikaz pretoka zraka glede na stopnjo prezračevanja



Učinkovitost prezračevalne naprave z vidika čistosti notranjega zraka je odvisna med drugim tudi od rednih menjav filtrov. Dovodni zrak gre ob vstopu skozi filtre, kjer se prečistijo trdi in fini delci. Odvodni (izrabljen) zrak se prav tako filtrira, da se s tem zaščiti onesnaženje toplotnega izmenjevalca. Posledica filtriranja zraka je vidna na spodnji sliki (Slika 31).



Slika 31: Stanje filtrov prezračevalne naprave po enomesečni uporabi v zimskem obdobju

V okviru te diplomske naloge smo nivo kakovosti notranjega zraka ugotavljali le na osnovi meritev absolutne koncentracije ogljikovega dioksida v različnih prostorih in s tem posredno preverili ustreznost nastavljene stopnje prezračevalne naprave. Prisotnosti koncentracij morebitnih drugih onesnaževalcev nismo preverjali.

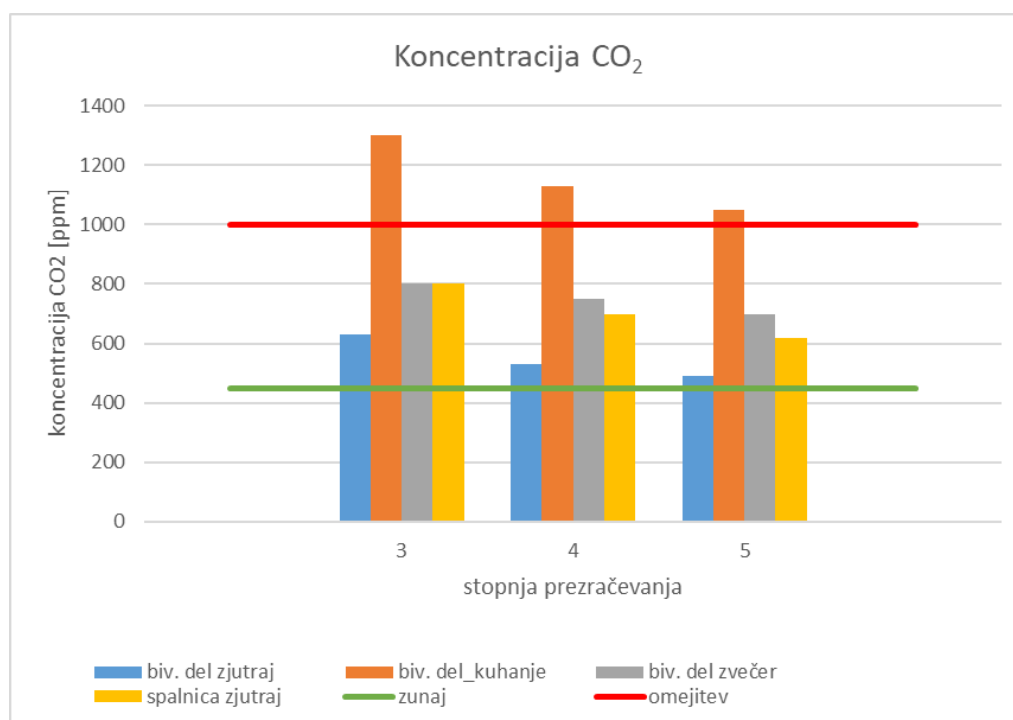
Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb (Uradni list RS št. 42-2013/2002:4139 in Uradni list RS št. 105-5224/2002:12315) določa kot največjo dovoljeno vrednost koncentracije CO₂ 3000 mg/m³ oz. 1548 ppm.

ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2004 priporoča vrednost koncentracije CO₂ do 1000 ppm.

Koncentracija CO₂ v notranjem prostoru ne more biti manjša od zunanje koncentracije. Standard EN 15251:2007 pravi, da sme vrednost koncentracije CO₂ v notranjem prostoru znašati največ 500ppm več kot zunanja koncentracija CO₂ (kar skupaj znaša 950 ppm).

Meritve so bile izvedene pri treh različnih stopnjah delovanja prezračevalne naprave (3, 4 in 5). V bivalnem delu smo jih opravili zjutraj, neposredno po kuhanju in zvečer. Koncentracijo CO₂ smo preverili še zjutraj v spalnici in zunaj. Vrednosti meritev so prikazane na spodnjem grafikonu (Grafikon 11). V času kuhanja so vrednosti meritev pri vseh treh nastavitvah stopnje delovanja rekuperatorja pokazale večje odstopanje od vrednosti v ostalih prostorih in celo prekoračile priporočeno vrednost 1000 ppm (rdeča linija na grafikonu).

Grafikon 11: Koncentracija CO₂, izmerjena v obdobju od 24. 12.2017 do 3.1.2018



V obdobju meseca februarja 2017 so bile v spalnici opravljene dodatne meritve v času preurejanja garderobe, zaradi česar so bile v spalnici odložene večje količine tekstila. Meritve koncentracije CO₂ so pokazale ob delovanju rekuperatorja na 3. stopnji povečanje vrednosti tudi do 1043 ppm.

3.7.2 TOPLOTNO UDOBJE

Toplotno udobje imenujemo stanje, ki ga človek v procesu izmenjave toplote z okoljem ne glede na oblečenost in aktivnost dojema kot nemoteče. Človekov občutek toplotnega udobja je subjektiven in se spreminja v odvisnosti od številnih dejavnikov (spol in starost osebe,

psihofizične sposobnosti, fizikalne lastnosti okolja) (Dovjak, M. 2016). V inženirski praksi je toplotno okolje definirano s fizikalnimi količinami, ki jih je mogoče izmeriti. Glede na možna odstopanja zaradi subjektivnosti zaznave se vrednosti kazalnikov toplotnega udobja navajajo v območjih, ki po statistikah ustrezajo večini ljudi. Najpomembnejši kazalniki toplotnega udobja so temperatura notranjega zraka, srednja sevalna temperatura obodnih površin, relativna vlažnost zraka in hitrost gibanja zraka. Na toplotno udobje vplivata tudi obleka in metabolizem. Vsi ti dejavniki delujejo sočasno, zato so medsebojni vplivi povezani. Posledično se po pomembnosti nobenega od njih ne da postaviti na preferenčno mesto. Nekatere kazalnike toplotnega udobja neposredno izmerimo, nekatere pa izračunamo na podlagi združevanja vrednosti posameznih kazalnikov (Dovjak, 2016).

Analizo omenjenih kazalnikov toplotnega udobja smo opravili na osnovi meritev znotraj t. i. bivalne cone.

3.7.2.1 Temperatura notranjega zraka in relativna zračna vlažnost

Temperatura notranjega zraka je temperatura zraka v okolici človeškega telesa v bivalni coni, merjena na višini 1,1 m nad tlemi.

Relativna zračna vlažnost predstavlja razmerje delnega pritiska vodne pare v mešanici plinov, ki sestavljajo zrak in vodno paro in nasičenega pritiska vodne pare pri določeni temperaturi zraka.

Meritve so bile opravljene v mesecu februarju in avgustu. Uporabili smo merilnik temperature in relativne zračne vlažnosti Ahlborn ALMEMO FHA 646-1. Vrednosti meritev temperature notranjega in zunanjega zraka ter zunanje in notranje relativne zračne vlage so prikazane v preglednici (Preglednica 6 in na grafikonih (Grafikon 12 in Grafikon 13).

Preverili smo, ali so izmerjene vrednosti v okvirih predpisanih vrednosti. *Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb* predpisuje, da je za toplotno udobje sedeče osebe potrebna temperatura od 22 °C do 26 °C v obdobju brez ogrevanja (priporočljivo od 23 °C do 25 °C) in od 19 °C do 24 °C v obdobju ogrevanja (priporočljivo od 20 °C do 22 °C).

Isti pravilnik določa, da sme biti relativna zračna vlažnost pri temperaturi od 20 °C do 26 °C od 30 % do 70 %, za stanovanjske objekte pa je priporočena vrednost pod 60 %. Površinska temperatura tal sme znašati od 17 °C do 26 °C, pri sistemu talnega ogrevanja do 29 °C.

Izmerjene vrednosti temperature zraka v mesecu februarju so v okviru zakonskih zahtev, vendar najvišja izmerjena temperatura zraka nekoliko presega priporočeno območje. V mesecu avgustu je najnižja izmerjena vrednost nekoliko pod spodnjo mejo zakonskega določila, vendar gre za temperaturo, izmerjeno v nočnem času.

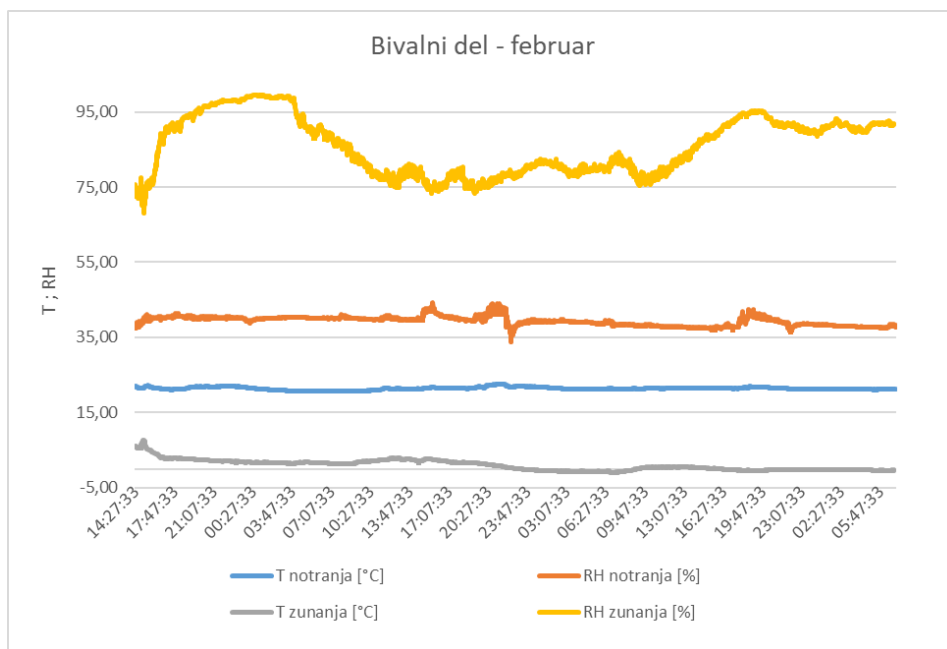
Izmerjene vrednosti relativne zračne vlažnosti v mesecu februarju so sicer v okvirih zakonskih določil, vendar so vrednosti glede na priporočila zelo nizke. V mesecu avgustu so vrednosti relativne zračne vlažnosti precej visoke. Prekoračene so tako zakonsko določene vrednosti kot vrednosti, priporočene za stanovanjske prostore. Z rdečo barvo smo pobarvali vrednosti, ki so prekoračile tako zakonske kot priporočene meje. Z rumeno barvo smo pobarvali vrednosti, ki so v okviru zakonsko določenih, a izven priporočenih meja. Z zeleno barvo smo pobarvali vrednosti, ki so znotraj obeh območij.

Preglednica 6: Minimalne in maksimalne vrednosti izmerjenih temperatur in zračne vlage

Kazalnik kakovosti notr. okolja	Obdobje meritve	
	Februar	Avgust
$T_{\text{notranja}} (^{\circ}\text{C})$	20,6–22,6	21,7–25,8
$T_{\text{zunanja}} (^{\circ}\text{C})$	-1,0–7,6	18,3–37,8
$RH_{\text{notranja}} (\%)$	33,9–44,3	66,9–81,4
$RH_{\text{zunanja}} (\%)$	68,1–99,7	29,8–90,3

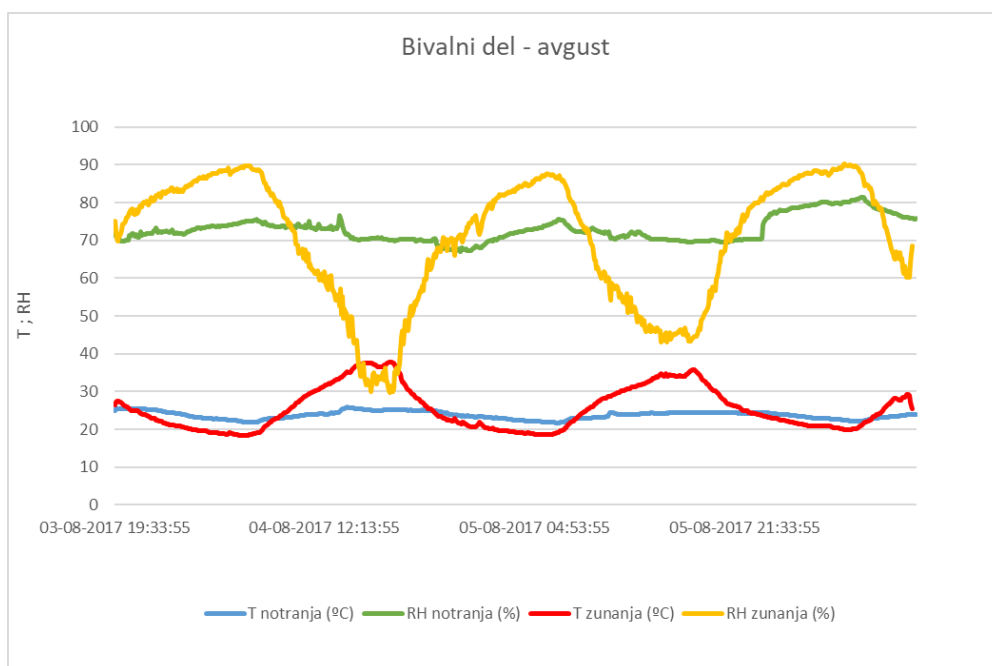
Grafikon 12 prikazuje časovno spreminjanje notranje in zunanje temperature zraka in relativne zračne vlažnosti v zimskem obdobju. Vidna so zmerna nihanja stopnje zunanje zračne vlage, medtem ko so ostali prikazani kazalniki v opazovanem času precej enakomerni. Kot smo že navedli v preglednici (Preglednica 6), so vrednosti notranje relativne zračne vlažnosti precej nizke.

Grafikon 12: Spreminjanje temperature zraka in relativne zračne vlažnosti v mesecu februarju



Grafikon (Grafikon 13: Spreminjanje temperature in relativne zračne vlažnosti v mesecu avgustu) prikazuje časovno spreminjanje notranje in zunanje temperature zraka in relativne zračne vlažnosti v poletnem obdobju, v času vročinskega vala, ko so zunanje temperature zraka dosegale tudi čez 35 °C. Opaziti je veliko nihanje zunanje zračne vlažnosti. Notranja

Grafikon 13: Spreminjanje temperature in relativne zračne vlažnosti v mesecu avgustu



zračna vlažnost je kljub temu precej enakomerna, vendar njene vrednosti presegajo priporočene oziroma celo dovoljene vrednosti.

3.7.2.2 Površinska temperatura, srednja sevalna temperatura in občutena temperatura

Ta dva parametra sta pridobljena z združevanjem rezultatov meritev.

Srednja sevalna temperatura je bila izračunana na osnovi izmerjenih površinskih temperatur obodnih površin, ki smo jih pridobili z IR merilnikom temperature VOLTcraft IR 900-30S. Meritve smo opravili na vseh obodnih površinah, do katerih je bilo mogoče dostopati glede na razpored pohištva in ostale stanovanjske opreme. Na vsaki dostopni obodni površini prostora smo **površinsko temperaturo** izmerili v petih točkah: v sredini prostora in v bližini vogalov. Povprečne vrednosti meritev nam da srednjo sevalno temperaturo površine. Ta se spreminja v odvisnosti od toplotne prehodnosti površine, prisotnosti ploskovnega ogrevanja in njene stopnje obsijanosti s soncem. Večje temperaturne razlike med dvema nasproti ležečima površinama dajejo občutek lokalnega toplotnega neudobja. Srednjo sevalno temperaturo izračunamo kot povprečje temperature vseh obodnih površin prostora.

Rezultati meritev površinskih in izračunanih srednjih sevalnih temperatur v vseh prostorih so prikazani v preglednici (Preglednica 7). Posebej smo obravnavali le bivalni del, kjer se uporabniki največ zadržujejo.

Srednja sevalna temperatura ima vpliv na naš občutek zaznave toplote iz okolja.

Občutena temperatura je temperatura, ki jo občutimo v prostoru, v katerem so vsi ostali fizikalni dejavniki idealni. Pri temperaturni razliki med temperaturo zraka in srednjo sevalno temperaturo, ki je manjša od 4 °C, se občutena temperatura izračuna kot srednja vrednost med temperaturo zraka in srednjo sevalno temperaturo v prostoru (*Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb*, (Uradni list RS št. 42-2013/2002:4139 in Uradni list RS št. 105-5224/2002:12315)). Isti pravilnik priporoča, da se v času ogrevanja občutena temperatura giblje med 19 °C in 25 °C.

Za izračun smo uporabili enačbo:

$$T_0 = \frac{(T_{zn} + T_{mr})}{2} \quad (2)$$

kjer je

T_ooperativna temperatura (°C)

T_{zn}temperatura zraka v prostoru (°C)

T_{mr}srednja sevalna temperatura (°C)

Meritve površinske temperature obodnih površin so se izvajale ob 7. uri zjutraj, sočasno z meritvami temperature notranjega zraka in relativne zračne vlažnosti.

Rezultati kažejo, da vrednosti površinskih temperatur tal v vseh prostorih ustrezajo zakonskim določilom (*Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb*, 2002).

Razlike med vrednostmi srednje sevalne temperature obodnih površin so zelo majhne.

Občutena temperatura v bivalnem delu hiše je prav tako v okvirih priporočil *Pravilnika o prezračevanju in klimatizaciji stavb*, (Uradni list RS št. 42-2013/2002:4139 in Uradni list RS št. 105-5224/2002:12315).

Preglednica 7: Srednja sevalna temperatura in občutena temperatura v bivalnem delu

Stene/tla/strop v prostoru	Povprečje površinske temp. T_p (°C)	Srednja sevalna temperatura (°C)	Bivalni del		
dnevna soba notr. les. stena	19,58		Zrak	T(°C)	RH (%)
dnevna soba stena	19,16		08.02.2017	20,68	40,00
dnevna soba stena	19,04				
jedilnica stena	18,54		Srednja sevalna temperatura:		
jedilnica stena	18,58		$T_{mr} =$	19,26	°C
bivalni del tla	19,98		Občutena temperatura:		
bivalni del strop	19,92	19,26	$T_o =$	19,97	°C
shramba tla	18,96				
kotlovnica stena	19,50				
Kotlovnica stena	19,15	19,33			
spalnica tla	17,96				
spalnica stena	18,68				
Spalnica stena	18,60				
spalnica strop	18,64				
spalnica notranja stena	18,56	18,49			
hodnik notranja stena	19,36				
shramba stena	19,00				
Stopnišče stena	17,50				
otroška soba zunanja stena	18,58				
otroška soba zunanja stena	18,66				
otroška soba not. stena	19,00				
otroška soba not. stena	18,95				
otroška soba tla	21,76				
otroška soba strop	19,34				
otroška soba poševnina	19,02	19,33			

3.7.3 SVETLOBNO UDOBJE

Primerno osvetljeni prostori nam nudijo prijetno okolje za opravljanje vsakodnevnih obveznosti in počitek. S primerno osvetlitvijo mislimo na zadostno količino svetlobe v potrebnem prostoru ob pričakovanem času. To nam omogoča, da v pogojih dobre vidljivosti opravljamo različne dejavnosti brez večjega vizualnega naprezanja. Bivanje v slabih svetlobnih pogojih ima negativen vpliv na naše splošno počutje, razpoloženje, delovno učinkovitost in kar je najpomembnejše – na naše zdravje (Joint European Project JEP-1802 and authors. 1993. 1 Indoor Comfort and Environmental Quality). Dnevna svetloba regulira naš cirkadiani ritem in ima na organizem tako vizualne kot nevizualne pozitivne učinke.

Bivalno okolje naj bi imelo čim več razpoložljive naravne svetlobe, ki je nujno potrebna za zdravje, udobje in storilnost. Potrebno dodatno osvetlitev dosežemo z električno razsvetljavo in sicer s pravilno razporeditvijo svetil in zadovoljivo močjo njihove svetilnosti.

Zadovoljivo količino naravne svetlobe si zagotovimo z vgradnjo ne le zadostne količine zastekljenih površin, temveč tudi z njihovo optimalno orientacijo glede na strani neba (S, J, V, Z). To je priporočljivo upoštevati tudi pri razporedu posameznih prostorov glede na namembnost (prostori, v katerih se zadržujemo več časa, naj bi imeli več svetlobe). Zavedati se moramo, da sta vizualno in toplotno udobje tesno povezana. Skozi zastekljene površine namreč zaradi sončnega obsevanja poleg svetlobe prihaja tudi toplota. V zimskem času je zaželeno, da s sončnim sevanjem pride v prostor več svetlobe in tudi več toplote, ker nam to zmanjšuje stroške porabe energije. V poletnem času z namenom preprečevanja pregrevanja prostorov poleg kvalitetne zasteklitve uporabimo zunanje žaluzije, ki s pravilno nastavitvijo naklona lamel ne preprečujejo pogleda na zunanje okolje, omejijo pa prehod toplote v prostor.

Analiziran objekt sledi tem trendom. Bivalni prostori so orientirani na jugovzhodno in jugozahodno stran neba. Spalnica v pritličju je orientirana na vzhod, otroška soba v mansardi na JZ in delovna soba v mansardi na JV. Oba omenjena prostora v mansardi imata tudi strešno okno. Pri uporabi zunanjih premičnih žaluzij je upoštevano tudi dnevno gibanje sonca: najprej so zasenčena samo okna na jugovzhodni steni, nato na jugozahodni. To omogoča pogled na ozelenjeno okolico hiše in zmanjšuje občutek izoliranosti od zunanjega okolja, kar predstavlja pozitiven psihološki vidik vizualnega udobja.

Mi smo se osredotočili na meritve nivoja osvetljenosti L (lx) z naravno dnevno svetlobo. Osvetljenost je merilo za jakost vpadajoče svetlobe. Meritve so bile opravljene v zimskem obdobju, v razmerah oblačnega in jasnega vremena brez direktnega sonca, kot je to prikazano v spodnji preglednici (Preglednica 8). V dnevni in otroški sobi smo meritve opravili ločeno za del, kjer je potrebne več svetlobe (bralni kotiček in pisalna miza), in za del, kjer jo zadošča manj (sedežna garnitura in igralni del sobe). Uporabili smo merilnik osvetljenosti VOLTcraft DT 8820.

Za stanovanjske prostore velja priporočilo, da znaša osvetljenost prostora, merjena na višini delovne ravnine, vsaj 300 lx. Ta osvetljenost naj bi bila v čim večji meri dosežena z naravno svetlobo, sicer pa z (d)osvetljevanjem s pomočjo svetil.

Rezultati meritev kažejo, da so v razmerah jasnega vremena tudi brez direktnega sončnega obsevanja vsi prostori naravno dovolj osvetljeni. V oblačnem vremenu so vse vrednosti precej nižje. V igralnem delu otroške sobe je vrednost na priporočeni meji, v jedilnici pa je zaradi preslabe osvetljenosti potrebna dodatna razsvetljava prostora (rdeča barva). Vrednosti, ki so znotraj zakonsko določenih in priporočenih meja, so označene z zeleno barvo.

Preglednica 8: Prikaz rezultatov meritev osvetljenosti z naravno svetlobo

Osvetljenost z naravno svetlobo L (lx)		17. 12. 2017	6. 1. 2018
Merilno mesto	Prostor	Jasno vreme brez direktnega sonca	Oblačno vreme
	Zunaj	14100	2820
10	Jedilnica	1327	170
11	Dnevna soba - sedežna garnitura	1520	530
12	Dnevna soba - bralni kotiček	4320	1670
13	Otroška soba - igralni del	980	300
14	Otroška soba - pisalna miza	2050	550

3.7.4 RAVEN HRUPA

Pravilnik o zvočni zaščiti stavb (Uradni list RS, št. 14-687/1999:1306) navaja, da je hrup vsak zvok, ki vzbuja nemir, moti človeka pri delu ali počitku in škoduje njegovemu zdravju ali počutju.

S pravilnikom so določene mejne vrednosti ravni hrupa za dnevni in nočni čas, ki ne smejo biti presežene. Le te znašajo za stanovanjske prostore 40 dB podnevi in 35 dB ponoči.

Glede na bližino cerkve in ceste, ki je ob prometnih konicah precej obremenjena, smo se odločili preveriti ali vrednosti ravni hrupa presegajo zakonsko dovoljene.

Meritve so bile v našem primeru izvedene samo v dnevnem času. Na bližnji cesti smo jih izvedli samo v času dveh prometnih konic, ki trajata približno po eno uro v jutranjem in popoldanskem času. Glede na zahteve pravilnika, so bile opravljene v opremljenih prostorih, na sredini, pri zaprtih oknih in vratih. Uporabili smo merilnik ravni hrupa VOLTCRAFT DT 8820.

Rezultati kažejo, da so v notranjih prostorih ravni hrupa glede na zunaj izmerjene vrednosti precej zmanjšane, a še vedno močno presegajo dnevne omejitve, ki jih določa *Pravilnik o zvočni zaščiti stavb* (Uradni list RS, št. 14-687/1999:1306). Vrednosti se spreminjajo glede na lego prostora oz. z oddaljenostjo od vira hrupa.

Preglednica 9: Prikaz ravni hrupa v dB

Bivalno okolje	MIRNO OKOLJE (dB)	PROMET (dB)	CERKVENI ZVON (dB)	OMEJITEV PODNEVI (dB)
Zunaj	37,5	62	82	40
Predsoba	38,8	52	54	40
Bivalni del	40,0	46	48	40
Spalnica	38,5	45	44	40
Otroška soba	39,0	42,8	40	40

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

Ugotovili smo, da so izračunane vrednosti toplotne prehodnosti, osnovane na rezultatih meritev energijskih kazalnikov tako kot tudi računskih vrednostih iz programa ArchiMAID, v okviru dovoljenih vrednosti, ki jih predpisuje Tehnična smernica. Vrednosti so veliko nižje od dovoljenih. Zanima nas razlog odstopanja »merjene« vrednosti toplotne prehodnosti tal neogrevane shrambe od računske. Predvidevamo, da prihaja do razlike v rezultatu zaradi različne izbire temperature temeljnih tal. Le-te se ne da direktno izmeriti, zato smo predpostavili projektno temperaturo zemljine (8°C). Vhodnega podatka programa ne poznamo.

Pri izdelavi računske energetske izkaznice smo se soočili z omejitvami uporabljenega programa. Program omogoča opcijo izračuna za PGD in za že izvedeno gradnjo. Pri vnosu letnih in zimskih notranjih temperatur omogoča le vrednosti temperatur, ki jih določa PURES (20°C in 26°C), torej v primeru stavbe, ki je že v uporabi, ni mogoče vnesti realne temperature, na katero se objekt ogreva.

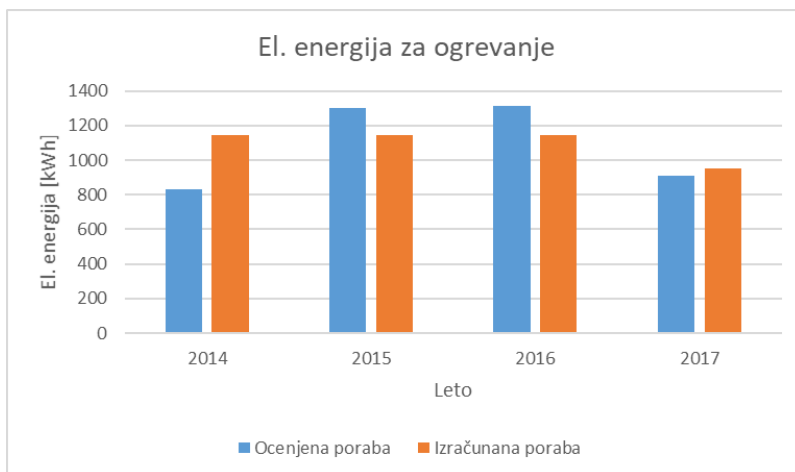
Za razmere izbrane stavbe, je samodejno ponujeno obdobje kurilne sezone v primeru zmerne zime predolgo, vendar program ne omogoča vnosa dolžine kurilne sezone po lastni presoji. Ta opcija je na voljo le za objekte izven Slovenije in ob predpostavki, da so na voljo lastni klimatski podatki (ki jih nismo imeli).

Notranjih toplotnih dobitkov za stanovanjsko stavbo ni mogoče natančno ovrednotiti, kljub znanemu številu uporabnikov prostorov in drugih notranjih virov toplotnih dobitkov, ker je natančen izračun možen le za nestanovanjske stavbe. Za stanovanjske objekte se v skladu s PURES upošteva pavšalna vrednost notranjih toplotnih dobitkov v višini 4 W/m^2 .

Električne energije, porabljene za delovanje sistema za prezračevanje, program ne prikaže v izračunu. To je mogoče le v primeru, da so vneseni tudi podatki o sistemu za hlajenje, ki ga analizirana hiša nima. Ob vnosu podatkov o prezračevanju v HVAC sistem je program avtomatsko preračunal tudi energijo, porabljeno za hlajenje, kar je več kot podvojilo letne stroške električne energije. Sistem prezračevanja zato ni bil upoštevan v izračunu.

Za primerjavo smo izdelali še lastno oceno porabe električne energije za ogrevanje hiše. Natančen obračun je nemogoče izdelati zaradi različnih cen ponudnikov električne energije in nerazpoložljivosti natančnih podatkov o delitvi porabe električne energije za različne namene. Na osnovi uradnega obračuna celotnih stroškov za elektriko smo približno ocenili delež za ogrevanje, za sanitarno vodo in ostalo porabo. Podatke smo primerjali z izračunom programa. Rezultati primerjave za obdobje od leta 2014 do leta 2017 so vidni na grafikonu (Grafikon 14).

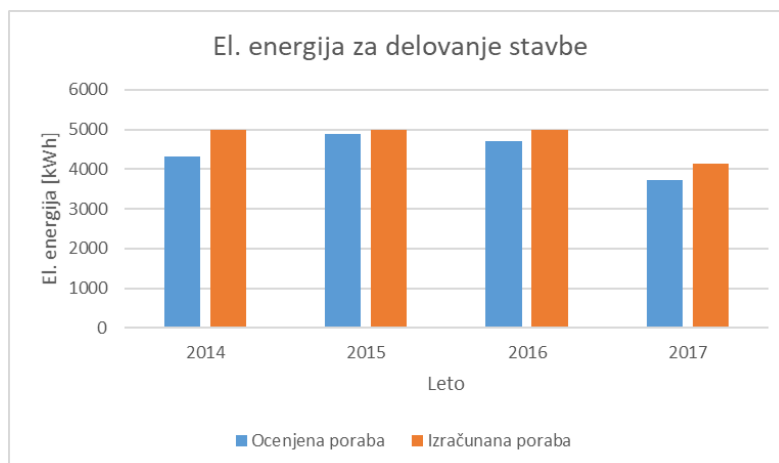
Grafikon 14: Primerjava ocenjene in programsko izračunane porabe električne energije za ogrevanje



Predvidevamo, da so odstopanja v količinah porabljene električne energije posledica nihanja oz. jakosti zimskih temperatur.

Podobno primerjavo smo naredili za porabo električne energije za delovanje celotne stavbe. Rezultati se na letni ravni precej dobro ujemajo, vendar bi ob upoštevanju stroškov prezračevanja program izračunal še več.

Grafikon 15: Primerjava ocenjene in programsko izračunane porabe električne energije za delovanje stavbe



Rezultate obravnave kazalnikov kakovosti notranjega okolja smo povzeli v skupni preglednici na naslednji strani (Preglednica 10). Vidimo lahko, da je toplotno udobje v stavbi večinoma v okviru zahtev in priporočil prej omenjenih pravilnikov in standardov. Priporočene vrednosti so minimalno (manj kot 1 °C) presežene le pri vrednostih temperature notranjega zraka. Do sevalne temperaturne asimetrije ni prišlo.

Relativna zračna vlažnost v prostoru je bila v poletnem času visoka, kar je posledica zunanjih vremenskih razmer, na katere se ne da vplivati. Poleg tega je stavba locirana v bližini dveh vodotokov, v okolju, kjer je veliko zelenih površin.

V zimskem času so meritve pokazale zelo nizek nivo relativne zračne vlažnosti v bivalnem delu hiše, kar je zagotovo bila posledica dejstva, da so bile meritve izvajane v obdobju, ko se je pogosteje uporabljal kamin. Ob priložnostih pogostejše rabe kamina se je že v preteklosti izkazala potreba po dodatnem vlaženju notranjega zraka. V času izvajanja meritev se dodatno vlaženje zraka ni izvajalo.

Glede na velike površine zasteklitve stavbe je zanimiv podatek o slabi naravni osvetljenosti jedilnice ob pojavu oblačnega vremena. Jedilnica je del zelo odprtega bivalnega prostora, ki ima eno okno usmerjeno na severno stran neba, eno pa proti jugozahodu. Nad oknom na jugozahodni strani je balkon, ki najbrž doprinese k nekoliko slabši osvetljenosti prostora.

Kljub sicer dobri zvočni izoliranosti hiše, h kateri največ doprinese kvalitetna zasteklitev, se v notranjosti zaznata dva občasno moteča dejavnika: bližina ceste, ki je prometno obremenjena le ob določenih časovnih terminih, in glasno zvonjenje cerkvenega zvonika, ki po jakosti pogosto izstopa v sicer mirnem okolju.

Meritve koncentracije CO₂ so pokazale, da je nastavitev prezračevalne naprave na tretjo stopnjo zmogljivosti premalo učinkovita. Naprava odslej deluje na četrti stopnji zmogljivosti prezračevanja. V času povečanih aktivnosti oziroma povečanega števila prisotnih oseb, ko je pričakovati večjo koncentracijo CO₂ je zmogljivost rekuperatorja potrebno ustrezno povečati, oziroma naravno prezračiti. Žal nismo opravili primerjalnih meritev v času izven kurilne sezone,

ko se prostore bistveno pogosteje naravno prezračuje. Vsekakor so nas povečane vrednosti koncentracije CO₂ privedle do zaključka, da je za kakovosten notranji zrak nujno potrebno redno (predvsem naravno) prezračevanje, v primeru uporabe rekuperatorja pa je treba dosledno skrbeti za njegovo vzdrževanje.

Preglednica 10: Rezultati meritev kazalnikov kakovosti notranjega okolja

Vrsta meritve	Zahtevane in/ali priporočene vrednosti	Izmerjena vrednost
Temperatura notranjega zraka (°C)	V času ogrevanja med 19 °C in 24 °C , priporočljivo 20 °C do 22 °C , v času brez ogrevanja med 22 °C in 26 °C , priporočljivo 23 °C do 25 °C .	20,68
Srednja sevalna temperatura (°C)	Največja sevalna temperaturna asimetrija: za hladno steno < 13 °C , za toplo steno < 35 °C , za hladen strop < 18 °C , za topel strop < 7 °C .	Stene: 19,04–19,58 Strop: 19,92 Tla: 19,98
Občutena temperatura (°C)	V času ogrevanja med 19 °C in 25 °C	19,97
Relativna zračna vlažnost (%)	Pri temperaturi zraka med 20 °C in 26 °C je območje dopustne relativne vlažnosti med 30 % in 60 % .	40 (pozimi)
Osvetljenost (lx)	Priporočena vrednost za stanovanjske prostore je 300 lx .	170 -1670 (oblačno vreme) 980 – 4320 (jasno vreme brez direktnega sonca)
Raven hrupa (dB)	40 (podnevi) 35 (ponoči)	38,5 – 54,0
Koncentracija CO ₂ (ppm)	Priporočena vrednost koncentracije CO ₂ v prostorih znaša 1000 ppm .	3. stopnja prezračevanja: 630 – 800 (1300 ob kuhanju), 4. stopnja prezračevanja: 530 – 750 (1130 ob kuhanju), 5. stopnja prezračevanja: 490 – 700 (1050 ob kuhanju).

5 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi smo izvedli in-situ meritve energijskih kazalnikov in kazalnikov kakovosti notranjega okolja na primeru obstoječe stanovanjske hiše, grajene po neformalnem gradbenem standardu pasivne hiše. Želeli smo z obeh vidikov preveriti prednosti in slabosti tovrstne stavbe. Na osnovi termografskega posnetka smo preverili prisotnost toplotnih mostov. Pri tem smo spoznali pomembnost pravilnega odčitavanja prikazanih rezultatov posnetka. Spremembo barvne temperature zaradi razlike v emisivnosti materiala se zlahka zamenja za mesta toplotnih mostov. Ugotovili smo, da balkoni ob pravilni izvedbi ne predstavljajo večje težave.

Z vidika energijske rabe nas je zanimalo, ali stavba izpolnjuje pogoje standarda pasivne hiše, zato smo zanjo izdelali računsko energetsko izkaznico. Stavba je po izračunih uvrščena v energijski razred A1, torej izpolnjuje kriterije energijske učinkovitosti. Po izračunu energetske izkaznice sta izpolnjena dva dodatna pogoja za doseganje standarda pasivne hiše: mala količina letne potrebne toplote za ogrevanje in količine letne porabe primarne energije. Glede na dobro energetsko učinkovitost stavbe bi bilo smiselno poleg uporabe toplote iz okolja razmisliti o možnosti uporabe večjega deleža obnovljivih virov energije.

Prav tako smo ugotovili, da med merjenimi in izračunanimi vrednostmi toplotne prehodnosti prihaja do razlik. Te so lahko posledica merskih napak in/ali omejene natančnosti vnosov v računalniški program. Smiselno bi bilo izvesti izboljšave na področju programske opreme in odpraviti omenjene omejitve pri vnosu določenih podatkov ter s tem omogočiti uporabniku, da se z natančno definiranimi vhodnimi podatki čim bolj približa realnim razmeram obstoječega objekta. Po vsej verjetnosti bi za to potrebovali dinamičen program, ki ne temelji na mesečnih povprečnih vrednostih. Kljub pomanjkljivostim postopka so razlike med rezultati še vedno v mejah primerljivega.

Rezultati analize kakovosti notranjega okolja kažejo, da bi bila smiselna izvedba celovite analize vseh parametrov kakovosti notranjega okolja v daljšem obdobju.

Ne glede na usmerjenost v energijsko učinkovitost ima stavba veliko zastekljenih površin, ki povečujejo občutek povezanosti z zunanjo okolico in omogočajo zadovoljivo količino naravne svetlobe.

Kljub občasni nekoliko slabši izkazani kakovosti notranjega zraka, se možnost mehanskega prezračevanja kaže kot dobra dopolnitev naravnemu prezračevanju z odpiranjem oken. Svež zrak, očiščen finih delcev in neprijetnih vonjav, je dostopen tudi takrat, ko je zunaj vonj po smogu in gnojnici. Pogoj za učinkovito mehansko prezračevanje je vsekakor redno čiščenje in vzdrževanje prezračevalne naprave, redne menjave filtrov in izpolnitev vseh sanitarno-tehničnih ter higienskih zahtev za sistem.

Videti je, da se za doseganje kakovosti notranjega okolja, ki je dobro uravnotežena z energijsko učinkovitostjo, ni mogoče popolnoma držati posameznih konceptov projektiranja in gradnje, ampak je le-te potrebno medsebojno kombinirati s trezno presojo. Pri načrtovanju gradnje je treba izhajati iz potreb/zahtev uporabnikov in stremeti k njihovem psihofizičnemu zdravju in udobju. Uporabnike je treba osvestiti o pomembnosti kakovosti notranjega okolja za njihovo zdravje in udobje, jih poučiti o optimalnem delovanju sistemov v stavbi in jim dati možnost, da izpolnjevanje njihovih potreb/zahtev v času uporabe stavbe ni ves čas podrejeno varčevanju z energijo.

VIRI

ARSO. 2017. Agencija Republike Slovenije za okolje.

<http://meteo.arso.gov.si/met/si/app/webmet/#webmet=vUHcs9WYkN3LtVGdl92LhBHcvcXZi1WZ09Cc1p2cvAncvd2LyVWYs12L3VWY0hWZy9SaulGdugXbsx3cs9mdl5WahxHf>

(Pridobljeno 10. 11. 2017.)

Program ArchiMAID. Verzija 2.1.256.0. Sistemi Shift d.o.o. 2007 - 2017. FIBRAN NORD d.o.o.

Dovjak, M., Krainer, A., Shukuya, M. 2014. Individualisation of personal space in hospital environment. International journal of exergy 14, 2: 125-155.

Dovjak, M., Kušec, A., Kristl, Ž., Košir, M., Bilban, M., Shukuya, M., Krainer, A. 2013. Integral control of health hazards in hospital environment. Indoor and built environment 22, 5: 776-795.

Dovjak, M. 2012. Individualization of personal space in hospital environment. Doktorska disertacija. Nova Gorica, Fak. za podiplomski študij (samozaložba M. Dovjak): 184 str.
<http://www.ung.si/~library/doktorati/okolje/26Dovjak.pdf> (Pridobljeno 15. 1. 2018.)

Dovjak, M. 2016. Toplotno udobje. Bivalno okolje. Študijsko gradivo pri predmetu: Stavbarstvo. Ljubljana, UL FGG, KSKE. 10 str.

EURACTIV. 2017.

<https://www.euractiv.com/section/energy/news/indoor-air-quality-sneaks-into-eu-buildings-law-review/>

(Pridobljeno: 7. 1. 2018.)

HELIOS. 2012. Montažna in obratovalna navodila. 21 str.

IR thermometer Voltcraft IR 900-30S. 2017.

<https://www.conrad.si/Infrardeci-termometer-VOLTCRAFT-IR-900-30S-optika-30:1-50-do-%2b900-%b0C-kontaktno-merjenje,-pirometer,-kalibracija-narejena-po:-de.htm?websale8=conrad-slowenien&pi=100920&ci=SHOP AREA 17210 0510034>

(Pridobljeno 10. 11. 2017.)

Joint European Project JEP-1802 and authors. 1993. 1 Indoor Comfort and Environmental Quality.

JEP-1802 Course Modules and Publications, Module 1: Design Principles. 65 str.

Kombiniran merilnik osvetlitve, intenzitete zvoka, temperature zraka in relativne vlažnosti zraka Voltcraft DT 8820. 2017.

<https://www.conrad.si/Merilnik-temperature-VOLTCRAFT-DT-8820-20-do-%2b750-%b0C-vrsta-tipala:-K-multifunkcijski-merilnik-4in1-kalibracija-narejena-po:-del.htm?websale8=conrad-slowenien&pi=101040&ci=SHOP AREA 17210 0510031>

(Pridobljeno 10. 11. 2017.)

Krainer, A., Košir, M., Kristl, Ž., Dovjak, M. 2008. Pasivna hiša proti bioklimatski hiši. Gradbeni vestnik, letnik 57, marec: 58-68.

Merilnik temperature in koncentracije CO₂. 2017.

<https://www.conrad.si/VOLTCRAFT-CM-100-CO2-merilnik-ogljikovega-dioksida.htm?websale8=conrad-slowenien&pi=101367&ci=SHOP AREA 17208 0601107>

(Pridobljeno 10. 11. 2017.)

Merilnik temperature in relativne vlažnosti zraka. 2017.

https://www.conrad.si/Zapisovalnik-podatkov-o-temperaturi-VOLTCRAFT-DL-111K-merjenje-temperature-200-do-1370-%b0C-kalibracija-narejena-po-delovnih-stan.htm?websale8=conrad-slovenien&pi=100034&ci=SHOP_AREA_17633_0510035

(Pridobljeno 10. 11. 2017.)

Naprava za zajem podatkov Ahlborn ALMEMO 2590. 2017.

http://www.ahlborm.com/en_UK/products/professional-measuring-instrument-and-data-logger-almemo-2590a#technik (Pridobljeno 10. 11. 2017.)

Passive House Institute. 2015.

http://www.passivehouse.com/02_informations/02_passive-house-requirements/02_passive-house-requirements.htm

(Pridobljeno 27. 12. 2017.)

Ploskovni sensor za merjenje gostote toplotnega toka in temperature na površini konstrukcijskega sklopa Ahlborn. 2017.

http://www.ahlborm.com/en_UK/products/heat-flow-plates#technik

(Pridobljeno 10. 11. 2017.)

PEI. Pravilnik o metodologiji izdelave in izdaji energetskih izkaznic stavb (Uradni list RS, št. 92/2014 z dne 19.12.2014)

<http://www.energetska-izkaznica.eu/slike/Pravilnik-o-metodologiji-izdelave-in-izdaji-energetskih-izkaznic-stavb-od-20.12.2014.pdf>

(Pridobljeno 15. 10. 2017.)

Pravilnik o prezračevanju in prezračevanju stavb (Uradni list RS, št. 42/2002 z dne 15.5.2002 in Uradni list RS, št.105/2002 z dne 5.12.2002).

<https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/36371>

(Pridobljeno 15. 10. 2017.)

PURES 2010. Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (Uradni list RS, št. 52/2010 z dne 30.6.2010).

<https://www.uradni-list.si/pdf/2010/Ur/u2010052.pdf>

(Pridobljeno 15. 10. 2017.)

Tehnična smernica za graditev TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije.

http://www.arhiv.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/zakonodaja/prostor/graditev/TSG-01-004_2010.pdf

(Pridobljeno 19. 11. 2017.)

Termovizijska kamera FLIR E50. 2017.

https://www.conrad.si/Termovizijska-kamera-FLIR-E50-%28vklj.-Wi-Fi%29-20-do-650-%b0C-240-x-180-pikslov-60-Hz.htm?websale8=conrad-slovenien&pi=1008456&ci=SHOP_AREA_1445377_0510037

(Pridobljeno 10. 11. 2017.)

Uredba (EU) št. 305/2011 Evropskega parlamenta in Sveta z dne 9. marca 2011 o določitvi usklajenih pogojev za trženje gradbenih proizvodov in razveljavitvi Direktive Sveta 89/106/EGS.

<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/?uri=CELEX%3A32011R0305>

(Pridobljeno 28. 12. 2017.)

PRILOGE

PRILOGA A: OSNUTEK ENERGETSKE IZKAZNICE

Ta stran je namenoma prazna.

ENERGETSKA IZKAZNICA STAVBE

Podatki o stavbi

Št. izkaznice: 3_2017 Velja do: 13. 12. 2027
12:16:44

Vrsta izkaznice:

računska

Vrsta stavbe:

Stanovanjska stavba

Identifikacijska oznaka stavbe,
posameznega dela ali delov stavbe:

ŠTUDIJSKI PROJEKT

Klasifikacija stavbe:

11100 Enostanovanjske
stavbe

Leto izgradnje:

2012

Naslov stavbe:

1355 Polhov Gradec

Slovenija

Katastrska občina:

Polhov Gradec

Parcelna številka:

██

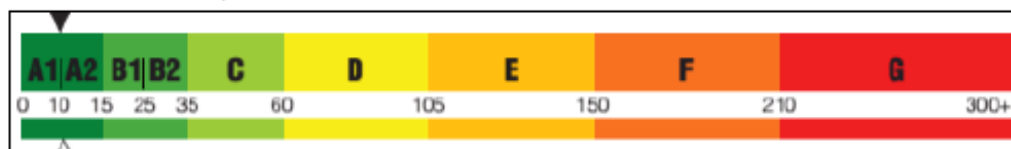
Koordinati stavbe (X, Y):

██, ██



Potrebna toplota za ogrevanje

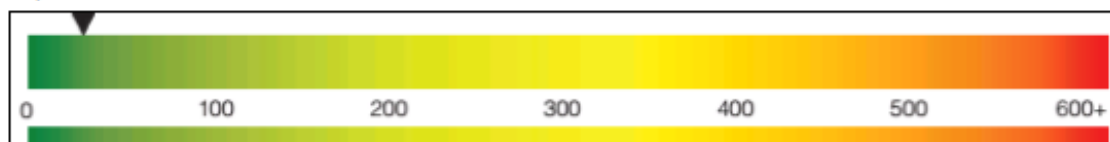
Razred: A1 6,80 kWh/m²a



Referenčna klima: 7,37 kWh/m²a

Dovedena energija za delovanje stavbe

26,75 kWh/m²a



Primarna energija in Emisije CO₂

26,77 kWh/m²a



5,67 kg/m²a

Izdajatelj

Naziv in številka pooblastila: Moja EI d.o.o.

Ime in podpis odgovorne osebe: Ena Bože

Datum izdaje: 13. 12. 2017

Izdelovalec

Ime in priimek in št. pooblastila:

Alja Koštomaj

Ime in podpis:

Alja Koštomaj

Datum izdaje:

13. 12. 2017

Energetska izkaznica stavbe je izdana v skladu s Pravilnikom o metodologiji izdelave in izdaji energetske izkaznice stavbe in z Energetskim zakonom (Ur.l. RS 27/07 - uradno preč. besedilo s spremembami).
Izdelovalec te energetske izkaznice s svojim podpisom potrjuje, da ne obstaja katera od okoliščin iz Energetskega zakona (Ur. l. RS 27/07 - uradno preč. besedilo s spremembami), ki bi mi preprečevala izdelavo energetske izkaznice.

Stran 1 od 4

Fibran ArchiMAID 2.1.256.0 7. 01. 2018 22:48:27 - PURES2010/EI

ENERGETSKA IZKAZNICA STAVBE

Podatki o stavbi

Št. izkaznice: 3_2017 Velja do: 13. 12. 2027
12:16:44

Vrsta izkaznice:

Vrsta stavbe:

računska

Stanovanjska stavba

Podatki o velikosti stavbe

Kondicionirana površina stavbe A_u : 186,10 m²
Kondicionirana prostornina stavbe V_e : 670,00 m³
Celotna zunanja površina stavbe A : 406,46 m²
Oblikovni faktor f_0 : 0,61 m⁻¹

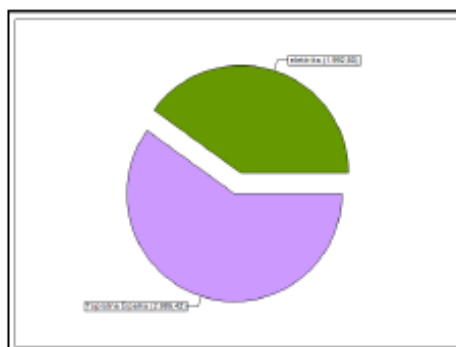
Klimatski podatki

Temperaturni primanjkljaj TP: 3.500,00 Kdni
Projektna zunanja temperatura (gretje) T_{eph} : -13,00 °C
Temperaturni presežek T_{pr} : 0,00 Kh

Dovedena energija za delovanje stavbe

Dovedena energija za stavbo	Dovedena energija	
	kWh/a	kWh/m ² a
Gretje $Q_{f,h}$:	1.114,29	5,99
Hlajenje $Q_{f,c}$:	0,00	0,00
Prezračevanje $Q_{f,v}$:	0,00	0,00
Ovlaževanje $Q_{f,st}$:	0,00	0,00
Priprava tople vode $Q_{f,w}$:	2.043,53	10,98
Razsvetljava $Q_{f,l}$:	697,88	3,75
Električna energija $Q_{f,aux}$:	863,12	4,64
Skupna dovedena energija za delovanje stavbe	4.978,02	26,75

Struktura rabe celotne energije za delovanje stavbe po virih energije in energentih (kWh)



Primarna energija za delovanje stavbe (kWh/a) 4.981,51 26,77
Emisije CO₂ (kg/a) 1.056,08 5,67
Obnovljiva energija porabljena na stavbi (kWh/a) 2.985,42 16,04

Energetska izkaznica stavbe je izdana v skladu s Pravilnikom o metodologiji izdelave in izdaji energetske izkaznice stavbe in z Energetskim zakonom (Ur.l. RS 27/07 - uradno preč. besedilo s spremembami).

ENERGETSKA IZKAZNICA STAVBE

Podatki o stavbi

Vrsta izkaznice:

računska

Št. izkaznice: 3_2017 Velja do:

13. 12. 2027
12:16:44

Vrsta stavbe:

Stanovanjska stavba

Ukrepi za izboljšanje kakovosti ovoja stavbe

Ukrepi za izboljšanje energetske učinkovitosti sistemov KGH

Ukrepi povečanje izrabe obnovljivih virov energije

Organizacijski ukrepi

Opozorilo

Energetska izkaznica stavbe je izdana v skladu s Pravilnikom o metodologiji izdelave in izdaji energetske izkaznice stavbe in z Energetskim zakonom (Ur.l. RS 27/07 - uradno preč. besedilo s spremembami).

Stran 4 od 4

Fibran ArchiMAID 2.1.256.0 7. 01. 2018 22:48:27 - PURES2010/EI