

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



DIPLOMSKA NALOGA

VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJSKI PROGRAM PRVE STOPNJE OPERATIVNO GRADBENIŠTVO

Ljubljana, 2017

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:

Mentor/-ica:

Predsednik komisije:

Somentor/-ica:

Član komisije:

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	620.9:699.86:728(043.2)
Avtor:	Nejc Podjed
Mentor:	doc. dr. Roman Kunič
Naslov:	Energetska obnova kulturno zaščitene stavbe na Spodnjem Brniku
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – Visokošolski strokovni študij
Obseg in oprema:	37 str., 33 pregl, 25 sl.
Ključne besede:	Energetska bilanca, kmečka hiša, toplotna izolacija, tesnjenje, kazalniki energetske učinkovitosti, kulturna dediščina

IZVLEČEK:

Cilj diplomskega dela je bilo ugotoviti stanje energetske učinkovitosti stavbe in podati določene ukrepe, ki bi le-te izboljšali na primeru izbrane kulturno spomeniško zaščitene enodružinske kmečke hiše na Spodnjem Brniku. Najprej sem na terenskem delu evidentiral in pregledal obstoječa stanja konstrukcijskih sklopov ter posameznih delov, ki sem jih potreboval za nadaljnje analiziranje. V spletnem programu sem preveril obstoječe in predlagane konstrukcijske sklope, ki so vplivali na kasnejše izračunane rezultate energetske bilance. Podal sem dva predloga energetske obnove z namenom, da bi preveril ekonomičnost določenih posegov.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 620.9:699.86:728(043.2)
Author: Nejc Podjed
Supervisor: Assist. Prof. Roman Kunič, Ph.D.
Title: Energy restoration of a cultural protected building on Spodnji Brnik
Document type: Graduation Thesis – Higher professional studies
Scope and tools: 37 p., 33 tab., 25 fig.
Keywords: Energy balance, farmhouse, thermal insulation, sealing, indicators of energy efficiency, cultural heritage

ABSTRACT:

The main goal of my thesis was to determine the condition of the energy efficiency of the building and to put in place certain measures that would improve them on the case of a selected cultural monumentally protected single-family farm house in Spodnji Brnik. At the beginning I recorded and examined the existing state of the structural components and the individual parts for further analysis. In the online program, I checked the existing and proposed constructional elements with which I influenced the later calculated energy balance results. I predicted two proposals for energy renewal in order to check the economy of certain interventions.

ZAHVALE

Za nastajanje diplomskega dela bi najprej rad zahvalil za podporo, razumevanje in strokovnost mentorju doc. dr. Romanu Kuniču. Za lektoriranje diplomskega dela bi se rad zahvalil znanki ddr. Miri Delavec Touhami. Iskreno zahvalo izrekam tudi puncu Sari, družini in prijateljem, ki so mi v času študija stali ob strani.

KAZALO VSEBINE

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	II
BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	III
ZAHVALE	IV
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI	XI
1.0 UVOD	1
1.1 Namen diplomskega dela	1
1.2 Metoda dela	1
2.0 ENERGETSKA PRENOVA	2
2.1 Smernice za energetska prenova stavb kulturne dediščine	2
2.2 Ukrepi pred nameščanjem toplotne izolacije	3
2.3 Tesnjenje	4
2.3.1 Tesnilni materiali	5
2.3.2 Lega parne ovire oziroma zapore v KS	5
2.3.3 Šibke točke tesnjenja	6
2.3.4 Tesnjenja oken in vrat	7
2.3.5 Test zrakotesnosti	9
3.0 IZBRANA STAVBA	10
3.1 Lokacija izbrane obravnavane stavbe	10
3.2 Zgodovina in opis stavbe	10
4.0 ANALIZA OBSTOJEČEGA STANJA	15
4.1 Programa KI Energija 2014 in U-wert	15
4.2 Sektorji objekta	16
4.3 Zunanje odprtine	16
4.4 Konstrukcijski sklopi obstoječega stanja	18
4.4.1 Tla na terenu	18
4.4.2 Zunanje in notranje stene	20
4.4.3 Medetažna konstrukcija	21
4.5 Analiza rezultatov obstoječega stanja	23
5.0 ENERGETSKA OBNOVA Z UPOŠTEVANJEM ZAHTEV KULTURNE DEDIŠČINE	24
5.1 Spaceloft®	24
5.2 Konstrukcijski sistemi z upoštevanjem KD	26
5.2.1 Tla na terenu	26

5.2.2 Zunanje in notranje stene – toplotna izolacija na notranji strani.....	27
5.2.3 Medetažna konstrukcija	28
5.3 Analiza rezultatov izračuna energetske bilance z upoštevanjem zahtev KD	29
6.0 ENERGETSKA OBNOVA BREZ UPOŠTEVANJA ZAHTEV KULTURNE DEDIŠČINE	30
6.1 Konstrukcijski sistemi brez upoštevanja KD	30
6.1.1 Zunanje in notranja stene – toplotna izolacija na zunanji strani.....	30
6.2 Analiza rezultatov izračuna energetske bilance brez upoštevanja zahtev KD	31
7.0 PRIMERJANJE REZULTATOV ENERGETSKIH BILANC.....	32
8.0 OCENA STROŠKOV ENERGETSKE OBNOVE	33
9.0 ZAKLJUČEK	35
VIRI.....	36

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Vpliv ukrepov na stavbnem ovoju (vir: [7]).	3
Preglednica 2: Seznam prostorov.	13
Preglednica 3: Osnovni vhodni podatki za izdelavo energetske bilance (vir: [5]).	15
Preglednica 4: Meteorološki vhodni podatki za izdelavo energetske bilance (vir: [5]).	15
Preglednica 5: Prikaz površin in prostornin po sektorjih.	16
Preglednica 6: Evidentiranje zunanjih odprtih.	17
Preglednica 7: KS tla na terenu v hiši.	18
Preglednica 8: KS tla na terenu v veži, kuhinji in shrambi (5).	19
Preglednica 9: KS tla na terenu v kopalnici.	19
Preglednica 10: KS tla na terenu v shrambi (6).	19
Preglednica 11: KS zunanja stena v tretjem ogrevanem in četrtem neogrevanem sektorju.	20
Preglednica 12: KS zunanja stena v drugem ogrevanem sektorju.	21
Preglednica 13: KS notranja stena med tretjem ogrevanem in četrtem neogrevanem sektorjem.	21
Preglednica 14: Medetažna konstrukcija stropa nad hišo.	22
Preglednica 15: Medetažna konstrukcija stropa nad vežo, kuhinjo, kopalnico in shrambo (5).	22
Preglednica 16: Medetažna konstrukcija stropa nad neogrevano shrambo (6).	22
Preglednica 17: Medetažna konstrukcija stropa med nadstropjem in neogrevanim podstrešjem.	23
Preglednica 18: Kazalniki energetske učinkovitosti obstoječega stanja stavbe.	23
Preglednica 19: Tehnične lastnosti izolacije Spaceloft® (vir: [14]).	25
Preglednica 20: KS tla na terenu v hiši.	26
Preglednica 21: KS tla na terenu v veži, kuhinji in shrambi (5).	26
Preglednica 22: KS tla na terenu v kopalnici.	27

Preglednica 23: KS zunanja in notranja stena v tretjem ogrevanem in četrtem neogrevanem sektorju.	27
Preglednica 24: KS zunanja stena v drugem ogrevanem sektorju.	28
Preglednica 25: Medetažna konstrukcija stropa nad neogrevano shrambo (6).....	28
Preglednica 26: Medetažna konstrukcija stropa med nadstropjem in neogrevanim podstrešjem.	29
Preglednica 27: Kazalniki energetske učinkovitosti energetske obnove z upoštevanjem zahtev KD.....	29
Preglednica 28: KS zunanja stena v tretjem in četrtem sektorju.....	30
Preglednica 29: KS zunanja stena v drugem ogrevanem sektorju.	31
Preglednica 30: Kazalniki energetske učinkovitosti energetske obnove brez upoštevanja KD.	31
Preglednica 31: Primerjava kazalnikov energetske učinkovitosti.....	32
Preglednica 32: Popis del in stroški obnove z upoštevanjem KD.	33
Preglednica 33: Popis del in stroški obnove brez upoštevanja KD.....	34

KAZALO SLIK

Slika 1: Barvna lestvica vplivov na prvine stavb (vir: [7])	2
Slika 2: Posledica vlage v stavbi (vir: lasten, 2017)	4
Slika 3: Nadomestek parne ovire lesena OSB plošča polepljena s trakovi (vir: lasten, 2017) .	5
Slika 4: Parna ovira na topli strani (vir: [9]).....	6
Slika 5: Neuporaba parne ovire oziroma zapore (vir: [9]).....	6
Slika 6: Prikaz kritičnih mest tesnjenja (vir: [9])	7
Slika 7: Načini tesnjenja okna (vir: lasten, 2017).....	7
Slika 8: Posledice nepravilne vgradnje in tesnjenja okna (vir: lasten, 2017)	8
Slika 9: Ventilator testa zrakotesnosti z računalniškim vodenjem (vir: lasten, 2017)	9
Slika 10: Lokacija stavbe (vir: [10]).....	10
Slika 11: Fasada obstoječega stanja (vir: lasten, 2017).....	11
Slika 12: Prvotno stanje (črno) in prizidek (rdeče) (vir: lasten, 2017).....	11
Slika 13: Prečni prerez obravnavane stavbe (vir: lasten, 2017).....	12
Slika 14: Tloris stavbe (vir: lasten, 2017).....	13
Slika 15: Tloris nadstropja (vir: lasten, 2017).....	14
Slika 16: SZ fasada in delitev stavbe po sektorjih (vir: lasten, 2017)	16
Slika 17 Obstoječe najpogostejše okno z vstavljenko kovano kovinsko mrežo (vir: lasten, 2017).....	17
Slika 18: Obstoječa vrata (vir: lasten, 2017)	17
Slika 19: Barvno evidentiranje KS (tla na terenu) (vir: lasten, 2017).....	18
Slika 20: Barvno evidentiranje KS zunanjih in notranjih sten (vir: lasten, 2017)	20
Slika 21: Različne izvedbe lesenih stropov (vir: [13])	21
Slika 22: Dodatna izolacija v obliki zagozde za preprečevanje toplotnih mostov (vir: lasten, 2017).....	24
Slika 23: Izolacija Spaceloft® (vir: [14]).....	25

Slika 24: Graf primerjave toplotne prevodnosti izolacijskih materialov	25
--	----

Slika 25: Graf primerjave koeficienta $H't$ med posameznimi variantami energetske obnove stavbe	32
---	----

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

KS	Konstruktivski sklop
KD	Kulturna dediščina
EN	Evropski standard
ISO	Mednarodna organizacija za standardizacijo
TI	Toplotna izolacija
U	Koeficient toplotne prehodnosti
EŠD	Evidenčna številka dediščine
EPS	Ekspandirani polistiren
TSG	Tehnične smernice
DDV	Davek na dodano vrednost

»Ta stran je namenoma prazna«

1.0 UVOD

Energetska obnova kulturno in spomeniško zaščitene stavbe je v primerjavi s preostalimi obnovami in gradnjo relativno mlado področje, pri katerem moramo upoštevati in prilagoditi marsikatero stvar. Zavedati se moramo, da v preteklosti ni bilo veliko znanja in določenih materialov, ki bi bili dostopni širši javnosti in s katerimi bi stavbo zaščitili pred vlago ali izgubljeno toploto. Stare stavbe so bile največkrat zgrajene iz osnovnih materialov, kot so kamen, les in glina, saj so bili poceni in lahko dostopni. Poudariti je potrebno, da so ti materiali v primerjavi z nekaterimi novejšimi zdravju neškodljivi in povzročajo udobno bivanje ob normalni vlagi. Debeli zidovi iz naravnega kamna so pripomogli k dobri statični zasnovi tako, da z mehansko stabilnostjo v veliki meri ni bilo težav, prihajalo pa je do ostalih zanemarjanj današnjih bistvenih zahtev, kot so varnost pred požarom, varnost pri uporabi, zaščita pred hrupom, varčevanje z energijo in ohranjanje toplote [1]. Stavbe so bile zelo odporne in dobro naravno prezračevane, kar je zaradi neuporabe toplotnih izolacijskih materialov privedlo do velike izgube toplotne energije, ki jo je bilo treba nadomestiti z veliko količino goriva. Poleg tega je bila notranja klima večinoma neudobna za bivanje, velikokrat celo nezdrava. Takšno stanje je bilo sprejemljivo, dokler se človeštvo ni ogrožalo s pomanjkanjem energije in visoke cene energije ter se ni začelo zavedati globalnega segrevanja, s katerim dodatno uničujemo svoj življenjski prostor. Da bi čim bolj omejili povzročeno škodo, se je gradbeništvo začelo razvijati v smeri energetsko učinkovitih stavb. Z njimi želimo privarčevati pri stroških ogrevanja in najpomembnejše: z zmanjšanjem porabe goriv se posledično zmanjša tudi nastanek toplogrednih plinov, ki so potencialno najbolj odgovorni za segrevanje Zemlje. Ne smemo pa zanemariti premišljene gradnje v preteklosti, s katero so z arhitekturnimi ukrepi, orientacijo in lego omilili toplotne izgube, ki se na tak način gradnje pogosto zanemarija v današnjem času.

1.1 Namen diplomskega dela

Na stari, enodružinski, kmečki, kulturno in spomeniško zaščiteni hiši želimo izvesti analizo energetske bilance obstoječega in prenovljenega stanja. Zavzemali se bomo, da bodo dani predlogi v skladu z Zakonom o varstvu kulturne dediščine (ZVKD-1) [2] in drugimi veljavnimi predpisi o energetski obnovi, kot sta PURES [3] in Tehnična smernica učinkovite rabe energije [4]. Hipotetično bomo podali predlog brez upoštevanje kulturne dediščine, z namenom da bi se lahko določila ekonomičnost oziroma neekonomičnost posegov.

1.2 Metoda dela

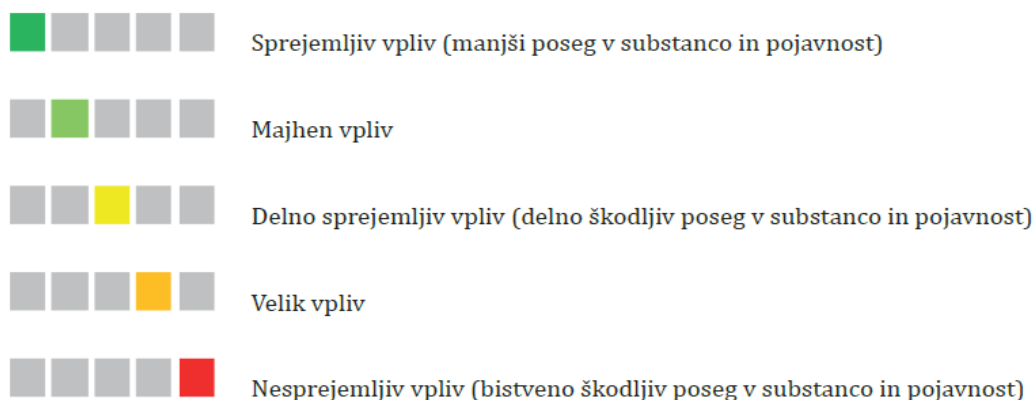
V analitičnem delu se bomo osredotočili na obstoječe stanje stavbe. Izvedli bomo meritve dimenzij prostorov in KS, ki jih bomo v nadaljevanju uporabili za izračun in analizo energetske bilance izbrane stavbe. Za analizo bomo uporabili program KI Energija 2014 [5], v katerega bomo vnesli vse razpoložljive podatke, ki smo jih pridobili na terenskem popisu. Za zmanjšanje same porabe energije ogrevanja in hlajenja prostorov bomo podali nabor ukrepov, s katerimi se bomo v prvem delu diplomskega dela zavzemali za zaščito prvin dane stavbe, medtem ko bomo v drugem delu uporabili ukrepe, ki bodo zelo posegali na videz in lastnosti zaščitene stavbe, z namenom ugotovitve razlike stroškov pri sami toplotni zaščiti na ovoju stavbe. Prav tako kot v prvi polovici naloge bomo v drugi polovici v program vnesli podatke, ki si sledijo iz izbranih ukrepov. Dane rezultate bomo med seboj primerjali in

analizirali. Za izračun TP, prehod vodne pare, U-faktorja, količino kondenzata v določenih slojih, čas sušenja kondenzata in ostale količine si bomo pomagali s spletnim programom U-Wert. [6]

2.0 ENERGETSKA PRENOVA

2.1 Smernice za energetske prenovne stavbe kulturne dediščine

Smernice za energetske prenovne stavbe kulturne dediščine je izdal Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije in vsebujejo nabore ukrepov, ki vplivajo na obnovo starih kulturno in spomeniško zaščitene stavbe. Zasnovani so tako, da načrtovalcem in strokovnim službam energetske obnove pomagajo ohraniti prvotne prvine stavbe kulturne dediščine. Smernice ne vključujejo primerov določenih individualnih stavbe, s katerimi bi si lahko pomagali, saj predpostavljajo, da si stavbe niso identične. Vsebovani ukrepi so označeni z barvno lestvico, ki predstavlja določeno tveganje oziroma vpliv na prvine stavbe. [7]



Slika 1: Barvna lestvica vplivov na prvine stavbe (vir: [7]).

Pri energetske obnove stavbe so v prvi vrsti najbolj pomembni ukrepi, namenjeni za zunanji ovoj, kjer je izrazita toplotna prehodnost iz toplega na hladno. Da bi se v čim večji meri izognili izgubam toplote in ohranili prvine stare stavbe smo v zadnjem delu diplomskega dela upoštevali ukrepe na stavbnem ovoju, ki so prikazani v preglednici 1.

Preglednica 1: Vpliv ukrepov na stavbnem ovoju (vir: [7]).

Zunanje stene	Toplotna zaščita zunanjih sten z zunanje strani	
	Toplotna zaščita zunanjih sten z notranje strani	
Strop in tla	Toplotna zaščita stropa proti neogrevanemu podstrešju	
	- zaščita na tleh podstrehe	
	- zaščita stropa proti neogrevanem podstrešju	
	Toplotna zaščita nad neogrevanim prostorom	
	- toplotna izolacija na hladni (spodnji) strani	
	- toplotna izolacija na topli (zgornji) strani	
	Toplotna zaščita tal na terenu	
Strehe	Toplotna zaščita strehe	
Okna in vrata	Obnova oken ali steklenih sten	
	Nadgradnja ali zamenjava zasteklitev	
	Zamenjava oken	
	Obnova vrat	
	Zamenjava vrat	
Zrakotesnost	Tesnjenje ovoja stavbe	

2.2 Ukrepi pred nameščanjem toplotne izolacije

Pred energetske prenovi moramo biti pazljivi na vlago v KS. Poskrbeti moramo za primerno osušene zidove. Povečana raven vlage v stavbi je lahko posledica nekontroliranega dostopa meteorne vode, vdora talne vode ali kapilarne vlage, ki prihaja iz vlažnih temeljev in tal prek majhnih cevčic (kapilar) v stene. Da bi dosegli čim boljše pogoje za bivanje v stavbi in nameščeno toplotno izolacijo, ki zaradi sestave in toplotnih lastnosti ne dopušča navlažitve, se moramo najprej posvetiti določenim ukrepom, kot so: izdelava drenažnega sistema po obodu stavbe, preveriti vodotesnost žlebov in odtočnih cevi ter zagotoviti ustrezen naklon zunanjih tlakov. Talno ploščo in druge površine premažemo s hladnim bitumenskim premazom, na katerega navarimo bitumenske trakove, kateri nam predstavljajo hidroizolacijo za preprečevanje vdora talne vode. [8]



a) Odpadanje ometa ob stopnišču.



b) Plesen na steni.

Slika 2: Posledica vlage v stavbi (vir: lasten, 2017).

Dvigovanje kapilarne vode v že narejenih stavbah lahko preprečimo na več načinov. Eden iz med njih je žaganje zidov in vstavljanje hidrofobnega materiala. Gre za zelo učinkovito metodo, vendar pa predstavlja polemike glede stabilnosti v primeru dinamičnih sil, kot je potresna obtežba. Drugi način pa se je razvil z razvojem umetnih mas, kjer vlažen zid na spodnjem robu predhodno navrtamo raster lukenj, v katere injektiramo pasto. Slednja po preseku zida zapolni kapilare in tako prepreči dvigovanje vlage. [8]

2.3 Tesnjenje

Stare stavbe v preteklosti niso bile tesnjene ali grajene z materiali, ki so bili bolj difuzijsko odprti od nekaterih sedanjih. Na teh stavbah so namensko pustili odprtine, pozorni so morali biti na primerno izbiro naravnih materialov, s katerim so si zagotovili nekontrolirano prezračevanje. To je bilo pomembno zaradi nastajanja kondenzata. Zaradi tega so morali zagotoviti lažji prehod zasičenega zraka z vodno paro iz tople proti hladnejši strani. S tem so preprečili pretirano nastajanje kondenzata, ki bi škodil okoliškim materialom. Posledica prostega prehoda zraka je bila večja toplotna prehodnost, to pa je privedlo do večje potrebe po energiji za ogrevanje.

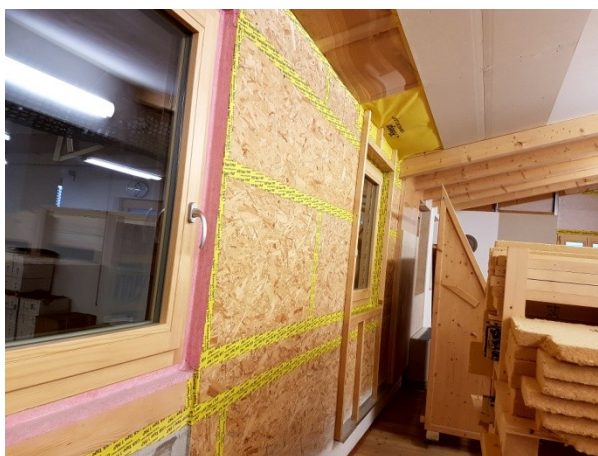
Pri načrtovanju toplotnega ovoja novogradnje ali energetske prenove stare stavbe moramo zaradi izolacijskih in drugih novejših materialov, ki so premalo difuzijsko odprti, velik poudarek nameniti tesnjenju stavbe. Namenjeno je kontroliranju ali preprečevanju prostega prehoda zraka, vode, hrupa in vodne pare v strukturah sten in streh.

2.3.1 Tesnilni materiali

Glede na namembnost tesnjenja se uporabljajo različni materiali. Za zrakotesnost in vodotesnost ločimo med paroprepustnimi folijami, ki so po večini nameščene na strehi pod strešniki in paroneprepustnimi folijami, največkrat nameščenimi na topli strani konstrukcije in služijo kot ovira ali zapora prehodu vodne pare skozi konstrukcijske sklope. Parno oviro oziroma zaporo predstavljajo tudi drugi materiali, na primer les, beton, steklo, ipd. [9]

Folije se med seboj ločijo po veliko parametroh in najpomembnejši so: prepustnost vodne pare [$\text{g/m}^2/24\text{ur}$], S_d vrednost [m], masa na enoto površine [g/m^2] (gramatura), razred neprepustnosti in UV-stabilnost. [9]

Pri preprečevanju hrupa pa se uporabljajo razna gumi tesnila, ki jih vgrajujemo med stike lesenih tramov in zidov. [9]

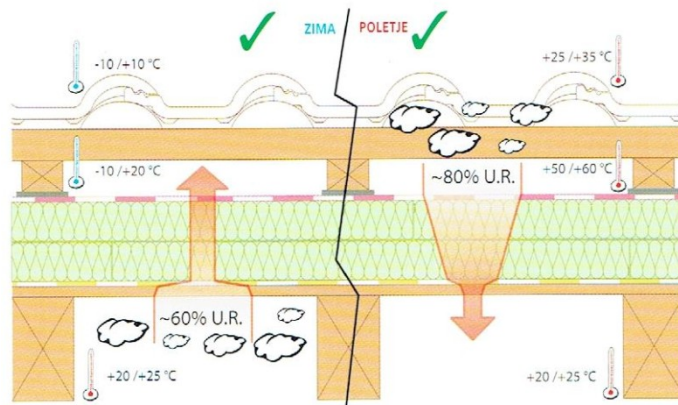


Slika 3: Nadomestek parne ovire lesena OSB plošča polepljena s trakovi (vir: lasten, 2017).

Za spajanje, če to folije dopuščajo, lahko uporabimo toplo ali hladno varjenje. Največkrat se uporabljajo samolepilni trakovi, ki zagotovijo zrakotesnost in vodotesnost. [9]

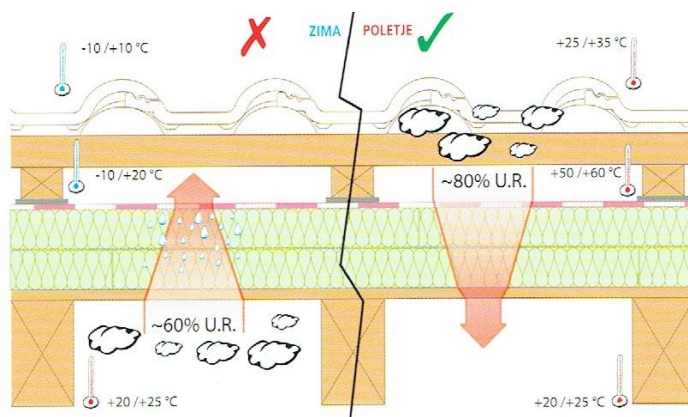
2.3.2 Lega parne ovire oziroma zapore v KS

Paroprepustna folija na zunanji strani deluje kot sekundarna kritina, če bi voda tekla skozi primarno strešno kritino in navlažila TI. Poleti in pozimi preprečuje vdiranje vetra ter hladnega zraka v TI, hkrati pa pozimi dopušča lahek prehod notranjega vlažnega zraka skozi KS. Parna ovira na notranji topli strani pozimi zagotavlja kontroliran prehod toplega vlažnega zraka skozi KS, kjer preprečuje nastajanje kondenzata, ki bi negativno vplival na lastnosti TI. Računski model S_d vrednosti KS je pogoj za določitev prepustnosti vodne pare izbrane parne ovire. [9]



Slika 4: Parna ovira na topli strani (vir: [9]).

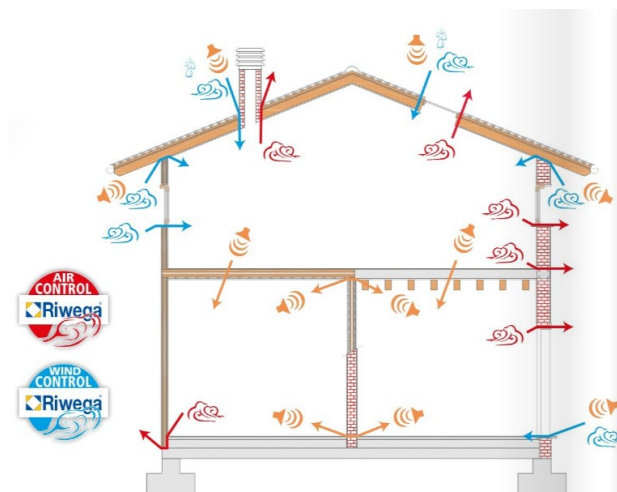
Konstruktivni sistem brez parne ovire oziroma zapore predstavlja pozimi nekontroliran prehod toplega vlažnega zraka iz notranjosti proti zunanosti. Posledica je nastajanje kondenzata v TI, ki vodi k nastajanju mikroorganizmov oziroma plesni. [9]



Slika 5: Neuporaba parne ovire oziroma zapore (vir: [9]).

2.3.3 Šibke točke tesnjenja

Poleg ravnih površin, ki razen med spoji folij niso posebej problematične, moramo paziti na kritična mesta, kot so razni preboji (npr. dimniki, antene, zračniki, odduhe, pritrditev strešnih letev, električne napeljave itd.) in stičišča raznih konstrukcijskih sklopov ter nosilne konstrukcije. [9]



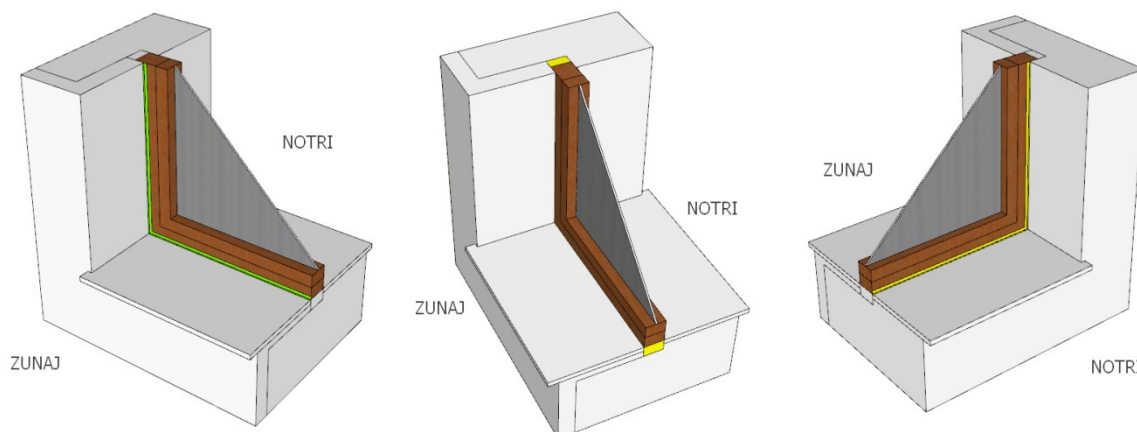
Slika 6: Prikaz kritičnih mest tesnjenja (vir: [9]).

Še zlasti moramo biti previdni pri zanesljivi vgradnji in izbiri ustrezne membrane ter tesnjenju, kjer je sloj toplotne izolacije na notranji strani, saj nam zid na zunanji strani predstavlja parno oviro oziroma zaporo in tako lahko neugodno vpliva na potek difuzije vodne pare.

2.3.4 Tesnjenja oken in vrat

Poleg toplotne prevodnosti sistema oken in vrat je zelo pomemben stik med vgrajenim elementom in zidom. Poznamo tri stopnje tesnjenja transparentnih elementov, s katerimi želimo zagotoviti trajnostno stabilnost spojev. [9]

Zunanja in notranja stopnja tesnjenja nam nudita zaščito pred udarnim dežjem, vodo, prostim prehodom zraka in vetrom. Zagotovimo ju z uporabo paroprepustnih trakov, na katere lahko nanašamo omet, akrilna tesnila, lepilno maso, tesnilne gume in vnaprej pripravljene plastične profile, ki zagotavljajo natančno prileganje med elementom in zidom. Osrednja stopnja tesnjenja nam nudi povezavo skupaj s toplotno izolacijo na zunanji ali notranji strani zidu, za katero se največkrat uporablja visoko elastična izolativna pena. [9]



Slika 7: Načini tesnjenja okna (vir: lasten, 2017).

Ob nepravilni vgradnji se lahko pojavijo različne posledice, kot so: odstopanje stikov, netesnjenje, pojav razpok, kondenzata in posledično plesni. (slika 8)



a) Fizična ločitev zidu in okvirja okna.



b) Razpoka na ometu ob stiku zidu in okvirja okna.

Slika 8: Posledice nepravilne vgradnje in tesnjenja okna (vir: lasten, 2017).

2.3.5 Test zrakotesnosti

Da bi preverili pravilno vgradnjo zrakotesnih membran in lokacijo morebitnih neželenih nastalih špranj skozi katere je mogoč nekontroliran prehod zraka, moramo po končani gradnji izvesti meritve z Blower-Door testom. Način in pravilna izvedba meritev je opisana v normativu SIST EN ISO 9972:2015. [9]



Slika 9: Ventilator testa zrakotesnosti z računalniškim vodenjem (vir: lasten, 2017).

Za testiranje uporabimo napravo (Blower-Door test), ki jo s kovinskim ogrodjem namestimo na zunanjo odprtino želene testirane stavbe. Čez ogrodje napnemo zrakotesno platno in v njega vstavimo ventilator, ki nam v stavbi lahko povzroči podtlak ali nadtlak. Nameščeni merilci tlakov so povezani z računalnikom, ki beležijo vrednosti zunanjih in notranjih zračnih tlakov. Za precizno merjenje podatkov je zelo pomembno, da pred zagonom naprave preverimo, če so zunanja okna in vrata dobro zaprta ter skušamo zatesniti še vse druge zunanje odprtine, kot so: notranji kanalizacijski jaški, odduhe, zračniki in prezračevalne cevi. V notranjosti stavbe pa moramo z odprtimi notranjimi vrati in okni zagotoviti prost prehod zraka med prostori. [9]

Tesnjenje objekta je definirano z vrednostjo n_{50} , ki izraža razmerje med izgubljenim in dovajanim zrakom v eni uri pri pritisku 50 Pa in neto prostornino stanovanja. [9]

Poleg izvajanja meritev za razvrščanje stavb glede na vrednosti zrakotesnosti pa se med samim poskusom izvajajo še drugi poskusi s termo kamero, anemometrom in pomočjo umetne megle, ki nas pripeljejo do lokacije napake tesnilnega ovoja stavbe. [9]

3.0 IZBRANA STAVBA

3.1 Lokacija izbrane obravnavane stavbe

V diplomskem delu obravnavamo kmečko hišo, na naslovu Spodnji Brnik 14 s koordinatami GKX: 120753, GKY: 460856, ki spada v občino Cerklje na Gorenjskem in leži med Kranjem in Kamnikom. Hiša stoji na severovzhodu naselja, v bližini prostovoljnega gasilskega doma, na parcelni številki 114, katastrske občine 2116 Spodnji Brnik. [10] [11]



Slika 10: Lokacija stavbe (vir: [10]).

Dostop na parcelo je mogoč z dveh strani, in sicer iz regionalne ceste preko mostička na zahodni strani ali iz vzhodne strani preko vaškega kolovoza. Na parceli, površine 658 m², se nahajata kmečka hiša iz 18. stoletja in gospodarski objekt, ki je bil zgrajen leta 1961 za potrebe kmetijske dejavnosti. Objekta ločuje služnostna dovozna pot širine 3,3 m. [11]

3.2 Zgodovina in opis stavbe

Hiša je bila zgrajena v zadnji četrtini 18. stoletja (leta 1777). Kot zanimivost bi želeli navesti, da je to tri leta po uveljavitvi obveznega šolstva v Sloveniji med vladanjem Marije Terezije in njenega sina, cesarja Jožefa II. Predstavlja dediščino bivalne kulture in načina življenja ljudi v preteklosti, za kar je tudi registrirana kot nepremična profana stavbna kulturna dediščina pod št. EŠD:17346, za katero je pristojno območje Zavoda za kulturno dediščino Kranj. Poleg visoke starosti ima tudi druge določene značilnosti, ki jo povezujejo s časom izgradnje, in sicer lesena okenska polkna v nadstropju, kovane okenske mreže, dekorativno fasado s hišnim oltarčkom v zidni konstrukciji nad vhodom, obokan strop nad shrambo, predsobo in kuhinjo. Gre torej za tradicionalno enostanovanjsko nadstropno kmečko hišo brez kleti, podolgovate pravokotne zasnove. [12]



a) Obstoječe stanje SZ in SV fasade.

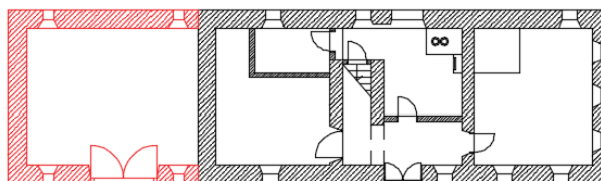


b) Obstoječe stanje JV in SV fasade.

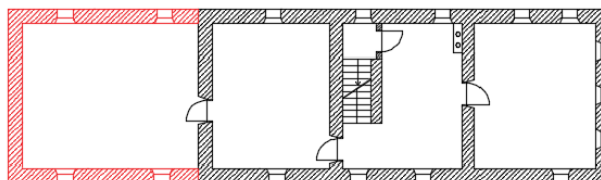
Slika 11: Fasada obstoječega stanja (vir: lasten, 2017).

Prvotne dimenzije obodnih zidov so bile dolžine 16 m in širine 6,65 m, vendar pa so jo zaradi prostorske stiske in potreb po skladiščenju pridelkov pred drugo svetovno vojno dogradili na sedanje mere dolžine 23,20 m in širine 6,65 m.

TLORIS PRITLIČJA

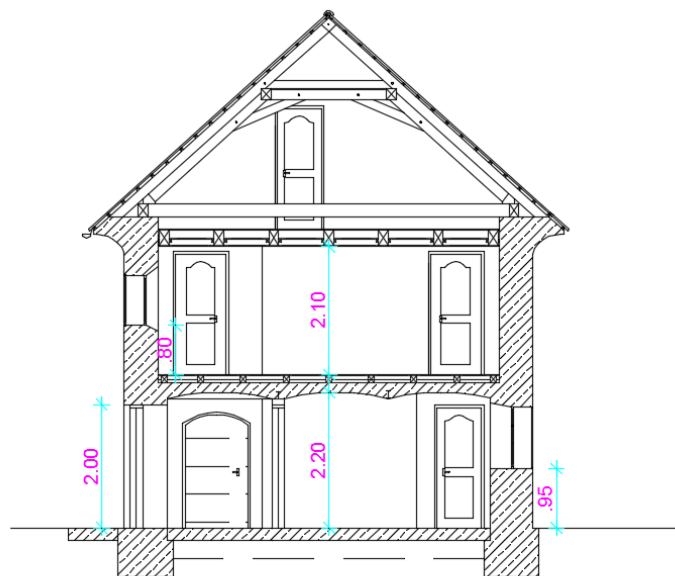


TLORIS NADSTROPJA



Slika 12: Prvotno stanje (črno) in prizidek (rdeče) (vir: lasten, 2017).

Osnovni gradniki, kot so bili običajni v tistem času, so kamen, iz katerega je zgrajena nosilna konstrukcija, les, uporabljen za ostrešje in stavbno pohištvo ter apno za vezivo in omete. Pridobljeni so bili večino iz bližnjega okoliša.



Slika 13: Prečni prerez obravnavane stavbe (vir: lasten, 2017).

Objekt je temeljen na ilovnatih tleh. Glavni konstrukcijski sklop nosilnih sten je prečne zasnove z debelino spodnjega obodnega zidu 70 cm, zgornjega obodnega zidu 55 cm in notranjih nosilnih zidov 50 cm. Večji del pritličja je obokan, del stropa tako nad dnevnim prostorom kot v nadstropju pa je lesen. Streha je navadna dvokapnica v naklonu 42° brez prezračevanega kanala. Ostrešje je prezračevano. V preteklosti je bila pokrita z opečnim bobrovcem, sedaj pa je na njej betonski strešnik. Ostrešje je leseno s konstrukcijsko zasnovo trapeznega vešala ter z vmesnima in kapnima legama, kar zagotavlja prostorno podstrešje, ki ni izdelano in v preteklosti ni bilo namenjeno uporabi. Tla v kuhinji in predsobi so cementna, medtem ko so v dnevnem prostoru, kjer so se v zimskem času zadrževali dalj časa, lesena. V preostalih pritličnih delih, kjer so skladiščili predelke, so tla iz utrjene prsti. Tlaki v prostorih nadstropja so v celoti leseni.

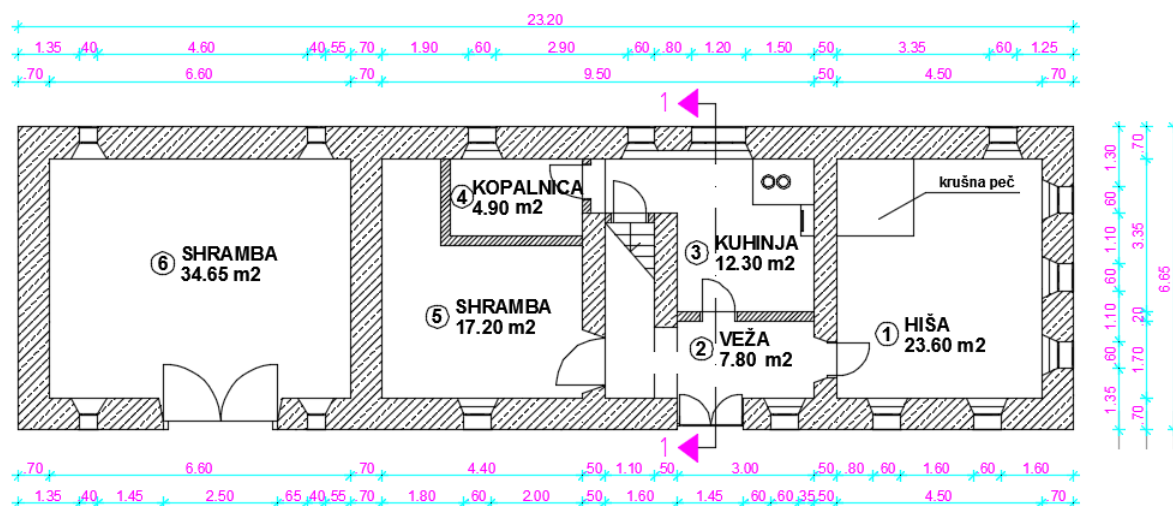
Pritličje sestavljajo dnevni (v nadaljevanju hišni) prostor, predsoba (v nadaljevanju veža), kuhinja z jedilnico, kopalnica, dve shrambi in stopnišče, ki vodi v zgornje nadstropje, kjer so bile včasih delovna soba in sobi za spanje. Podstrešje je dostopno preko lesenih stopnic.

Za pregrevanje stavbe so poskrbeli tako, da so na JZ strani hiše zasadili vinsko trto, ki čez poletje senči celotno fasado pritličja in nadstropja. Na SZ strani fasade sta bili dve visoki drevesi, ki so ju zaradi velikosti in propadanja odstranili.

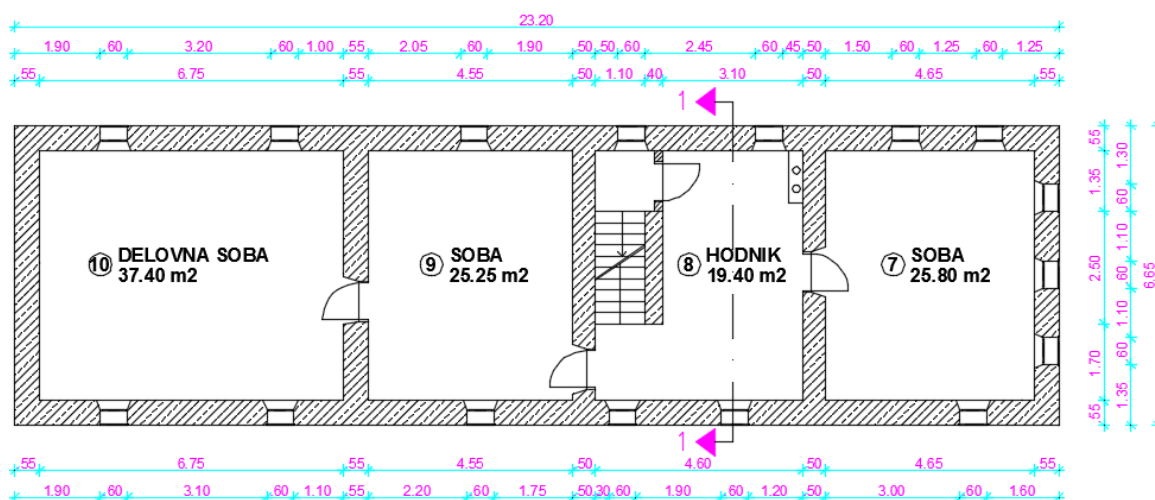
Hiša obsega $330,15 \text{ m}^2$ neto tlorisne površine, od tega $156,45 \text{ m}^2$ uporabne neto površine.

Preglednica 2: Seznam prostorov.

Pritličje /nadstropje /podstrešje		Svetla višina etaže h [m]	Neto površina A_{net} [m ²]	Neto prostornina V_{net} [m ³]
Ev. št.	Prostor			
1	hiša	2,10	23,60	49,56
2	veža	2,10	7,80	16,38
3	kuhinja	2,10	12,30	25,83
4	kopalnica	2,10	4,90	10,29
5	shramba	2,10	17,20	36,12
6	shramba	2,10	34,65	72,77
7	soba	2,10	25,80	54,18
8	hodnik	2,10	19,40	40,74
9	soba	2,10	25,25	53,03
10	delovna soba	2,10	37,40	78,54
11	podstrešje	3,20	79,35	131,42
12	podstrešje	3,20	37,50	59,94



Slika 14: Tloris stavbe (vir: lasten, 2017).



Slika 15: Tloris nadstropja (vir: lasten, 2017).

4.0 ANALIZA OBSTOJEČEGA STANJA

4.1 Programa KI Energija 2014 in U-wert

Program KI Energija 2014 [5] je izdelalo podjetje Knauf Insulation z namenom preprostega računanja energetske učinkovitosti stavbe. Deluje po veljavnem pravilniku PURES-u [3] in tehničnih smernicah TSG-01-004 [4]. V program je potrebno vnesti kar nekaj podatkov, vendar je zasnovan pregledno in so že podani kriteriji za doseganje minimalnih zahtev. Na podlagi lokacije kraja in koordinat, kjer se nahaja naša stavba, nam program že sam določi projektne temperature, vlažnost in obsevanja po mesecih. Po vneseni konstrukciji in različnih sistemih nam izdela izkaz stavbe ali elaborat URE, ki nam prikaže podatke o kazalnikih energetske učinkovitosti obravnavane stavbe [3].

Spletni program U-Wert je leta 2011 zasnoval Ralf Plag. Poleg veljavne zakonodaje (ISO in EN standardi) deluje tudi po nemških strožjih standardih DIN (predvsem kar zadeva prehoda vlago in kondenzacijo ter uporabo lesa in drugih na vlago občutljivih gradiv). Uporabili smo ga za izračun U faktorja, količino in sušenje kondenzata ter ostalih količin. Slike, ki prikazujejo plasti KS v preglednicah od 7 do 17, preglednicah od 20 do 26 in preglednicah od 28 do 29, so izdelane s programom U-Wert. [6]

Preglednica 3: Osnovni vhodni podatki za izdelavo energetske bilance (vir: [5]).

Osnovni podatki	
Lokacija	Y= 460856 / X= 120753
Kraj	Cerklje na Gorenjskem
Etažnost	2
Namembnost	Enostanovanjska stavba
Vrsta	Večja prenova
Status projekta	Izvedeno

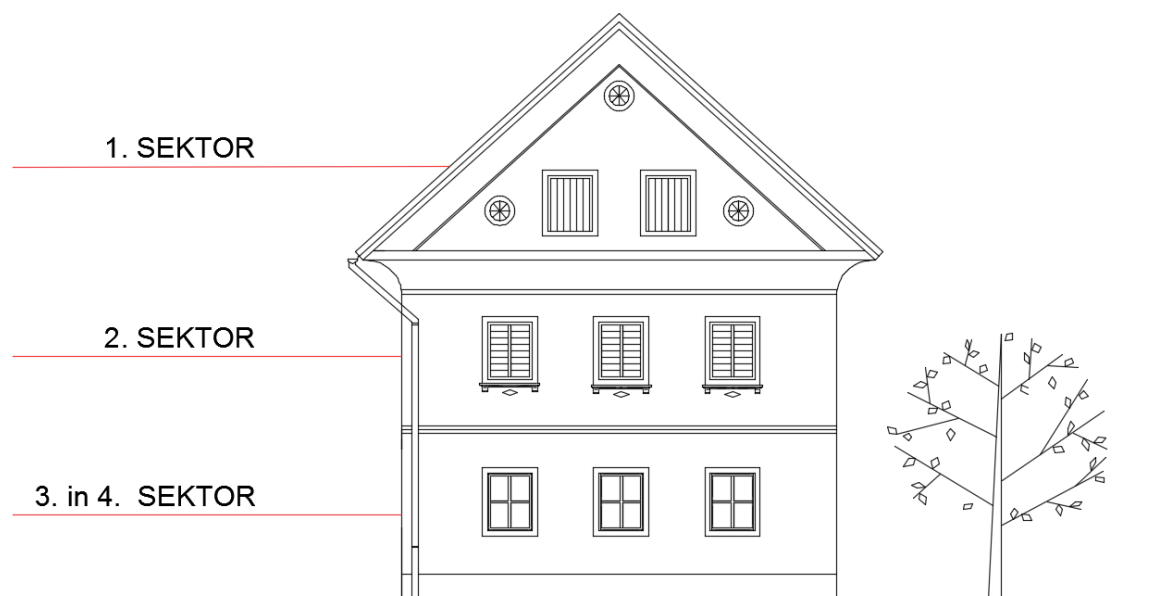
Preglednica 4: Meteorološki vhodni podatki za izdelavo energetske bilance (vir: [5]).

Meteorološki podatki	
Podnebje	Celinsko
Temperaturni primanjkljaj	3500 K dan/a
Zunanja zimska projektna temperatura	-16 °C
Povprečna letna temperatura	9,4 °C
Notranja temperatura poleti	26 °C
Notranja temperatura pozimi	20 °C
Notranja relativna vlažnost	65 %
Energija sončnega obsevanja	1111 kWh/m ² a

4.2 Sektorji objekta

Objekt smo glede na različne KS in načine ogrevanja razdelili na 4 sektorje, in sicer na:

1. sektor na podstrešju (neogrevan),
2. sektor v nadstropju (ogrevan) – meji na podstrešje,
3. sektor v pritličju (ogrevan) – meji na nadstropje,
4. sektor v pritličju (neogrevan) – meji na pritličje in nadstropje.



Slika 16: SZ fasada in delitev stavbe po sektorjih (vir: lasten, 2017).

Preglednica 5: Prikaz površin in prostornin po sektorjih

Sektor	Bruto površina A_b [m ²]	Neto površina A_n [m ²]	Neto uporabna površina $A_{n,u}$ [m ²]	Bruto prostornina V_b [m ³]	Neto prostornina V_n [m ³]
1.	154,28	119,34	-	258,42	193,38
2.	154,28	110,35	107,85	371,04	226,49
3.	105,73	68,30	48,60	281,27	143,43
4.	48,65	34,65	-	119,68	72,77

4.3 Zunanje odprtine

Vsa okna so iz lesenih in slabo tesnjenih okvirjev, v katerih so nameščena stara enoslojna stekla, ki povzročajo veliko toplotno prehodnost. Izdelana so kot dvojna, le da se lahko zunanje okno po potrebi odstrani. Senčila na notranji strani so zavese, ki so izdelane iz tkanine in nameščene na okna v ogrevanem delu pritličja ter v nadstropju. Senčila na zunanji strani so lesena polkna na oknih v nadstropju z namenom poletnega senčenja.



Slika 17: Obstoječe najpogostejše okno z vstavljeno kovansko mrežo (vir: lasten, 2017).



Slika 18: Obstoječa vrata (vir: lasten, 2017).

Vrata so sestavljena iz dveh odpirajočih lesenih kril, v katerih sta dve podolgovati enoslojni zasteklitvi (slika 18).

Toplotno prevodnost obstoječih oken in vrat smo v programu Ki Energija [5] določili vrednost $3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. Faktor senčenja (F_s) smo za štiri okna v ogrevanem delu pritličja določili na podlagi senčenja z objekti, in sicer z oddaljenostjo in višino sosednjega objekta na jugozahodni strani. Ta okna imajo faktor senčenja 0,85, medtem ko imajo preostala 1,0. Ker so okna in vrata neohranjena in z vidika potrate neprimerna, predlagamo, da se jih med energetske prenovi zamenja za nova, izdelana kot obstoječa z boljšo zasteklitvijo in tesnili prepir, tako da bo zasteklitev zadostila vrednosti toplotne prevodnosti U_{st} maksimalni $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$, lesena okna v celoti maksimalni vrednosti $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ in vrata maksimalni vrednosti $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$. V poglavju 5.0 in 6.0 upoštevamo vrednosti, ki zadostijo veljavnim predpisom. [4]

Preglednica 6: Evidentiranje zunanjih odprtín.

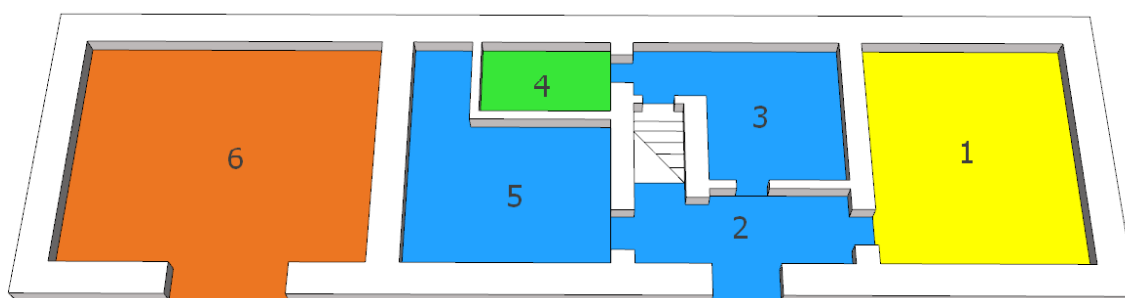
	Vrsta odprtín	Površina [m ²]	Delež zasteklitve	Pozicija in število odprtín glede na smer neba			
				SZ	JZ	JV	SV
Pritličje (ogrevano)	Vrata	2,90	0,15	-	-	-	1
	Okno	0,96	0,63	-	1	-	-
	Okno	0,42	0,68	3	3	-	4
Pritličje (neogrevano)	Vrata	5,00	-	-	-	-	1
	Okno	0,16	0,72	-	2	-	2
Nadstropje	Okno	0,42	0,68	3	7	-	6
Podstrešje	Okno	0,42	-	2	-	2	-
	Zračnik	0,07	-	3	-	3	-

V stavbi je skupno vgrajenih 35 zunanjih oken, 2 zunanjih vrat in 3 zunanji zračniki.

4.4 Konstrukcijski sklopi obstoječega stanja

4.4.1 Tla na terenu

Tla v pritličju smo razdelili na 4 različne KS, ki se razlikujejo po finalni obdelavi in sestavi vgrajenih materialov. KS tal na terenu obstoječega stanja temeljijo na predvidevanjih, saj je v samo sestavo nemogoč vpogled. Na terenskem pregledu smo v pritličju na spodnji strani zidov opazili vlažne madeže in nastanek plesni, kar dokazuje pomanjkljivost hidroizolacije, s katero bi preprečili dvigovanje kapilarne vode.



Slika 19: Barvno evidentiranje KS (tla na terenu) (vir: lasten, 2017).

Preglednica 7: KS tla na terenu v hiši.

Ev. št. prostora: 1		Debelina d [cm]	Toplotna prevodnost λ [W/m ² K]		
Št.	Material				
1	Lesene deske	3	0,14		
2	Pesek (suh)	5	0,58		
3	Betonska plošča	20	1,16		
4	Gramozno nasutje	35	1,40		
	Σ	63			
U [W/m ² K]		1,10	>	0,30	U_{max} [W/m ² K]
KS ne ustreza.					

Preglednica 8: KS tla na terenu v veži, kuhinji in shrambi (5).

Ev. št. prostora: 2, 3 in 5		Debelina d [cm]	Toplotna prevodnost λ [W/m ² *K]	
Št.	Material			
1	Betonska plošča	20	1,16	
2	Gramozno nasutje	35	1,40	
	Σ	55		
U [W/m ² K]		1,69	>	0,30
		KS ne ustreza.		U_{max} [W/m ² K]

Preglednica 9: KS tla na terenu v kopalnici.

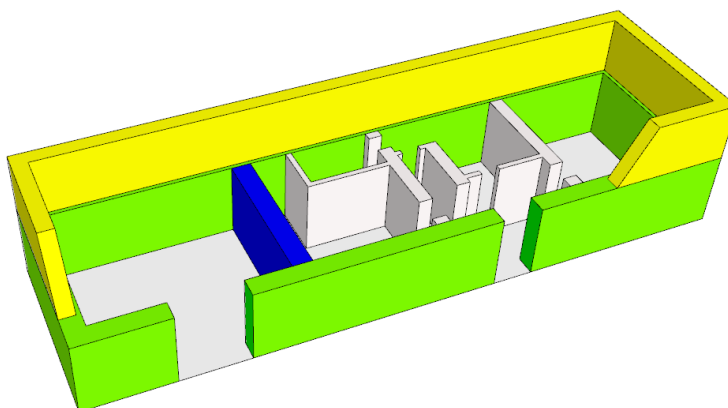
Ev. št. prostora: 4		Debelina d [cm]	Toplotna prevodnost λ [W/m ² *K]	
Št.	Material			
1	Keramične ploščice	0,7	0,87	
2	Cementno lepilo	1	0,90	
3	Betonska plošča	20	1,16	
4	Gramozno nasutje	35	1,40	
	Σ	56,7		
U [W/m ² K]		1,63	>	0,30
		KS ne ustreza.		U_{max} [W/m ² K]

Preglednica 10: KS tla na terenu v shrambi (6).

Ev. št. prostora: 6		Debelina d [cm]	Toplotna prevodnost λ [W/m ² *K]	
Št.	Material			
1	Gramozno nasutje	35	1,40	
	Σ	35		
U [W/m ² K]		2,38	>	0,35
		KS ne ustreza.		U_{max} [W/m ² K]

4.4.2 Zunanje in notranje stene

Zunanje in notranje nosilne stene so zidane iz naravnega kamna in ometane z apneno malto. Notranji predelni steni med kuhinjo in vežo ter med kopalnico in shrambo sta zidani iz opečnih zidakov ter ometani. V izračunih notranjih predelnih sten nismo upoštevali. Na sliki 20 je z rumeno barvo označena obodna stena v nadstropju, z zeleno v pritličju in modro med ogrevanim in neogrevanim delom pritličja.



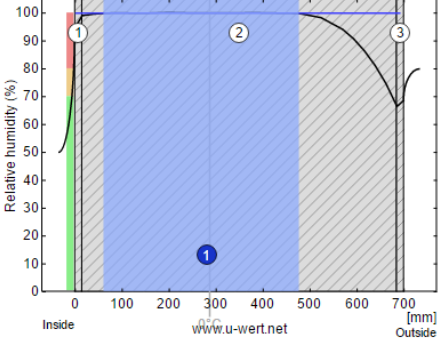
Slika 20: Barvno evidentiranje KS zunanjih in notranjih sten (vir: lasten, 2017).

Preglednica 11: KS zunanja stena v tretjem ogrevanem in četrtem neogrevanem sektorju.

		Debelina d [cm]	Toplotna prevodnost λ [W/m*K]
Št.	Material		
1	Apneni omet	1,5	1,81
2	Zid iz nar. kamna	67	1,16
3	Apneni omet	1,5	1,81
	Σ	70	

U [W/m ² K]	1,27	>	0,28	U_{max} [W/m ² K]
KS ne ustreza.				

Količina kondenzata [kg/m ²]	0,084	Čas sušenja [dni]	15
--	-------	-------------------	----



The graph illustrates the relative humidity profile across a wall assembly. The x-axis represents the distance in millimeters from the 'Inside' (left) to the 'Outside' (right), with major ticks every 100 mm. The y-axis represents the relative humidity in percent, ranging from 0 to 100. A blue shaded area, labeled '1' in a blue circle, indicates the zone where condensation occurs, spanning from approximately 0 mm to 480 mm. A white area, labeled '2' in a white circle, indicates the zone without condensation, from approximately 480 mm to 700 mm. A vertical line at 700 mm is labeled '3' in a white circle. The curve shows a sharp increase in humidity at the inside surface (0 mm), a gradual decrease through the insulation layer, a slight increase at the boundary of the condensation zone, and a final decrease at the outside surface. The source 'www.u-wert.net' is noted at the bottom.

Preglednica 12: KS zunanja stena v drugem ogrevanem sektorju.

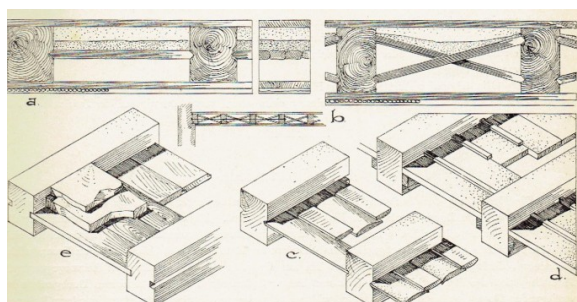
Št.	Material	Debelina d [cm]	Toplotna prevodnost λ [W/m ² *K]
1	Apneni omet	1,5	1,81
2	Zid iz nar. kamna	52	1,16
3	Apneni omet	1,5	1,81
Σ		55	
U [W/m ² K]		1,53	>
		0,28	U_{max} [W/m ² K]
KS ne ustreza.			
Količina kondenzata [kg/m ²]		0,56	Čas sušenja [dni]
			17

Preglednica 13: KS notranja stena med tretjem ogrevanem in četrtem neogrevanem sektorjem.

Med prostoroma ev. št. 5 in 6		Debelina d [cm]	Toplotna prevodnost λ [W/m ² *K]
Št.	Material		
1	Apneni omet	1,5	1,81
2	Zid iz nar. kamna	67	1,16
3	Apneni omet	1,5	1,81
Σ		70	
U [W/m ² K]		1,27	>
		0,28	U_{max} [W/m ² K]
KS ne ustreza.			

4.4.3 Medetažna konstrukcija

Zaradi nedostopnosti vpogleda in posledično težjega določljivega konstrukcijskega sklopa stropne konstrukcije smo si za strop nad hišo in nadstropnimi prostori pomagali s knjigo tesarских mojstrov iz leta 1896, kjer so opisani načini izdelave stropne konstrukcije v preteklosti. Izbrali smo si najbolj enostavno varianto, saj predpostavljamo, da so konstrukcijski sklopi v knjigi večinoma obravnavani za bogato meščansko gradnjo, zato smo povzeli (d) strop nad hišnim prostorom in nadstropjem iz lesenih stropnikov, med katerimi je nasutje suhega peska in nad njim lesene talne deske. [13]



Slika 21: Različne izvedbe lesenih stropov (vir: [13]).

Preglednica 14: Medetažna konstrukcija stropa nad hišo.

Nad prostorom ev. št. 1		Debelina d [cm]	Toplotna prevodnost λ [W/m*K]		
Št.	Material				
1	Lesene deske	3	0,14		
2	Pesek (suh)	7	0,58		
3	Lesene deske	2,5	0,14		
-	Zrak	14,5	-		
4	Lesene deske	2	0,14		
5	Apneni omet	1,5	0,81		
	Σ	30,5			
U [W/m ² K]		1,18	>	0,90	U_{max} [W/m ² K]
KS ne ustreza.					

Relative humidity (%)

Inside Outside

www.u-wert.net

Preglednica 15: Medetažna konstrukcija stropa nad vežo, kuhinjo, kopalnico in shrambo (5).

Nad prostori ev. št. 2, 3, 4 in 5		Debelina d [cm]	Toplotna prevodnost λ [W/m*K]	
Št.	Material			
1	Lesene deske	3	0,14	
2	Pesek (suh)	12	0,58	
3	Obok iz polne opeke	20	0,58	
4	Apneni omet	1	0,81	
	Σ	36		
U [W/m ² K]	1,05	>	0,90	U_{max} [W/m ² K]
KS ne ustreza.				

Preglednica 16: Medetažna konstrukcija stropa nad neogrevano shrambo (6).

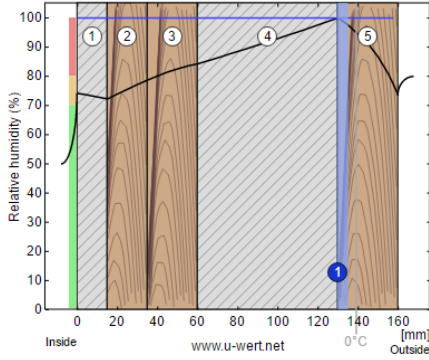
Nad prostorom ev. št. 6		Debelina d [cm]	Toplotna prevodnost λ [W/m*K]		
Št.	Material				
1	Lesene deske	3	0,14		
2	Pesek (suh)	12	0,58		
3	Obok iz polne opeke	20	0,58		
4	Apneni omet	1	0,81		
	Σ	36			
U [W/m ² K]		1,01	>	0,35	U_{max} [W/m ² K]
KS ne ustreza.					

Relative humidity (%)

Inside Outside

www.u-wert.net

Preglednica 17: Medetažna konstrukcija stropa med nadstropjem in neogrevanim podstrešjem.

Nad prostorom ev. št. 1		Debelina d [cm]	Toplotna prevodnost λ [W/m ² *K]		
Št.	Material				
1	Apneni omet	1,5	0,81		
2	Lesene deske	2	0,14		
-	Zrak	14,5	-		
3	Lesene deske	2,5	0,14		
4	Pesek, suh	7	0,58		
3	Lesene deske	3	0,14		
	Σ	30,5			
U [W/m ² K]		1,13	>	0,20	U_{max} [W/m ² K]
KS ne ustreza.					
Količina kondenzata [kg/m ²]		0,28		Čas sušenja [dni]	21

4.5 Analiza rezultatov obstoječega stanja

Izračunana toplotna prehodnost KS obstoječega stanja v vseh računskih primerih, izvedenih v programu U-Wert [6], presegajo primerjanje z mejnimi dovoljenimi vrednostmi U-faktorjev, ki ga določajo TSG. [4] Zunanja stena v pritličju in nadstropju ter medetažna konstrukcija med nadstropjem in neogrevanem podstrešjem so računsko preverjeno podvrženi k nastanku kondenzata v KS, vendar izračunane količine kondenzirane vlage ne presegajo določene mejne vrednosti 1kg/m².

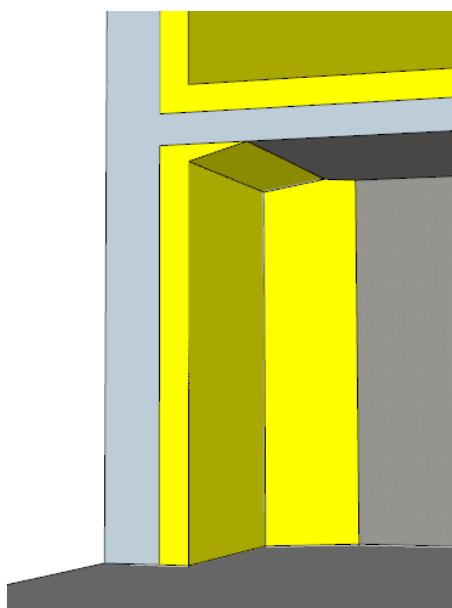
Po izračunu energetske učinkovitosti stavbe je razvidno, da izračunane vrednosti v preglednici 18 presegajo mejne vrednosti, ki jih določa PURES [3], zato ni dosežena energetska učinkovitost obstoječega stanja stavbe.

Preglednica 18: Kazalniki energetske učinkovitosti obstoječega stanja stavbe.

	Izračunano		Dovoljeno
Koeficient specifičnih transmissijskih izgub $H't$ [W/m ² K]	1,222	>	0,376
Letna potrebna toplota za ogrevanje Q_{NH}/Au [kWh/m ² a]	316,3	>	46,3
Letna primarna energija za delovanje sistemov v stavbi Q_p/Au [kWh/m ² a]	108,9	<	201,4
letni izpust CO ₂ [kg/a]	2801		-

5.0 ENERGETSKA OBNOVA Z UPOŠTEVANJEM ZAHTEV KULTURNE DEDIŠČINE

S prizadevanjem za ohranjenost zunanosti fasade in drugih prvin stare stavbe bomo v tem poglavju toplotno izolacijo namestili na notranje obodne dele zidov. Le med neogrevanim in ogrevanim sektorjem lahko izolacijo namestimo na zunanjo stran notranjega zidu, kjer pozicija izolacije ne predstavlja vpliva na varovane lastnosti. Pri stičišču notranjega in zunanjega zidu ter stropa se bodo pojavili toplotni mostovi. Da bi poskušali čim bolj omiliti in izenačiti toplotno prevodnost po celotnem ovoju stavbe, predlagamo rešitev z dodatno izolacijo v obliki zagozde (slika 22). Poleg zgoraj opisanih problemov bo zaradi predvidene debeline izolacije prišlo do problematike notranjega prostora in postavitvijo nekaterih notranjih vrat, ki so vgrajena v neposredni bližini obodnega zidu.



Slika 22: Dodatna izolacija v obliki zagozde za preprečevanje toplotnih mostov (vir: lasten, 2017).

5.1 Spaceloft®

Pri energetske obnove z upoštevanjem kulturne dediščine je smiselno uporabiti izolacijo, ki nudi odlične toplotne lastnosti, zaradi katerih se lahko debelina same izolacije znatno zmanjša. Majhna debelina izolacije pomeni tudi manjše poseganje v sam prostor, ki ga izoliramo. Za ta namen so strokovnjaki v podjetju Aspen Aerogels® s patentirano nanotehnologijo razvili izolacijo Spaceloft®, ki je namenjena široki uporabi v gradbeništvu. Izdelana je iz vlaken in materiala aerogela, ki je trden material nizke gostote, izpeljan iz gela, v katerem je ujeta več kot 90 odstotkov zraka. Poleg drugih izjemnih lastnosti ima najnižjo toplotno prevodnost med vsemi poznanimi trdnimi materiali. Razrez na poljubne dimenzije izolacije je preprost, saj se reže z običajnim rezalnim orodjem. [14]

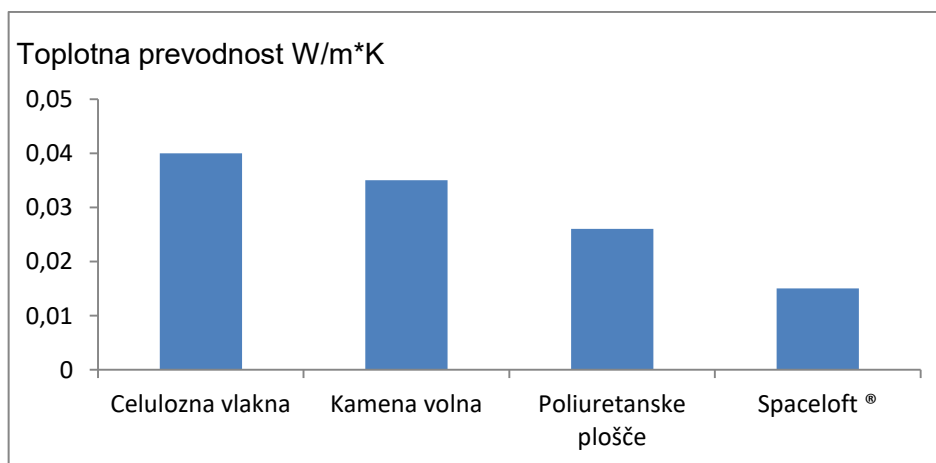


Slika 23: Izolacija Spaceloft® (vir: [14]).

Preglednica 19: Tehnične lastnosti izolacije Spaceloft® (vir: [14]).

Nominalna debelina	5 mm/10 mm
Širina	1,45 m
Toplotna prevodnost	0,015 W/m*K
Difuzijska upornost vodni pari	5
Specifična toplota	1000 J/(kg*K)
Gostota	160 kg/m ³
Hidrofobnost	Da
Požarna odpornost	C, s1,d0
Barva	Siva
CE oznaka	Da
Odpornost na kompresijo	Da

Zgoraj navedeno izolacijo bi bilo smiselno zaradi ekstremne cene 300 EUR/m² [15] uporabiti le v primerih, kjer je najbolj potrebna. Zato predlagamo, da bi jo vgradili na mesta špalet ob zunanjih odprtinah.



Slika 24: Graf primerjave toplotne prevodnosti izolacijskih materialov.

5.2 Konstrukcijski sistemi z upoštevanjem KD

5.2.1 Tla na terenu

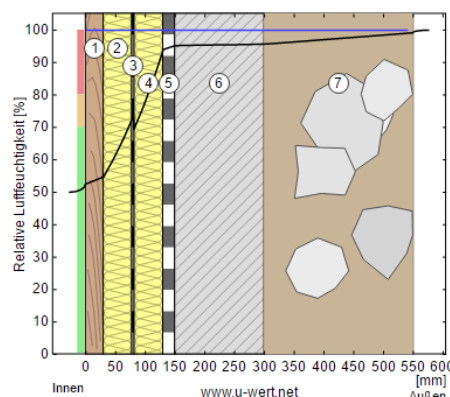
Zaradi majhne svetle višine in potrebne po izolativnosti tal v pritličnih prostorih predlagamo razdrtje obstoječih tal na terenu in poglobitev za sloj toplotne in hidro izolacije.

Preglednica 20: KS tla na terenu v hiši.

Ev. št. prostora: 1		Debelina d [cm]	Toplotna prevodnost λ [W/m*K]
Št.	Material		
1	Lesene deske	3	0,140
2	Kamena volna	5	0,034
3	Parna ovira/zapora	0,1	-
4	Kamena volna	5	0,034
5	Bitumenski hidro izolacijski trak	2	-
6	Betonska plošča	15	-
7	Gramozno nasutje	25	-
-	Geotekstil	0,1	-
Σ		55,1	

U [W/m ² K]	0,30	<	0,30	U_{max} [W/m ² K]
KS ustreza.				

Vpliv:

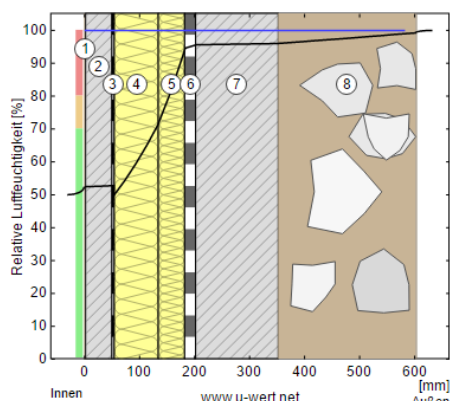


Preglednica 21: KS tla na terenu v veži, kuhinji in shrambi (5).

Ev. št. prostora: 2, 3 in 5		Debelina d [cm]	Toplotna prevodnost λ [W/m*K]
Št.	Material		
1	Linolej	0,3	0,190
2	Cementni estrih	5	1,400
3	Parna ovira/zapora	0,1	-
4	Ekspandiran polistiren	8	0,041
5	Kamena volna	5	0,034
6	Bitumenski hidro izolacijski trak	2	-
7	Betonska plošča	15	-
8	Gramozno nasutje	25	-
-	Geotekstil	0,1	-
Σ		60,5	

U [W/m ² K]	0,27	<	0,30	U_{max} [W/m ² K]
KS ustreza.				

Vpliv:



Preglednica 22: KS tla na terenu v kopalnici.

Ev. št. prostora: 4		Debelina d [cm]	Toplotna prevodnost λ [W/m*K]
Št.	Material		
1	Keramične ploščice	0,7	1,280
2	Cementni estrih	5	1,400
3	Parna ovira/zapora	0,1	-
4	Ekspandiran polistiren	8	0,041
5	Kamena volna	5	0,034
6	Bitumenski hidro izolacijski trak	2	-
7	Betonska plošča	15	-
8	Gramozno nasutje	25	-
-	Geotekstil	0,1	-
Σ		60,9	

U [W/m ² K]	0,28	<	0,30	U_{max} [W/m ² K]
KS ustreza.				

www.u-wert.net

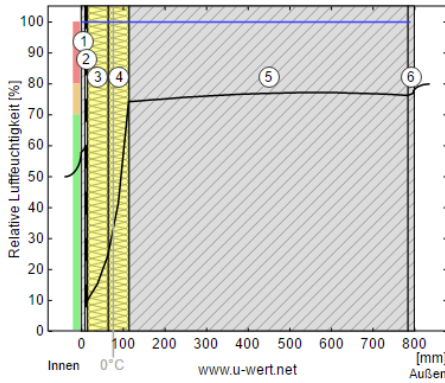
Vpliv:

5.2.2 Zunanje in notranje stene – toplotna izolacija na notranji strani

Preglednica 23: KS zunanja in notranja stena v tretjem ogrevanem in četrtem neogrevanem sektorju.

		Debelina d [cm]	Toplotna prevodnost λ [W/m*K]
Št.	Material		
1	Mavčne kartonske plošče	1,25	0,210
2	Parna ovira/zapora	0,1	-
3	Kamena volna	5	0,035
4	Kamena volna	5	0,035
5	Zid iz nar. kamna	67	1,160
6	Apneni omet	1,5	0,810
Σ		79,9	

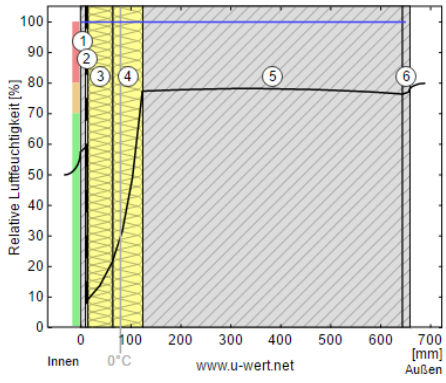
U [W/m ² K]	0,27	<	0,28	U_{max} [W/m ² K]
KS ustreza.				



Vpliv: 

Preglednica 24: KS zunanja stena v drugem ogrevanem sektorju.

Št.	Material	Debelina d [cm]	Toplotna prevodnost λ [W/m ² K]
1	Mavčne kartonske plošče	1,25	0,210
2	Parna ovira/zapora	0,1	-
3	Kamena volna	5	0,035
4	Kamena volna	6	0,035
5	Zid iz nar. kamna	52	1,160
6	Apneni omet	1,5	0,810
Σ		65,9	
U [W/m ² K]		0,26	<
		KS ustreza.	
		0,28	U_{max} [W/m ² K]

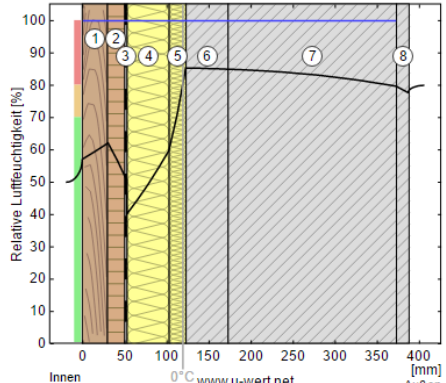


Vpliv:

5.2.3 Medetažna konstrukcija

Preglednica 25: Medetažna konstrukcija stropa nad neogrevano shrambo (6).

Nad prostorom ev. št. 6		Debelina d [cm]	Toplotna prevodnost λ [W/m ² K]
Št.	Material		
1	Lesene deske	3	0,14
2	OSB plošče	2,2	0,13
3	Parna ovira/zapora	0,1	-
4	Ekspandiran polistiren	5	0,041
5	Kamena volna	2	0,037
6	Izravnalni beton	5	1,51
7	Obok iz polne opeke	20	0,58
8	Apneni omet	1	0,810
Σ		38,3	
U [W/m ² K]		0,33	<
		KS ustreza.	
		0,35	U_{max} [W/m ² K]



Vpliv:

Preglednica 26: Medetažna konstrukcija stropa med nadstropjem in neogrevanim podstrešjem.

Nad prostorom ev. št. 1		Debelina d [cm]	Toplotna prevodnost λ [W/m ² *K]	
Št.	Material			
1	Apneni omet	1,5	0,810	
2	Lesene deske	2	0,140	
-	Zrak	14,5	-	
3	Lesene deske	2,5	0,140	
4	Parna ovira/zapora	0,1	-	
5	Kamena volna	6	0,037	
6	Kamena volna	12	0,037	
7	Paroprepustna strešna folija	0,1	-	
8	Lesene deske	3	0,140	Vpliv:
Σ		41,7		
U [W/m ² K]		0,19	<	0,20
		KS ustreza.		U_{max} [W/m ² K]

5.3 Analiza rezultatov izračuna energetske bilance z upoštevanjem zahtev KD

Po izračunu energetske učinkovitosti izbrane stavbe z nameščeno TI in upoštevanjem zahtev KD, ugotovimo, da sta izračunani koeficient $H't$ in letna primarna energija za delovanje sistemov v stavbi Q_p/A_u dosti manjša od dovoljenega, kljub temu da so posamezni KS tik pod mejnimi vrednostmi koeficienta toplotne prehodnosti. Izračunana letna potrebna toplota za ogrevanje Q_{NH}/A_u še vedno ne zadostuje dovoljenim vrednostim.

Preglednica 27: Kazalniki energetske učinkovitosti energetske obnove z upoštevanjem zahtev KD.

	Izračunano		Dovoljeno
Koeficient specifičnih transmissijskih izgub $H't$ [W/m ² K]	0,286	<	0,376
Letna potrebna toplota za ogrevanje Q_{NH}/A_u [kWh/m ² a]	78,4	>	46,3
Letna primarna energija za delovanje sistemov v stavbi Q_p/A_u [kWh/m ² a]	90,3	<	201,4
Letni izpust CO ₂ [kg/a]	2772		-

6.0 ENERGETSKA OBNOVA BREZ UPOŠTEVANJA ZAHTEV KULTURNE DEDIŠČINE

V želji, da bi se ognili nepotrebnim posledicam in dodatnemu delu z nameščenjem toplotne izolacije na notranji strani zidov bomo v tem poglavju pri izračunih uporabili toplotno izolacijo na zunanji strani. Prednosti pri takem načinu izoliranja je veliko. Ena od teh je nepotrebna vgradnja parne ovire, saj debel kamniti zid že po naravi ovira prehod vodne pare, vendar je z vidika KD toplotna izolacija na zunanji strani nesprejemljiv vpliv na zunanji videz stavbe [7].

6.1 Konstrukcijski sistemi brez upoštevanja KD

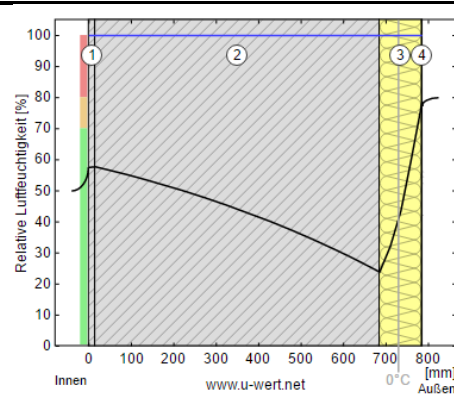
Od zgoraj obravnavanih KS v poglavju 6.2 se v tem poglavju razlikujeta samo dva KS. Obstoječi notranji omet in obodni zid iz naravnega kamna debeline 67 cm se ohranita brez večjih predvidenih posegov. Pred namestitvijo TI se zunanji apneni omet odstrani v celoti. Za TI smo izbrali fasadne plošče neo super EPS, proizvajalca Fragmat [16]. Pri izračunu toplotne prevodnosti smo ugotovili, da maksimalni dovoljeni zahtevi U-faktorja zadostuje že sloj 10 cm. Fasada se zaključi s finalnim slojem debeline 1 cm. Skupna debelina spodnjih obodnih zidov po novem znaša 85,5 cm, zgornjih obodnih pa 64,5 cm.

6.1.1 Zunanje in notranja stene – toplotna izolacija na zunanji strani

Preglednica 28: KS zunanja stena v tretjem in četrtem sektorju.

		Debelina d [cm]	Toplotna prevodnost λ [W/m*K]
Št.	Material		
1	Apneni omet	1,5	0,810
2	Zid iz nar. kamna	67	1,160
3	Fasadne plošče neo super EPS	10	0,032
4	Zaključni fasadni sloj	1	0,700
Σ		85,5	

U [W/m ² K]	0,26	<	0,28	U_{max} [W/m ² K]
KS ustreza.				



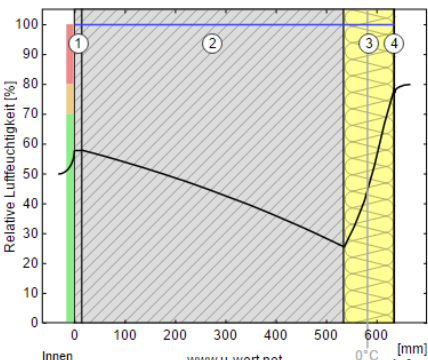
Innen
www.u-wert.net
0°C
Außen

Vpliv:

Preglednica 29: KS zunanja stena v drugem ogrevanem sektorju.

		Debelina d [cm]	Toplotna prevodnost λ [W/m ² K]
Št.	Material		
1	Apneni omet	1,5	0,810
2	Zid iz nar. kamna	52	1,160
3	Fasadne plošče neo super EPS	10	0,032
4	Zaključni fasadni sloj	1	0,700
Σ		64,5	

U [W/m ² K]	0,27	<	0,28	U_{max} [W/m ² K]
KS ustreza.				



Relative Luftdichtheit [%]

Innen 0 100 200 300 400 500 600 [mm] Außen

0°C

www.u-wert.net

Vpliv: 

6.2 Analiza rezultatov izračuna energetske bilance brez upoštevanja zahtev KD

Kljub nekoliko drugačnim posegom na stavbi so si mejne vrednosti učinkovite rabe energije [3] zelo podobne iz zgornjega poglavja 5.0.

Preglednica 30: Kazalniki energetske učinkovitosti energetske obnove brez upoštevanja KD.

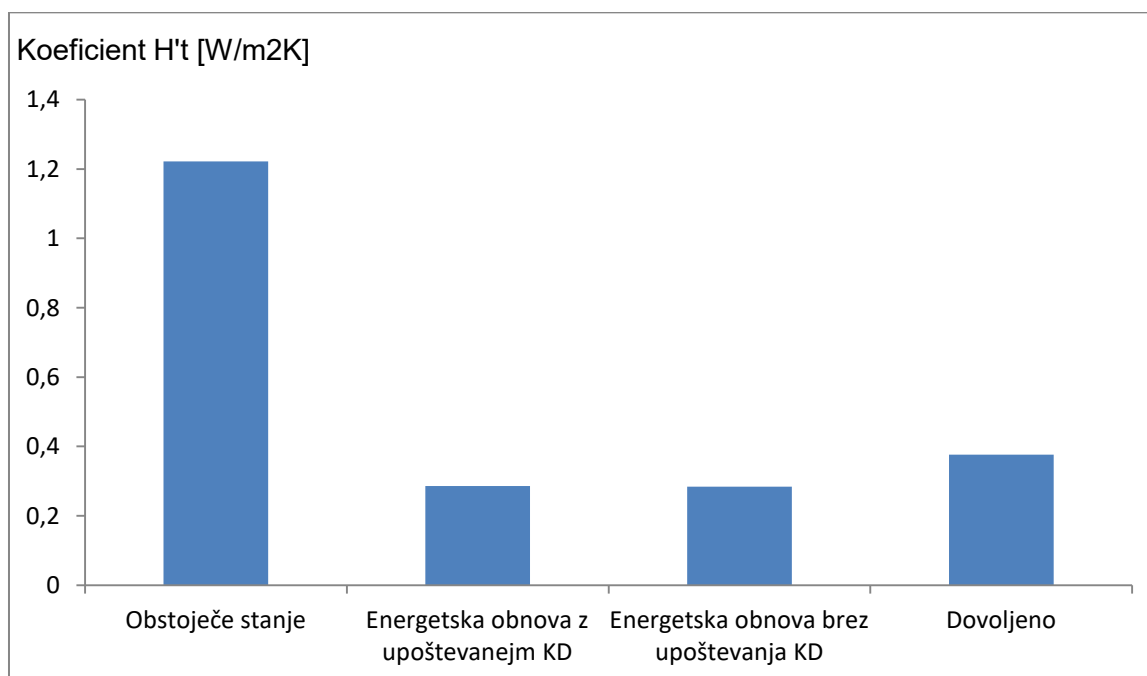
	Izračunano		Dovoljeno
Koeficient specifičnih transmisijskih izgub $H't$ [W/m ² K]	0,284	>	0,376
Letna potrebna toplota za ogrevanje Q_{NH}/Au [kWh/m ² a]	77,9	>	46,3
Letna primarna energija za delovanje sistemov v stavbi Q_p/Au [kWh/m ² a]	90,1	<	201,4
Letni izpust CO ₂ [kg/a]	2772		-

7.0 PRIMERJANJE REZULTATOV ENERGETSKIH BILANC

Rezultat izračuna koeficienta $H't$ obstoječega stanja je pričakovan in ne ustreza dovoljenim izračunanim mejnim vrednostim. Koeficient $H't$ je pri obeh energetskih obnovah ustrezen glede na dovoljenega in skoraj enak, kljub spreminjanju nekaterih KS in toplotnih izolacij. Letna potrebna toplota za ogrevanje je v vseh treh analizah previsoka glede na izračunane dovoljene vrednosti. Da bi zadostili predpisom, bi bili potrebni še drugi ukrepi energetske prenove in strožji ukrepi, ki so se že uporabili pri izračunih. Letna primarna energija za delovanje sistemov v stavbi je v vseh primerih v mejah dovoljene. Letni izpust CO_2 je pričakovano skoraj enak, saj se med izračuni ni spreminjal ogrevalni sistem.

Preglednica 31: Primerjava kazalnikov energetske učinkovitosti.

	Obstoječe stanje	Energetska obnova z upoštevanjem KD	Energetska obnova brez upoštevanja KD	Dovoljeno
$H't$ [W/m ² K]	1,222	0,286	0,284	0,376
QNH/Au [kWh/m ² a]	316,3	78,4	77,9	46,3
Qp/Au [kWh/m ² a]	108,9	90,3	90,1	201,4
CO ₂ [kg/a]	2801	2772	2772	-



Slika 25: Graf primerjave koeficienta $H't$ med posameznimi variantami energetske obnove stavbe.

8.0 OCENA STROŠKOV ENERGETSKE OBNOVE

V tem poglavju bomo podali opis del in informativne cene, ki se nanašajo na energetska obnovo z upoštevanjem KD in brez upoštevanja KD. Glavni namen tega je predstaviti razlike postavk toplotne izolacije na obodnih stenah, ki jih zajemata analizirani obnovi.

Preglednica 32: Popis del in stroški obnove z upoštevanjem KD.

Opis del	Enota	Količina	Cena na enoto [EUR]	Skupaj [EUR]
Odstranitev notranjega obstoječega ometa na obodnih stenah	m ²	142,00	10,00	1.420,00
Dobava in montaža kamene volne Knauf DP-5 (debelina 5 cm) na notranjo stran obodne stene	m ²	213,70	15,00	3.205,50
Dobava in montaža kamene volne Knauf DP-5 (debelina 6 cm) na notranjo stran obodne stene	m ²	69,60	16,00	1.113,60
Dobava in montaža kamene volne v obliki zagozd	m	123,00	14,50	1.783,50
Dobava in montaža parne ovire	m ²	205,00	4,00	820,00
Dobava in polepitev stikov parne ovire	m ²	205,00	2,00	410,00
Dobava in montaža stenskih mavčno kartonskih plošč Knauf	m ²	205,00	25,00	5.125,00
Kitanje in brušenje sten (dvakrat)	m ²	205,00	11,00	2.255,00
Pleskanje sten (dvakrat)	m ²	205,00	4,00	820,00
			SKUPAJ:	16.952,60

V površino 205 m² je vključena tudi površina v obliki zagozde, ki je predlagana zaradi toplotnih mostov, ki bi eventualno nastali zaradi toplotne izolacije na notranji strani zidu.

Preglednica 33: Popis del in stroški obnove brez upoštevanja KD.

Opis del	Enota	Količina	Cena na enoto [EUR]	Skupaj [EUR]
Postavitev delovnega odra	m ²	201,80	3,50	706,30
Odstranitev zunanjega obstoječega ometa na obodnih stenah	m ²	201,80	10,00	2.018,00
Dobava in montaža fasadnih plošč neo super EPS Fragmat (debelina 10 cm)	m ²	201,80	33,00	6.659,40
Nanos lepilne malte z mrežico ter izdelava zaključnega fasadnega sloja	m ²	201,80	5,00	1.009,00
			SKUPAJ:	10.392,70

Zaradi vizualnega izgleda fasade je v preglednici 33 vključena tudi pročelna fasada na čelnem, zunanjem zidu podstrešja, površine 11,60 m², zato je v končni znesek 10.392,70 evrov vključen tudi znesek nepotrebnega stroška 597,40 evrov. V obeh primerih raziskave stroškov obnove nista vključeni demontaža in montaža okenskih polic ter toplotna izolacija na mestih okenskih špalet. Po izračunu ugotovimo, da je varianta, pri kateri upoštevamo TI na notranji strani, dražja za 6.559,90 evrov od druge variante, v kateri je upoštevana TI na zunanji strani zidu.

Cene na enoto ne vključujejo DDV in so pridobljene z osebno komunikacijo [17].

9.0 ZAKLJUČEK

V prvem delu diplomskega dela, ko smo na terenu pridobivali informacije o stavbi, se nam je ves čas zastavljalo vprašanje, ali bo stavba s tako debelimi zidovi in slabo ohranjenostjo sploh primerna za nadaljnjo analizo in diplomsko delo. Po daljšem premisleku in pogovoru z mentorjem smo nadaljevali z delom. S pomočjo programa smo hitro prišli do ugotovitev, da kljub ohranjenim debelim stenam, ki jih ima v obstoječem stanju obravnavana enodružinska kmečka hiša, v celoti ne izpolnjuje sedanjih zahtev minimalne vrednosti toplotne prehodnosti skozi KS. Da bi določili ukrepe, ki bi pripomogli k izboljšanju energetske lastnosti stavbe, smo naredili energetske bilanco obstoječega stanja, ki je prav tako pokazala na slabe in neustrezne rezultate.

V želji, da bi hiša dosegala le minimalne zahteve, smo podali rešitve in spremembe obstoječih KS. Ukrepe smo razdelili na dve poglavji. V prvem poglavju smo med drugim TI namestili na notranje dele zunanjih zidov, v drugem pa na zunanjo stran zunanjih zidov. Vse skupaj smo preverili s programom KI Energija [5], s katerim smo izračunali novo stanje energetske bilance. Ugotovili smo, da odstopanj med rezultati praktično ni, kljub temu da je bila TI različna, vendar po karakteristikah toplotne prevodnosti podobna in nameščena na različne pozicije.

Za konec smo okvirno ocenili razliko stroškov energetske obnove in prišli do spoznanja, da je v primeru izvedbe namestitve TI na zunanjo stran obodnih zidov občutno cenejša, vendar z vidika kulturno-spomeniškega varstva nesprejemljiv vpliv.

Kljub visoki starosti stavbe in ohranjenosti bi bilo za zdajšnje standarde bivanje v obstoječem stanju hiše neprimerno, zato bi bila potrebna celovita obnova z vključeno menjavo stavbnega pohištva in zakonsko potrebnim upoštevanjem spomeniškega varstva, ki bi hipotetično zagotovilo ohranjanje prvin in izgled stavbe skozi zgodovino.

VIRI

- [1] Zakon o graditvi objektov (ZGO-1). Uradni list RS št. 110/2002.
<https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/2004-01-4398?sop=2004-01-4398>
(Pridobljeno 10. 3. 2017.)
- [2] Zakon o varstvu kulturne dediščine (ZVKD-1). Uradni list RS št. 16/2008.
<https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/84972> (Pridobljeno 1. 3. 2017.)
- [3] Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES). Uradni list RS št. 52/2010.
<https://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?sop=2010-01-2856> (Pridobljeno 1. 3. 2017.)
- [4] Tehnična smernica TSG-1-004:2010. Učinkovita raba energije. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor. Št: 0071-101/2009: 114 str.
http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/zakonodaja/graditev_objektov/TSG_01_004_2010_ure.pdf (Pridobljeno 11. 2. 2017.) Št: 0071-101/2009
- [5] Knauf Isulation. 2015. Program za izračun kazalnikov energetske učinkovitosti stavbe (KI Energija 2014). <http://www.knaufinsulation.si/node/233> (Pridobljeno 15. 3. 2017.)
- [6] Plag, R. 2011. Program U-wert.
<https://www.u-wert.net/u-wert-rechner/?> (Pridobljeno 13. 2. 2017.)
- [7] Zavod za varovanje kulturne dediščine Slovenije. 2016. Smernice za energetske prenovi stavb kulturne dediščine.
http://www.mk.gov.si/fileadmin/mk.gov.si/pageuploads/Ministrstvo/Fotogalerija/2017/5-maj/smernice_kd-final.pdf (Pridobljeno 17. 2. 2017.)
- [8] Vlaga in plesen. 2016. <http://www.hizolplus.si/vlaga-plesen.html> (Pridobljeno 17. 2. 2017.)
- [9] Riwega®. Katalog eternity comfort. 2016. <http://fliphtml5.com/scgp/dnuo> (Pridobljeno 15. 2. 2017.)
- [10] Atlas okolja. 2017.
http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso (Pridobljeno 1. 3. 2017.)

[11] Ministrstvo RS za okolje in prostor. Javni vpogled v podatke o nepremičninah. 2017.
<http://prostor3.gov.si/javni/login.jsp?jezik=sl> (Pridobljeno 1. 3. 2017.)

[12] Ministrstvo RS za kulturo. Register nepremičnin kulturne dediščine. 2017.
<http://giskd6s.situla.org/giskd/> (Pridobljeno 11. 2. 2017.)

[13] Krauth, T., Meyer, F. S. 1896 Das zimmermanns buch. Leipzig, LPZ,EA Seemann: 380 str.

[14] Spaceloft®. Aspen Aerogels®. 2017.
http://www.aerogel.com/_resources/common/userfiles/file/Data%20Sheets/Spaceloft-European-Datasheet-EN.pdf (Pridobljeno 11. 4. 2017.)

[15] Spaceloft®. Aspen Aerogels®. 2017. <http://www.buyaerogel.com/product/spaceloft/>
(Pridobljeno 11. 4. 2017.)

[16] Neo super EPS. 2017. Fragmat.
<http://www.fragmat.si/si/gradbeni-program/izdelki/termoizolacije-eps/neo-super-fasadne-in-druga-plosce> (Pridobljeno 16. 5. 2017.)

[17] Podjed, B. 2017. Cene na enoto. Osebna komunikacija. (5. 7. 2017.)