

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*



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

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

To je izvirna različica zaključnega dela.

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

Tomažič, F., 2015. Analiza gradbeno fizikalnih lastnosti konstrukcijskih sklepov naravne gradnje. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Košir, M., somentorica Dovjak, M.): 54 str.

Datum arhiviranja: 02-10-2015

University  
of Ljubljana

Faculty of  
*Civil and Geodetic  
Engineering*



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

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

This is original version of final thesis.

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

Tomažič, F., 2015. Analiza gradbeno fizikalnih lastnosti konstrukcijskih sklepov naravne gradnje. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Košir, M., co-supervisor Dovjak, M.): 54 pp.

Archiving Date: 02-10-2015

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



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

**VISOKOŠOLSKI STROKOVNI  
ŠTUDIJSKI PROGRAM PRVE  
STOPNJE OPERATIVNO  
GRADBENIŠTVO**

Kandidat:

**FILIP TOMAŽIČ**

**ANALIZA GRADBENO FIZIKALNIH LASTNOSTI  
KONSTRUKCIJSKIH SKLEPOV NARAVNE GRADNJE**

Diplomska naloga št.: 108/OG-MO

**ANALYSIS OF BUILDING PARAMETERS OF  
NATURAL BUILDING STRUCTURAL ASSEMBLIES**

Graduation thesis No.: 108/OG-MO

**Mentor:**

doc. dr. Mitja Košir

**Somentorica:**

doc. dr. Mateja Dovjak

Ljubljana, 24. 09. 2015



### **IZJAVA O AVTORSTVU**

Podpisani Filip Tomažič izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom »Gradbeno fizikalna analiza konstrukcijskih sklopov naravne gradnje«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, september 2015

Filip Tomažič

## **BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

- UDK:** 624.01/.07:691.1(043.2)
- Avtoric:** Filip Tomažič
- Mentor:** doc. dr. Mitja Košir
- Somentorica:** doc. dr. Mateja Dovjak
- Naslov:** Gradbeno fizikalna analiza konstrukcijskih sklopov naravne gradnje
- Tip dokumenta:** Dipl. nal.–VŠŠ
- Obseg in oprema:** 54 str., 15 pregl., 23 sl., 0 e., 5 pril.
- Ključne besede:** naravna gradnja, slamogradnja, earthbag, cordwood, hempcrete, toplotna prehodnost, temperaturna stabilnost, difuzija vodne pare.

**Izveček:** Gradnja stavb in njihova uporaba sta med večjimi porabniki energije in onesnaževalci okolja. V diplomski nalogi proučujem uporabo lokalno pridobljenih naravnih materialov v gradbeništvu in različne metode gradnje ter izvedem analizo z vidika gradbene fizike. Najprej se posvetim pregledu literature s področja naravnih materialov in njihovim metodam gradnje. Obravnavane materiale in metode nato proučujem z vidika razvoja, izvedbe, tehnologije gradnje, stabilnosti, požarne odpornosti itd. Iz obravnavanih metod in naravnih materialov zasnujem KS-je zunanje stene. KS-je s pomočjo programske opreme obravnavam z vidika toplotne prehodnosti, toplotne stabilnosti in difuzije vodne pare. Pridobljene rezultate izračuna analiziram in primerjam z veljavno zakonodajo, pravilniki in konvencionalno gradnjo. KS-je po potrebi rešim oziroma izboljšam tako, da dosegajo predpisane vrednosti.

**BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION**

- UDC:** 624.01/.07:691.1(043.2)
- Author:** Filip Tomažič
- Supervisor:** Assist. Prof. Mitja Košir, Ph. D
- Co-advisor:** Assist. Prof. Mateja Dovjak, Ph. D
- Title:** Analysis of building physics parameters of natural building structural assemblies
- Document type:** Graduation Thesis – Higher professional studies
- Notes:** 54 p., 15 tab., 23 fig., 0 eq., 5 ann.
- Keywords:** natural building, strawbale, earthbag, cordwood, hempcrete, thermal transience, thermal stability, diffusion of water vapour.

**Abstract:** Construction and usage of buildings are among the most important factors of energy consumption and environmental pollution. The present thesis aims to study the use of local natural materials and different construction methods, and to conduct building physics analysis. In the first part of the thesis, we focus on the review of the literature on natural building materials and natural building methods. The materials and methods are studied in light of development, implementation, building technology, stability, fire resistance, etc. Based on the studied natural materials and methods, the structural assemblies of the exterior walls are designed. Furthermore, appropriate software is used to study structural assemblies in terms of thermal transmittance, thermal stability and diffusion of water vapour. Finally, the results of the calculation are analyzed and compared to the legislation in force, regulations and conventional construction methods. If necessary, structural assemblies are adjusted to meet the prescribed values.

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se mentorju doc. dr. Mitji Koširju in somentorici doc. dr. Mateji Dovjak za vso pomoč v času nastajanja diplomske naloge.

Zahvaljujem se tudi svoji družini za pomoč in podporo v času študija.

**KAZALO VSEBINE**

<b>STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA.....</b>	<b>I</b>
<b>IZJAVA O AVTORSTVU .....</b>	<b>II</b>
<b>BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK.....</b>	<b>III</b>
<b>BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION.....</b>	<b>IV</b>
<b>ZAHVALA .....</b>	<b>V</b>
<b>KAZALO VSEBINE .....</b>	<b>VI</b>
<b>KAZALO PREGLEDNIC .....</b>	<b>VIII</b>
<b>KAZALO GRAFIKONOV.....</b>	<b>IX</b>
<b>KAZALO SLIK .....</b>	<b>X</b>
<b>1 UVOD .....</b>	<b>1</b>
1.1 Namen in cilji .....	2
1.2 Metoda.....	2
<b>2 PREGLED IZBRANIH METOD GRADNJE Z UPORABO NARAVNIH MATERIALOV .....</b>	<b>3</b>
2.1 Slama.....	3
2.2 Earthbag.....	7
2.3 Cordwood.....	10
2.4 Konoplja .....	14
<b>3 PODROČNA ZAKONODAJA .....</b>	<b>20</b>
3.1 Uredba (EU) št. 305/2011 Evropskega parlamenta in Sveta.....	20
3.2 Prenovljena direktiva o energetske učinkovitosti stavb (Energy Performance of Buildings Directive – EPBD-r) .....	20
3.3 Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES 2010).....	20
3.4 Tehnična smernica TSG-1-004:2010 .....	21
<b>4 ZASNOVA ANALIZIRANIH KONSTRUKCIJSKIH SKLOPOV NARAVNE GRADNJE.....</b>	<b>22</b>
4.1 Opis uporabljene programske opreme.....	22
4.2 Računski model .....	22
4.3 Analizirani konstrukcijski sklopi.....	23
4.3.1 Slamogradnja .....	24
4.3.2 Earthbag .....	26



4.3.3	Cordwood .....	28
4.3.4	Hempcrete.....	30
4.3.5	Konvencionalni sklop .....	32
<b>5</b>	<b>REZULTATI IN NJIHOVA ANALIZA.....</b>	<b>33</b>
5.1	Rezultati in analiza toplotne prehodnosti obravnavanih KS-jev .....	33
5.1.1	Slamogradnja .....	34
5.1.2	Earthbag.....	35
5.1.3	Cordwood .....	35
5.1.4	Hempcrete.....	36
5.2	Rezultati toplotne stabilnosti obravnavanih KS-jev .....	36
5.3	Rezultati izračuna difuzije vodne pare skozi KS-je in analiza .....	37
<b>6</b>	<b>REŠITVE IN IZBOLJŠAVE .....</b>	<b>39</b>
6.1	Rešitev za KS-je, ki ne ustrezajo TSG4 glede toplotne prehodnosti .....	39
6.2	Rešitev za KS-je, ki ne ustrezajo TSG4 glede difuzije vodne pare .....	40
6.3	Rešitev za KS s prekomerno potrato prostora.....	42
<b>7</b>	<b>UGOTOVITVE IN ZAKLJUČKI.....</b>	<b>44</b>
<b>VIRI.....</b>		<b>46</b>

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Gradbenofizikalne lastnosti in sestava KS-ja – varianta 1 po slojih: slamogradnja (pokončno).....	24
Preglednica 2: Gradbenofizikalne lastnosti in sestava KS-ja – varianta 2 po slojih: slamogradnja (ležeče) .....	25
Preglednica 3: Gradbenofizikalne lastnosti in sestava KS-ja po slojih – varianta 3: earthbag	26
Preglednica 4: Gradbenofizikalne lastnosti in sestava KS-ja po slojih – varianta 4: earthbag	27
Preglednica 5: Gradbenofizikalne lastnosti in sestava KS-ja po slojih – varianta 5: cordwood .....	28
Preglednica 6: Gradbenofizikalne lastnosti in sestava KS-ja po slojih – varianta 6: cordwood .....	29
Preglednica 7: Gradbenofizikalne lastnosti in sestava KS-ja po slojih – varianta 7: hempcrete .....	30
Preglednica 8: Gradbenofizikalne lastnosti in sestava KS-ja po slojih – varianta 8: hempcrete .....	31
Preglednica 9: Gradbenofizikalne lastnosti in sestava KS-ja po slojih – varianta 9: konvencionalni sklop .....	32
Preglednica 10: rezultati izračuna toplotne prehodnosti in z njimi povezane veličine .....	33
Preglednica 11: Rezultati izračuna toplotne stabilnosti $\eta$ [h] in z njimi povezane veličine (d TI, d itd.) .....	36
Preglednica 12: Rezultati izračuna kondenzacije vodne pare .....	38
Preglednica 13: KS varianta 3-R (R kot rešitev).....	40
Preglednica 14: Rešitve za KS-je, ki ne ustrezajo TSG4 glede difuzije vodne pare .....	40
Preglednica 15: KS – varianti 8: R.....	43

## KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Prikaz debeline izolacije ( $d_{TI}$ [cm]) in skupne debeline ( $d$ [cm]) KS-jev za variante 1–9 – od najtanjšega proti najdebelejšemu KS-ju .....	34
Grafikon 2: Prikaz temperaturnih zakasnitev za vseh 9 variant KS-jev – od največjih do najmanjših.....	37

**KAZALO SLIK**

Slika 1: Polno polje slamnatih bal po baliranju (Vir slike 1: [9]).....	4
Slika 2: Neometana hiša, izvedena z endoskeletno konstrukcijo, ki kot polnilo uporablja slamnate bale. (Vir slike 2: [12]) .....	5
Slika 3: Nanašanje notranjega ilovnatega ometa z golimi rokami. (Vir slike 3: [18]) .....	7
Slika 4: Hiša, sestavljena iz več bivalnih enot v obliki kupol. (Vir slike 4: [20]) .....	8
Slika 5: Sedimentacijski test (Vir slike 5: [24]).....	9
Slika 6: Prikaz zidu iz vreč brez in z armirno mrežo, na katero se nanese omet. (Vir slike 6: [26]).....	10
Slika 7: Zid iz drv z vidno notranjo in zunanjo posteljico ter žagovino vmes kot toplotno izolacijo. (Vir slike 7: [32]).....	11
Slika 8: Družinska hiša okrogle oblike. (Vir slike 8: [34]).....	12
Slika 9: Prikaz gradnje z dvojno steno. (Vir slike 9: [36]) .....	13
Slika 10: Polje, posejano z industrijsko konopljo. (Vir slike 10: [45]).....	15
Slika 11: Prvi objekt v Sloveniji, grajen z uporabo konopljinega betona. (Vir slike 11: [49])	16
Slika 12: Zidovi hiše, grajeni iz konopljinega zidaka, ki imajo nosilno in izolacijsko funkcijo. (Vir slike 12: [50]) .....	18
Slika 13: Sestava KS-ja po slojih – varianta 1: slamogradnja (oznaka P predstavlja parno oviro).....	25
Slika 14: Sestava KS-ja po slojih – varianta 2: slamogradnja (oznaka P predstavlja parno oviro).....	25
Slika 15: Sestava KS-ja po slojih – varianta 3: earthbag. ....	26
Slika 16: Sestava KS-ja po slojih – varianta 4: earthbag. ....	27
Slika 17: Sestava KS-jev po slojih – varianta 5: cordwood.....	28
Slika 18: Sestava KS-ja po slojih – varianta 6: cordwood (oznaka P predstavlja parno oviro). .....	29
Slika 19: Primer cordwood stene (Vir slike 19: [63]).....	30
Slika 20: Sestava KS-ja po slojih – varianta 7: hempcrete. ....	30
Slika 21: Sestava KS-ja po slojih – varianta 8: konopljin zidak.....	31
Slika 22: Prikaz KS-ja – varianti 3: R (R kot rešitev).....	39
Slika 23: Diagram p-r, nastanek kondenzacije vodne pare v KS-ju – varianta 2: slamogradnja .....	41
Slika 24: Diagram p-r, rešitev KS-ja – varianta 2: z vgrajeno parno oviro na notranji strani TI .....	42
Slika 25: IPK (Vir slike 25: [55]).....	43

## 1 UVOD

Človeška populacija se je v zadnjih petdesetih letih več kot podvojila in je še v porastu. [1] Na voljo imamo enako količino virov kot v času nastanka Zemlje. Zaradi tega bi že bilo in bo v prihodnosti še bolj potrebno racionalnejše upravljanje z njimi. V Evropski uniji več kot 40 % celotne energije porabijo stavbe, ki so tako eden izmed največjih povzročiteljev emisij toplogrednih plinov.[2] Ob tem gradbeni sektor proizvede približno 20 % odpadkov v celotni verigi odpadkov, ki se sicer iz leta v leto bolj reciklirajo. [3] Tako gradnja in uporaba objektov povzročata oziroma pripomoreta k degradaciji in onesnaževanju okolja. Vgradnja umetnih materialov v objekte nam velikokrat onesnažuje bivalno okolje in vpliva na delovanje, zdravje človeka. [4] Pri gradnji objektov z uporabo naravnih materialov lahko dosegamo trajnostno, energetsko učinkovito gradnjo, ki ima minimalen vpliv na okolje in zvišuje kakovost bivanja. S pravilnim konstruiranjem in metodami gradnje dosegamo vse bistvene zahteve za gradbene objekte.

Po večini so se naravni materiali in metode gradnje z njimi že uporabljali skozi preteklo zgodovino, a smo zanje izgubili zanimanje, znanje in njihovo uporabo opustili. Prav tako obstaja zanemarljivo malo razpoložljivih znanstvenih in strokovnih člankov, ki bi se ukvarjali s sistematično in strokovno obravnavo gradnje z naravnimi materiali.

Z zastavljeno nalogo želim proučiti značilnosti različnih metod gradnje z uporabo naravnih materialov. Ob strokovnem nadzoru izkušenega graditelja je mogoče metode gradnje izvajati z delavci brez predhodnih delovnih izkušenj, saj je gradnja s tehničnega vidika dokaj enostavna. Tako lahko gradimo tehnično, arhitekturno dovršene in okolju prijazne stavbe. V nalogi se bom osredotočil na konstrukcijske sklope (v nadaljevanju KS) zunanjega zidu, izvedenega iz naravnih materialov, in na njihove gradbenofizikalne lastnosti.

V sklopu diplomske naloge bom iz razpoložljive literature s področja naravnih materialov in izbranih metod gradnje zasnoval večplastne KS-je zunanjega zidu. Z računalniškim

programom TEDI bom izvedel analizo prehoda toplote, toplotne stabilnosti in difuzije vodne pare skozi zid. V zaključnem delu bom ovrednotil rezultate, naredil primerjave in predstavil ugotovitve.

### 1.1 Namen in cilji

Namen diplomske naloge je proučiti uporabo lokalno pridobljenih naravnih materialov in metod gradnje, ki se lahko uporabljajo v gradbeništvu, in izvesti analizo z vidika gradbene fizike.

Zastavljeni cilji so:

1. izvesti pregled literature s področja uporabe naravnih materialov in njihovih metod gradnje,
2. sestaviti KS-je iz izbranih metod gradnje in naravnih materialov,
3. izračunati izbrane gradbenofizikalne parametre z uporabo programske opreme TEDI,
4. izvesti primerjavo izračunanih vrednosti z zahtevami slovenske zakonodaje in z lastnostmi konvencionalnega KS-ja,
5. na podlagi rezultatov predlagati morebitne izboljšave KS-jev.

### 1.2 Metoda

Obširni pregled literature bom opravil v bazah Sceince direct in Google search. Iskal bom relevantne vire v angleščini in slovenščini. Ključne iskane besede: »strawbale«, »cordwood«, »earthbag«, »hempcrete«. Osredotočil se bom na raziskave, objavljene med letoma 1971 in aprilom 2015, monografije, navodila in zakonodajo. Slednjo bom poiskal na EUR-lexu in v Uradnem listu RS.

Na podlagi informacij, pridobljenih s pomočjo pregleda razpoložljive literature, bom sestavil KS-je zunanjih zidov. S programsko opremo TEDI bom vse primere KS-jev analiziral s stališča gradbene fizike. Izračunal bom U-faktor, difuzijo vodne pare in temperaturno stabilnost. Rezultate bom primerjal z veljavno zakonodajo in konvencionalnim KS-ji ter po potrebi predlagal izboljšave.

## 2 PREGLED IZBRANIH METOD GRADNJE Z UPORABO NARAVNIH MATERIALOV

Področje gradnje z naravnimi materiali in metodami, ki sem jih izbral, v veliki meri še vedno ni strokovno raziskano. Strokovno literaturo sem v večini iskal na platformi sciencedirect.com, ki združuje dostop do akademskih člankov in knjig v elektronski obliki. Rezultati iskanja za metodo gradnje »earthbag« so tako rekoč nični, medtem ko je pri drugih metodah in njihovih KS-jih razvidno, da se količina literature iz leta v leto povečuje. To bi pripisal porastu zanimanja za uporabo naravnih in lokalno dostopnih materialov ter ekološkemu trendu, ki je zadnja leta v vzponu. Monografije sem po večini pridobil iz spletnih knjigarn. Veliko literature je dostopne v obliki spletnikov in drugih spletnih vsebin, z zanimanjem za področje gradnje z naravnimi materiali. Na teh straneh se lahko pridobi veliko uporabnih informacij, oplemenitenih s slikovnim in videogradivom, predvsem o samem načinu izvedbe gradnje. V tem primeru gre velikokrat za poljudne informacije, ki jih je treba preveriti. Nekaj literature v slovenskem jeziku sem pridobil v digitalnem repozitoriju Fakultete za gradbeništvo in geodezijo ter v obliki monografij v knjižnicah.

V nadaljevanju bom predstavil ugotovitve izbranih metod gradnje z uporabo naravnih materialov s področja zgodovine in razvoja metod, poteka gradnje, različnih izvedb KS-jev, trajnosti gradnje, toplotne izolativnosti, požarne odpornosti in drugih področij.

### 2.1 Slama

Slamo pridobivamo kot stranski kmetijski proizvod iz posušenih bilk žit (pšenice, pira, ajde, riža, rži itd.) brez zrnja. Bilke so sestavljene pretežno iz celuloze, hemiceluloze, lignina in drugih snovi. Slamo uporabljamo v številne namene, in sicer kot: gradbeni material, živalsko krmo, biogorivo itd. Kljub njeni uporabnosti pa je slama zaradi velikih količin proizvodnje žit mnogokrat zgolj stranski, neuporabljen produkt (slika 1). Zato jo je mogoče pridobiti kot poceni gradbeni material. [5] Slama se v gradnji uporablja že tisočletja. Običajno v kombinaciji z drugimi materiali, kot sta glina in pesek. Z izumom balirnega stroja v devetnajstem stoletju so graditelji spoznali potencial slamnatih bal za gradnjo stavb. Gradnja s

slamnatimi balami ima svoje začetke v Nebraski v ZDA, kjer tradicionalni gradbeni materiali, kot sta les in kamen, niso bili na voljo. Slamogradnja je doživela razcvet v osemdesetih in devetdesetih letih prejšnjega stoletja, ko se je razširila, najprej v ZDA, nato še v Evropi in Avstraliji. [6] Dandanes gradnja iz slamnatih bal predstavlja inovativen pristop h gradnji. Kot vse inovativne ideje je tudi ta metoda gradnje nastala kot rezultat iznajdljivosti, strasti do gradnje in eksperimentiranja. Ta način gradnje so razvili samograditelji z vizijo, ki so v slami videli potencial, ki so ga drugi spregledali. [7] V osnovi gre za tako imenovano »zeleno« in trajnostno gradnjo, ki je usmerjena predvsem v energetske učinkovito in okoljsko odgovorno gradnjo. Gradimo tako, da zlagamo bale drugo na drugo, kar omogoča zelo enostaven in fleksibilen način gradnje. Poznamo okrogle in kvadraste bale. V pregledani literaturi nisem zasledil, da bi se okrogle bale uporabljale za gradnjo. Kvadraste bale so različnih dimenzij, največkrat pa okvirne dolžine 100 cm, širine 50 cm in višine 40 cm. [8] Material nam dopušča veliko mero kreativnosti, ne zahteva pa absolutne natančnosti. Uporaben je za oblikovanje raznolikih krivin in krožnih oblik ter tudi povsem enostavnih pravokotnih oblik. [6] Preprostost postopka gradnje omogoča, da pri njej lahko sodelujejo ljudje brez posebnega strokovnega znanja, kar zainteresiranim omogoča skupinsko projektno delo, ki se izvaja pod vodstvom izkušenega graditelja. [7]



Slika 1: Polno polje slamnatih bal po baliranju (Vir slike 1: [9])

Nebraska je eksoskeletna gradnja, ki so jo v Nebraski (ZDA) razvili pionirji graditeljstva iz slamnatih bal. Slama funkcionira kot nosilna konstrukcija, ki nosi streho brez dodatnih



podpornih konstrukcij. Bale so zložene skupaj v steno, pritrjene v temeljna tla in med seboj povezane skupaj z leskovimi ali drugimi palicami. Ostrešje je leseno in prav tako pritrjeno v bale s palicami. Okna in vrata so umeščena znotraj lesenih okvirjev, ki jih vstavimo na želeno mesto med samo gradnjo zidov. Graditelji stremijo k tej metodi zaradi enostavnosti gradnje zidov, oblikovanja in minimalnega tesarskega dela. Gradnja po takšni metodi je na območjih s precej spremenljivo obtežbo snega in vetra ter drugih obtežb vprašljiva. [10]

Endoskeltna konstrukcija je običajno izvedena z lesenim okvirjem in balami kot izolacijo (slika 2). Pri tej metodi stalno in spremenljivo obtežbo nosi konstrukcija, ki je lahko lesena, jeklena ali betonska. Slamnate bale so vstavljene med ogrodje oziroma konstrukcijo ter imajo funkcijo toplotne in zvočne izolacije ter polnila. Ker je streha končana pred začetkom gradnje zidov, lahko slamo zaščitimo pred neugodnimi vremenskimi razmerami v času gradnje. Arhitekti se navadno odločajo za takšen sistem gradnje. [7] V Sloveniji je že več stavb zgrajenih na opisan način. [11]



**Slika 2: Neometana hiša, izvedena z endoskeltno konstrukcijo, ki kot polnilo uporablja slamnate bale. (Vir slike 2: [12])**

Obstajajo tudi druge metode, ki pa so večinoma kombinacije dveh zgoraj opisanih metod. Še vedno se pri načinu gradnje stavb iz slamnatih bal veliko eksperimentira in s tem izpopolnjuje metode tudi med samo gradnjo. [7]

Hollis navaja, da je slama zdrava alternativa modernim materialom. Je naravna in neškodljiva. Zanja se velikokrat odločajo ljudje, ki imajo probleme z različnimi alergijami, ki jih lahko povzročajo umetni materiali. Življenje med slamnatimi zidovi nam dviguje kakovost bivanja, saj slama ne oddaja škodljivih snovi, kot so formaldehidi, in drugih snovi. [6] Z uporabo netoksičnih organskih zaključnih plasti, kot je glina z naravnimi barvami, nam KS zagotavlja eno izmed varnejših in udobnejših atmosfer za življenje. Velika prednost je tudi sam ambient, ki se ustvari znotraj bivalnih prostorov ter nam daje občutek toplote, miru in domačnosti (slika 3). To je delno povezano z visokim nivojem zvočne izolacije, kakovostjo zraka in organskim občutkom bivanja v hiši. [7] Slama zagotavlja dobro toplotno izolativnost ob nizki ceni materiala, hkrati pa so zidovi tudi zvočno dobro izolativni. [13] V tujini se slama zaradi svojih akustičnih lastnosti uporablja pri gradnji snemalnih studiev in izdelavi protihrupnih ovir na letališčih in avtocestah. [14] Objekti iz slamnatih bal imajo uporabno dobo tudi po sto in več let. To dosežemo tako, da ne dopustimo, da bi bila relativna vlažnost slame znotraj zidov višja od 20 %, in vlažnost slame v objektu tudi spremljamo. [15] Slama je pretežno celuloza brez hranilnih snovi in je skoraj nerazgradljiva v suhem stanju. Ob stiku z vlago, naj bo to talna voda, dež ali kondenzirana vlaga, pa se v slami v nekaj tednih razvije gnitje, ki povzroči razpadanje celuloze in lahko ogrozi zdravje. Pomembno je, da se izogibamo toplotnim mostovom in strojne inštalacije postavimo tako, da ne povzročajo nastanka kondenzacije. Prav tako je izrednega pomena primerna izvedba hidroizolacije, s katero preprečimo zamakanje. [16] Test gorljivosti zidu iz slamnatih bal so izvedli na Tehniški univerzi na Dunaju in dokazali, da ometana stena iz bal izpolnjuje standard požarne odpornosti F90, kar pomeni, da je stena proti požaru odporna vsaj 90 minut, preden zagori. [5] Neometani zid se lahko hitro vname, a kljub temu se bo ogenj le počasi prebijal v notranjost skozi kompresirano slamo, saj zoglenela zunanja plast onemogoča reden dotok kisika. Največja nevarnost vžiga je med samo gradnjo zaradi nezaščitene zunanje plasti in narave dela na gradbišču. Če se slama vname, se ogenj zaradi velikega dotoka kisika začne zelo hitro širiti po vertikalni površini. [17]



Slika 3: Nanašanje notranjega ilovnatega ometa z golimi rokami. (Vir slike 3: [18])

## 2.2 Earthbag

Konstrukcije iz vreč, napoljenih s peskom, so se začele uporabljati v osemnajstem stoletju za gradnjo zaklonišč, utrdb in poplavnih nasipov. Vreče se zelo lahko transportirajo na želeno mesto in tam napolnijo. So poceni, napolnjene z materialom, naj bo to pesek ali zemlja, pa so neprebojne in zaustavljajo vodo. Sprva so bile v uporabi vreče iz žakljevine, kasneje pa so prišle v uporabo polipropilenske vreče. Metoda gradnje se je uporabljala pri začasnih objektih, kot metoda za gradnjo hiš in trajnih objektov pa je relativno nova. Iranski arhitekt Nader Khalili je populariziral trajnostno gradnjo vreč, polnjenih z zemeljskimi materiali. Njegov prvi koncept je predvideval polnjenje vreč z luninim prahom, predlagal pa ga je leta 1984 na Nasinem simpoziju Kako zgraditi zavetišče na Luni. Khalili je povezal ta način gradnje z načinom gradnje iz Srednjega vzhoda in ugotovil, da lahko vreče zloži v obliko kupole z oboki (slika 4) in tako naredi kakovostno zavetišče. [23]



Slika 4: Hiša, sestavljena iz več bivalnih enot v obliki kupol. (Vir slike 4: [20])

Pri gradnji si prizadevamo pridobiti optimalno zemljino, ki je sestavljena iz približno 30 % gline in 70 % peska. Glina igra vodilno vlogo pri tradicionalni gradnji zidov iz zemljin. [21] Definirana je kot sedimentna kamnina iz drobnozrnatih mineralov, pretežno sestavljena iz hidratiziranih mineralov aluminijevega silikata. Deluje kot lepilo, ki drži skupaj delce peska v homogeni konglomeratni matriki. Pri zidanju deluje kot cement Portland pri betonu. [22] Gre za aktiven in dinamičen material – ko je mokra, je lepljiva in zdrsljiva, ko je posušena, pa razpoka. Pesek in gramoz za razliko od gline ostaneta stabilna, pa naj bosta suha ali mokra. Zanimiva lastnost gline je, da vsebuje magnetni naboj – tako se drugi delci hočejo zlepiti nanjo. Boljše gline za gradnjo zidov imajo običajno relativno stabilen karakter. Minimalno nabreknejo, ko so mokre, in se minimalno skrčijo, ko se posušijo. Takšne gline za gradnjo ekspandirajo približno za polovico suhega volumna. [21] Gline, kot sta bentonit in montmorillonite, lahko nabreknejo od deset- do dvajsetkrat glede na suhi volumen, ko se zmočijo. Gline za gradnjo pridobimo v naravi. [23] Občutek za kakovost gline dobimo enostavno tako, da jo zmočimo in se z njo poigramo v rokah. Pravšnjo gline občutimo kot lepljivo, hoče se prilepiti na našo kožo in se z lahkoto oblikuje v razne oblike brez lomljenja. Pri gradnji z vrečami uporabljamo zemljine s 5–30-odstotno vsebnostjo gline in s preostankom peska oziroma gramoza. Zemljine z večjo vsebnostjo gline od 30 % so manj

stabilne, zato nam samo zemeljski testi lahko povedo, ali so uporabne za zidanje. Pesek in gramoz dasta zidu trdnost in stabilnost. Pesek je lahko pridobljen naravno ali z drobljenjem večjih skal. Poznanih je več kakovosti peska. Za gradnjo zidu je priporočen dobro granuliran pesek (pesek z različnimi velikostmi delcev, vendar istih količin) z ostrimi robovi. Gramoz je narejen iz iste kamnine kot pesek, le da je večji. Vsak delec peska ali gramoza je v matriki prekrit z glino in zlepljen na svoje mesto. Vsebnost vode v mešanici za gradnjo naj bi bila okrog 10–20 % odstotkov. Zemljino stisnemo z rokami tako, da obdrži obliko žogice. Nato jo spustimo z višine ramen, pri trku pa mora ohraniti približno isto obliko in se ne sme raztreščiti. Sestavo zemljine lahko določimo tudi z laičnimi metodami. Primer: vzamemo vzorec zemljine brez organskih primesi. Sod do polovice napolnimo z zemljino, drugo polovico pa napolnimo z vodo. Dobro pomešamo in počakamo, da se zemljina poleže. Težji peski se posedejo na dno, na vrhu pa ostanejo najlažji. Tako lahko dobimo približno razmerje med različnimi plastmi oziroma frakcijami (slika 5). [21]



Slika 5: Sedimentacijski test (Vir slike 5: [24])

Vreče napolnimo, zapremo in jih začnemo polagati vsako na svojo pozicijo. Prvih nekaj vrst do nivoja zemlje napolnimo s peskom ali gruščem, da preprečimo morebitno zadrževanje vode oziroma kapilarni dvig. Prav tako pri začetnih vrstah uporabljamo dvojno vrečo (vrečo v vreči), kar preprečuje možnost poškodb zaradi ostrorobega grušča in obtežbe. Bodečo žico polagamo med sloje vreč tako, da bodeča žica še dodatno stabilizira vreče v matrici. Vreče

teptamo, da dosežejo dovolj veliko kompaktnost ter se poravnajo z višino in linijo zidu. Odprtine za vrata in okna lahko rešimo s konvencionalnimi prekladami ali naredimo oboke iz vreč. Začasno nosilno konstrukcijo izpod loka odstranimo šele, ko je ta končan. Izvedba ometa je pri gradnji iz polipropilenskih vreč obvezna, saj v nasprotnem primeru preperijo zaradi delovanja ultravijolične svetlobe. Pod omet se po potrebi predčasno postavi armirna mrežica, na katero se prime lepljiv omet (slika 6). [25]



Slika 6: Prikaz zidu iz vreč brez in z armirno mrežo, na katero se nanese omet. (Vir slike 6: [26])

Pri gradnji lahko uporabimo lokalne materiale, ki niso posebej dragi. V kombinaciji z uporabo drugih recikliranih materialov je takšna gradnja zelena z minimalno vgrajeno energijo. Konstrukcija je ob pravilni gradnji trajna in odporna proti klimatskim pogojem. [27]

Zid iz zemlje ni dober izolator, bolje pa shranjuje toplotno energijo. Sama masa zemlje nam s svojo visoko toplotno kapacitivnostjo pomaga stabilizirati temperaturo v prostorih objekta. Gre za učinek termalne mase, ki se čez dan ogreje, ponoči pa to toploto oddaja. To deluje optimalno v toplih in suhih podnebjih. Vreče lahko z namenom izvedbe boljše toplotne izolacije napolnimo tudi z drugimi materiali, kot so lahki vulkanski kamen, perlit in žindra, v praksi pa se jih ne uporablja veliko. [28]

### 2.3 Cordwood

Je starinski način gradnje zidu z zlaganjem sušenih olupljenih drv v posteljico iz malte in dodajanjem izolacijskega materiala za doseganje maksimalne izolativnosti. Pri pogledu na

steno so vidni le prečni konci drv. Drva ležijo na dveh posteljicah iz malte, pri čemer je vsaka široka približno 10 cm. Ena posteljica leži na zunanji strani stene, druga pa na notranji. Med posteljici in drva položimo izolacijo, ki je lahko žagovina ali kateri drugi material (slika 7). [29] Debelina zidu je pogojena z dolžino drv, ki jih uporabljamo za gradnjo. Tipična debelina zidu je 20–60 cm, odvisno od želene izolativnosti oziroma energetske učinkovitosti naše stene. [30] Najdeni ostanki takšnega sistema gradnje v Grčiji in Sibiriji dosegajo starost več kot tisoč let. Več sodobnejših različic gradnje lahko najdemo v Evropi, Aziji in obeh Amerikah. Natančen izvor sistema gradnje je tako rekoč neznan. William Tischler iz univerze v Wisconsinu v svoji študiji domneva, da se je sama tehnika, kot jo poznamo danes, razvila v devetnajstem Stoletju, in sicer istočasno v Quebecu, Wisconsinu in na Švedskem. [31] V pregledani literaturi sem zasledil štiri različne tipe sten, ki se razlikujejo glede na konstrukcijske okvirje.



Slika 7: Zid iz drv z vidno notranjo in zunanjo posteljico ter žagovino vmes kot toplotno izolacijo. (Vir slike 7: [32])

Prvi tip stene: stena pri leseni eksoskeletni konstrukciji. Stebre naredimo iz ravnih in kakovostnih hlodov, ki so po dolžini prerežani na dve polovici. Tako se lahko drva lepo poravnajo in naslonijo na ravno stran stebra. Okvir se veže s kovinskimi veznimi ploščicami za les in klini. Ko je okvir postavljen, lahko steno zida tudi en sam zidar, medtem ko bi pri gradnji brunarice iz hlodov potrebovali veliko fizičnih delavcev oziroma težko mehanizacijo. Treba je preveriti vse dimenzije in prave kote, da se bo okvir obnašal kar najoptimalneje. [29]

Drugi tip stene: round. Hiše okrogle oblike so najbolj ekonomične za gradnjo in ogrevanje (slika 8). [33] Pri njih je treba imeti več tesarskega znanja in izkušenj, saj se stene krogelnih oblik zaradi nepravilnih kotov težje zidajo. Predvsem je zahtevna izdelava konstrukcije strehe. Nehvaležno je tudi zidanje v slabših vremenskih pogojih, saj nimamo strehe nad steno, ki jo gradimo. Z izbiro krožne endoskeletne konstrukcije stebrov in vezi lahko postavimo streho pred gradnjo sten. Tako lahko gradimo tudi v primeru slabših vremenskih pogojev. [29]



Slika 8: Družinska hiša okrogle oblike. (Vir slike 8: [34])

Tretji tip stene: metoda zidanih stebrov iz drv – Stackwall. Metodo je razvila Univerza v Manitobi. Stebri se gradijo s križanjem drv pravokotnega prereza, enako, kot bi gradili z opeko. Najprej je treba zgraditi vogalne stebre, šele nato zidamo steno z drvmi, ki se križajo s stebrom in se nanj naslanjajo. Konstrukcija je lahko tudi hibridna, kar pomeni, da ima zidane stebre samo v vogalih, medtem ko je ostali del konstrukcije eksoskeleten iz hlodov. Zidane stebre lahko naredimo poljubno debele in temu prilagodimo tudi debelino stene. Zaradi ravnih vertikalnih linij stebrov je tudi zidanje stene iz drv enostavnejše. [29]

Četrty tip stene: dvojna stena. V uporabo je prišla šele konec sedemdesetih let prejšnjega stoletja. Stena je sestavljena iz vrste drv na zunanji strani, ki ji sledita izolacija in vrsta drv na notranji strani. Med izolacijo in notranjo steno imamo vgrajeno parno oviro. Stena je energetsko učinkovita, a večje debeline (slika 9). [35]





Slika 9: Prikaz gradnje z dvojno steno. (Vir slike 9: [36])

Les je naraven kompozitni material, sestavljen iz olesenih vzdolžnih vlaken, por in vode. Celuloza tvori okvirno polovico vse suhe snovi lesa. Les je nehomogen in izrazito anizotropen material. Največjo nosilnost ima v smeri vlaken, manjšo pa v radialni in tangencialni smeri. Razlika vlažnosti lesa v času gradnje in uporabe naj ne bo večja od 6 %, po možnosti pa ne več kot 3 %. Delovanje lesa je neugodna lastnost, ki je posledica izmenjave vode med lesom in okolico. Zaradi značilne zgradbe les v različnih smereh različno deluje. Pravokotno na vlakna je delovanje lesa bistveno večje kot paralelno. Krčenje v smeri vlaken je minimalno, v radialni smeri do 8 %, v tangencialni smeri pa do 14 %. [37] Za steno iz drv je boljše izbrati les iglavcev. Ta je manj gost in hkrati lažji ter ima boljše izolacijske lastnosti kot les listavcev. Listavci imajo gostejšo sestavo, so težji in se bolj krčijo. Za ta način gradnje je najboljša izbira lesa cedre. Ta je naravno odporen proti gnitju, je lahek, enostavno ga je lupiti in ima prijeten vonj. Pri vsakem lesu je pomembno, da odstranimo lubje in ga posušimo tako, da vsebuje kar se da nizko vlažnost. [38] Z naravnim sušenjem dosegamo vlažnost tja do 12 %. Steno se lahko dodatno premaže z raznimi premazi in barvami, ki les dodatno obvarujejo pred raznimi škodljivci in zunanjimi vplivi.

V času rasti les vsebuje 40–60 % vlage. Najbolje ga je posušiti na minimalno vlažnost, ki jo okolje še dopušča. Naravno se les najhitreje posuši na soncu. Les zrežemo na zeleno dolžino, zložimo na kup in pokrijemo. Kup mora biti na zračnem mestu, dvignjen od tal, zložen pa tako, da zrak lahko kroži. Les se med sušenjem krči in zvija, zato mora biti pravilno zložen.

Ko udarimo z dvema drvema skupaj in je les suh, se sliši votlast zvok. Bolje je seveda vlago v lesu izmeriti z merilnikom za vlago, ki je prirejen za les. Po dolžini se les krči minimalno, se pa zato toliko bolj po širini. Les se naravno suši približno 1 cm na leto v globino, zato se brunarice z leti znižajo za 2–3 % svoje višine. To moramo upoštevati pri vgradnji oken in vrat, tako da okoli njih pustimo dovolj velike dilatacije. [38]

Poznamo več vrst malt za zidanje. Osredotočil se bom na dve: tradicionalna malta za zidanje z drvmi in malta z dodatkom papirja. Delikatna faza gradnje je izbira mešanice malte, ki mora biti sprejemljiva, se sušiti počasi in je enostavna za oblikovanje. Sestava malte je odvisna od načina gradnje. Če je stena nosilna, mora biti malta močnejša. Ko imamo endoskeltno konstrukcijo, ni takšne potrebe po kakovosti. [39]

Uporaba žagovine v osnovni mešanici malte je inovacija, ki upočasni sušenje, preprečuje pikanje, ustvari naravnejši videz in izboljša plastičnost. [29] Mešanica za endoskeltni primer gradnje je sestavljena iz devetih enot peska, treh enot čez noč namočene žagovine, dveh enot cementa Portland in treh enot hidratiziranega apna. Za samonosilno konstrukcijo iz drv mešanici odvezamemo eno enoto žagovine. [40]

Malta z dodatkom papirja (paper enhanced mortar – PEM): to je alternativna mešanica malte z dodanim papirjem. Mešanica manj razpoka kot zgoraj omenjena mešanica z žagovino. Zaradi vsebnosti papirja je plastična in bolj izolativna. Enostavneje je, če papir za mešanico pridobimo že v zmleti obliki kot odpadni material in si tako prihranimo čas zamudnega rezanja. Malta ostaja več časa voljna za delo, vlakna papirja se bolje oprimejo drv za zidanje in tako tvorijo močnejšo strukturo. Mešanica je sestavljena iz šestih enot zmlatega papirja, šestih enot finega peska in treh enot cementa. [29]

## 2.4 Konoplja

Rastlina konoplja spada v družino konopljevki in nosi botanično ime »*Cannabis Sativa*«. [41] Proti koncu dvajsetega stoletja v svetu zopet postane gospodarsko privlačna poljščina. Izhaja iz območja severozahodnega dela Himalaje pa vse do Aralskega jezera in Kaspijskega morja. V četrtem tisočletju pred našim štetjem so Kitajci iz stebel izdelovali papir, potem ko so že nekaj tisočletij prej znali iz stebelnih vlaken sprejeti niti in stkati blago za oblačila. [42] Danes

rastlino, njene dele ali sestavine uporabljamo za izdelavo več kot 50.000 različnih izdelkov, kot so gradben material, zdravila, hrana, tekstil, notranja oprema, papir itd. Gre za najbolj vsestransko uporabno rastlino, saj jo lahko zasledimo na skoraj vseh industrijskih področjih, trend uporabe pa v zadnjem času narašča. [43] Na področju Slovenije so v preteklih stoletjih kmetje pridobivali konopljina vlakna za izdelavo vrvi in domače tkanje. Gojili so jo zlasti na Gorenjskem, Štajerskem, Dolenjskem in v Prekmurju. [42] Danes lahko po navedbah »Pravilnika o pogojih za pridobitev dovoljenja za gojenje konoplje in maka (Ur. l. RS, št. 40/2011, z dne 27. 5. 2011) »pridelujemo le sorte, ki imajo premajhno vsebnost učinkovine tetrahidrokanabinola (THC), da bi bila uporabna kot prepovedana droga«. [44]



**Slika 10: Polje, posejano z industrijsko konopljo. (Vir slike 10: [45])**

Rastlina konoplja uspeva v podobnih rastiščnih razmerah kot krompir. Za rast in razvoj potrebuje globoka, zračna, srednje težka tla. Slabo uspeva v težkih, hladnih, glinastih tleh. Rastna doba je 90–150 dni. Zgodnja setev na začetku aprila omogoči žetev pred jesenjo in poceni sušenje stebel. Glede oskrbe je konoplja nezahtevna, zlasti če mladih rastlin ne ogrožajo pleveli ali se razširijo okužbe in škodljivci. [42]

Konopljina vlakna so uporabljena v široki paleti konstrukcijskih materialov kot izolacijska polnila in zidaki. Vlakna so pretežno sestavljena iz celuloze in manjšega deleža lignina. Uporaba vlaken konoplje za gradnjo je relativno nova inovacija graditeljev, ki so z eksperimentiranjem raziskovali delovanje materiala in načina gradnje. Za uporabo je treba vlakna med seboj ločiti tako, da se pri tem ne poškodujejo, kar lahko dosežemo z različnimi tehnološkimi postopki. Stebla posušene rastline vstavimo v stroj, ki steblo olupli in naravna

vlakna loči tako, da so primerna za uporabo. Mešanico konopljinih vlaken, apna in zemljine imenujemo »hempcrete« oziroma konopljin beton. Običajno se ta uporablja kot polnilo v endoskeletni konstrukciji, za izdelavo zidakov in izolacijskega ometa. [46] Zaradi manjše nosilne trdnosti materiala ta sam po sebi ne zmore opravljati nosilne, ampak le toplotno izolacijsko funkcijo. S fizičnim zbijanjem mešanice v postopku izdelave lahko znatno povečamo konstrukcijske lastnosti in tako dosežemo uporabo materiala za primarno nosilno funkcijo. [47] Mešanica je lahko obdelana tudi s kremenico in železovim oksidom po posebnem patentiranem postopku. Tako obdelana konoplja ima zaščiteno ime »Isochanvre«. Iz nje se izdeluje malta z apnom in cementom, ki že v šestintridesetih urah dosega trdnosti, ki so primerljive s trdnostjo običajnega betona. Med strjevanjem se ogljik iz konoplje veže s kalcijem iz apna in s tem ustvari trdno strukturo. [48] Stena zahteva še zaščito pred zunanjimi vremenskimi vplivi, kar dosežemo z ometom. Pokrita mora biti z vsaj 5 cm ometa na zunanji strani, medtem ko na notranji strani ni potrebe po zaščiti. [46]



Slika 11: Prvi objekt v Sloveniji, grajen z uporabo konopljineta betona. (Vir slike 11: [49])

Hempcrete izdelamo z mešanjem narezanih vlaken konoplje, zmešanih z apnom ali zemljo. Mešanje je zaradi samih vlaken zahtevnejše kot pri klasičnem betonu in malti, lahko pa poteka ročno ali v običajnem mešalniku. [47] Vodo dodamo suhi mešanici, vendar se moramo zavedati, da je bo velik del absorbirala konoplja, kar bo podaljšalo čas sušenja. Konstrukcijo opazimo in začnemo z vgrajevanjem materiala (slika 11). [41] Notranji del opaža je lahko

izvedljiv tudi tako, da tam ostane tudi kot zaključni sloj – tako imenovan izgubljen opaž. Pri razopaževanju moramo biti previdni, saj se opaž lahko sprime s steno in lahko pri njegovem odstranjevanju steno poškodujemo. [46]

Apno zagotavlja tudi zaščito pred gnitjem in napadom insektov, saj je visoko alkalno in hkrati naravni biocid. Konoplja vlago veže in s tem pomaga uravnovešati vlago v zgradbi, vendar mora stena paro prepuščati, da se ta lahko zopet posuši. Razmerje mešanice ni natančno določeno tudi zaradi drugih dodanih materialov, kot je pesek. Graditelji v večini primerov uporabljajo eno enoto apna na tri do štiri enote konoplje. Manj konoplje kot dodamo, močnejša in težja bo naša mešanica, vendar bo imela slabše izolativne lastnosti. Če konopljo mešamo s cementom, dobimo težak kompozit z majhno izolativnostjo, a večjo nosilnostjo. Lahko jo mešamo tudi z zemljino in tako dobimo nekakšno alternativo butani zemlji. Metoda je že preizkušena, in sicer z zemljino, ki ima veliko vsebnost gline. Proces mešanja je enak kot pri mešanju z apnom, a potrebne je manj vode. Mešanica potrebuje veliko časa, da se posuši, njene končne lastnosti pa skoraj dosegajo lastnosti kamna. Opisana mešanica z zemljino je zanimiva predvsem zato, ker so uporabljeni materiali dosegljivi v naravi brez nadaljnje predelave in tako njihova uporaba ne povzroča emisij in ogljičnega odtisa. [46]

Iz mešanice vlaken konoplje, apna in peska se izdelujejo tudi prefabricirani zidaki. Te se lahko uporablja pri eksoskeletni gradnji, kjer lahko zidaki hkrati opravljajo nosilno in toplotnoizolacijsko funkcijo (slika 12). Uporabljajo se tudi pri energetski prenovi starejših stavb kot dodatna toplotna izolacija. Zidake zlagamo ob že obstoječo steno ali vstavljamo v endoskeletno konstrukcijo in jih lepimo z apneno malto. Z večjim povpraševanjem in uporabo postaja tudi cena zidakov konkurenčnejša.



Slika 12: Zidovi hiše, grajeni iz konopljinega zidaka, ki imajo nosilno in izolacijsko funkcijo. (Vir slike 12: [50])

Stena iz konoplje je običajno zaključena z apnenim ometom, v katerega lahko prav tako dodamo delež konoplje. Takšen omet se lahko uporablja tudi pri konvencionalni gradnji iz opeke in betona.

Gradnja in oblikovanje objekta iz hempcreta ne bi smelo predstavljati večjih težav, saj gre za podoben način kot pri konvencionalni gradnji z betonom in opeko. Pomembni so solidno izdelani detajli pri oknih in odprtinah, vendar ni potrebe po dolgih strešnih nišah zaradi dobre odpornosti ometa proti zunanjim vplivom. Empirični poskusi dokazujejo, da visoka kapilarnost in dobra paroprepustnost preprečita probleme z vlago v steni. Testiranja Francoskega centra za znanost in tehniko stavb (CSTB) so pokazala, da je hempcrete po štirih urah na 1800 °C negorljiv. [46]

»Konoplja sama po sebi ne privlači miši in podgan, saj nima hranilnih vrednosti, z dodanim apnom pa postane neužitna. Apno se skozi zgodovino uporablja za vzdrževanje higiene, saj

ima visoko PH-vrednost in antiseptične lastnosti. Empirična dognanja iz opazovanja starejših zgradb nam kažejo, da apno ohranja konopljin vlakna in jih ščiti pred nadlogami.«

Hempcrete je enostaven in vzdržljiv način gradnje. Ponuja nam rešitev za energetsko učinkovitejše stavbe in stavbe iz obnovljivih materialov. Tako grajene stavbe niso toksične in dvigujejo kakovost bivanja. Kilogram suhe konoplje med samo rastjo absorbira 1,7 kg ogljikovega dioksida. Vgradnja konoplje v stavbe pomaga pri zmanjšanju emisij atmosferskega ogljikovega dioksida. [46]

### 3 PODROČNA ZAKONODAJA

#### 3.1 Uredba (EU) št. 305/2011 Evropskega parlamenta in Sveta

To je uredba Evropskega parlamenta in Sveta o določitvi usklajenih pogojev za trženje gradbenih proizvodov. Osnovni namen Uredbe o gradbenih proizvodih (CPR) je odprava tehničnih ovir pri trgovanju z gradbenimi proizvodi znotraj Evropskega gospodarskega prostora. CPR omogoča enoten sistem (metode) ocenjevanja in deklariranja lastnosti (z izjavo o lastnostih), ne posega pa v sistem gradbenih predpisov držav članic. Zahtevane lastnosti gradbenega proizvoda določijo zakonodajalci v državah članicah, pri tem pa se morajo držati enotnega tehničnega jezika, izraženega v harmoniziranih tehničnih specifikacijah. [51]

#### 3.2 Prenovljena direktiva o energetske učinkovitosti stavb (Energy Performance of Buildings Directive – EPBD-r)

Direktiva z dne 19. maja 2010 opredeljuje pomembne člene glede energetskega certificiranja stavb in povečevanja energetske učinkovitosti v stavbah. Z direktivo je bila sprejeta metodologija za izračunavanje energetske učinkovitosti stavb, določitev minimalnih zahtev glede energetske učinkovitosti stavb, stavbnih delov ali elementov stavb. Direktiva predvideva povečanje števila skoraj ničenergijskih stavb. Uvaja energetske certificiranje stavb ali stavbnih enot, pregledovanje ogrevalnih in klimatskih sistemov. [52]

#### 3.3 Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES 2010)

PURES 2010 je pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah. Gre za gradbeni predpis, ki za stavbe podrobneje opredeljuje bistveno zahtevo varčevanja z energijo in ohranjanja toplote. V tem pravilniku so določene zahteve za učinkovito rabo energije v stavbah na področju toplotne zaščite, ogrevanja, hlajenja, prezračevanja, klimatizacije, priprave tople pitne vode in razsvetljave v stavbah, zagotavljanja deleža obnovljivih virov energije stavbe, pa tudi način izračuna energijskih lastnosti stavbe. [53]



### 3.4 Tehnična smernica TSG-1-004:2010

Ta tehnična smernica (kasneje TSG4) vsebuje tehnične rešitve za doseganje zahtev, določenih v pravilniku PURES 2010. Podaja metodologijo izračunov, uporaba smernice pa je obvezna. V diplomski nalogi sem se osredotočil na poglavje o toplotni zaščiti, kjer se podrobneje ukvarjam s toplotno prehodnostjo, zmanjševanjem pregrevanja, prehodom vodne pare in zrakotesnosti. [54]

V diplomski nalogi se bom skliceval na vrednosti za toplotno prehodnost elementov zunanje površine stavbe in ločilnih elementov delov stavbe z različnimi režimi notranjega toplotnega ugodja za zunanje stene in stene proti neogrevanim prostorom:  $U_{\max} < 0,28 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  (tabela 1 v TSG4). Prav tako se bom skliceval na predpis o računski relativni vlažnosti v prostoru, ki je enaka 65 %. [54]

## 4 ZASNOVA ANALIZIRANIH KONSTRUKCIJSKIH SKLOPOV NARAVNE GRADNJE

### 4.1 Opis uporabljene programske opreme

TEDI je računalniški program, izdelan v okolju Excel, namenjen računu toplotne prehodnosti, analizi toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS-je. Program računa po pravilniku »PURES 2010« in standardih »SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 1025:2002.« [55] Gre za račun po enodimenzionalni metodi, ki zajame samo izračun glede na eno os kartezijskega koordinatnega sistema KS-ja. To pomeni, da na primer pri izračunu prehoda toplote ne moremo ustrezno upoštevati nehomogenosti sklopa. [56] Vgrajeno ima knjižnico gradbenih materialov in KS-je, ki jih lahko tudi sami dopolnujemo. KS-je sestavimo po slojih, program pa nas sproti obvešča, če izračun toplotne prehodnosti in difuzije vodne pare odgovarja ali ne. Rezultati so prikazani tako v numerični kot tudi v grafični obliki kot temperature na stikih plasti (diagram td), temperature pripadajočih tlakov nasičenja vodne pare in relativni tlaki pare v zraku (diagram p-r).[55]

### 4.2 Računski model

Klimatske podatke za izračun v programu TEDI sem definiral za naključno lokacijo v katastrski občini Nova Gorica, ki sicer ni reprezentativna klima za Slovenijo. Reprezentativna klima je v centralni Sloveniji (na primer Ljubljana), saj ima več kot 50 % podobne klimatske lastnosti, vsaj kar zadeva temperature, kot je razvidno iz karte povprečnih letnih temperatur [57] ali karte slovenskih klimatskih lastnosti. [58]

Lokacijo na Severnem Primorskem sem izbral, ker bi rad po zaključenem študiju tam deloval kot gradbeni inženir in je to moje lokalno okolje. Projektna temperatura za to območje je za zimsko obdobje na zunanji strani KS-ja  $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , na notranji pa  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Za izračun sem obravnaval KS kot zunanjo steno in steno naproti neogrevanim prostorom in ob tem predpostavljaj, da gre za stanovanjsko stavbo s temperaturo notranjega zraka pozimi nad  $19\text{ }^{\circ}\text{C}$  in/ali poleti hlajeno pod  $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Stavba je neklimatizirana in brez procesov z večjim

nastajanjem vodne pare. Relativno vlažnost zraka v notranjosti stavbe sem privzel kot 65 % ob upoštevanju TSG4.

Zaradi boljše primerjave sem na zunanji strani vseh naravnih KS-jev (z izjemo cordwooda) za zaščito pred zunanjimi vplivi izbral apneni omet. Na notranjo stran zidu sem tega prekril z ilovnatim ometom enake debeline.

Debelino materialov, ki imajo funkcijo toplotne izolacije, sem prilagodil tako, da je KS dosegal največjo dovoljeno toplotno prehodnost  $U_{\max} < 0,28 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ , ki velja za zunanje stene in stene naproti neogrevanim prostorom, kot veleva PURES 2010 in je tudi razvidno iz poglavja o področni zakonodaji.

Ker računalniški program TEDI računa po enodimenzionalni metodi, bom nehomogene KS-je simuliral, kot da so homogeni. S tem namenom sem gradbenofizikalne parametre materialov  $\lambda$ ,  $\rho$  in  $c$  utežil oziroma smiselno prilagodil. Tako sem delno upošteval nehomogenost na nivoju lastnosti materialov. Faktorja difuzijskega upora vodne pare ni mogoče utežiti, zato sem v primeru uteževanja obravnavanih materialov izbral večjega. Tako sem dobil nov utežen material novih parametrov, s katerim sem lahko nadaljeval izračun. Za vse obravnavane materiale naravne gradnje sem pridobil gradbenofizikalne parametre iz priročnika TEDI ter objavljenih in pregledanih študij.

### **4.3 Analizirani konstrukcijski sklopi**

Na osnovi pregledane literature sem sestavil osem variant KS-jev zunanjih sten izbranih naravnih metod gradnje. Za primerjavo in referenco sem izvedel tudi varianto konvencionalnega KS-ja. Za KS-je metod naravne gradnje sem skiciral tlorise prereza, ki so predstavljeni kot slike 1–8. Poleg sestave sklopov so navedeni tudi gradbenofizikalni parametri uporabljenih materialov, ki so potrebni za nadaljnji izračun v preglednicah 1–9.

Obravnaval sem naslednje sklope:

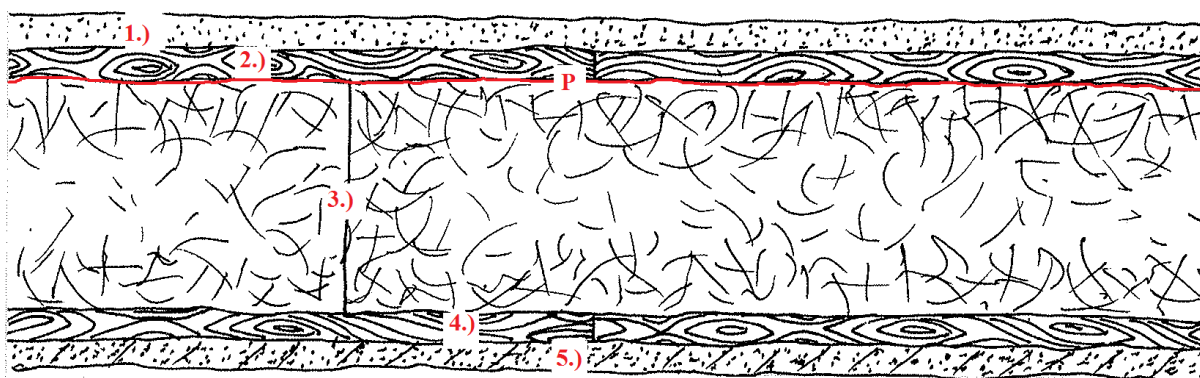
- Varianta 1: slamogradnja
- Varianta 2: slamogradnja
- Varianta 3: earthbag
- Varianta 4: earthbag
- Varianta 5: cordwood
- Varianta 6: cordwood
- Varianta 7: hempcrete
- Varianta 8: hempcrete
- Varianta 9: konvencionalni sklop

#### 4.3.1 Slamogradnja

V preglednici 1 in 2 so predstavljene gradbenofizikalne lastnosti in sestava KS-ja zunanje stene za slamogradnjo. Ker se je skozi testiranja ugotovilo, da imajo ležeče in pokončno orientirane bale slame različno specifično toplotno prevodnost, sem izvedel obe varianti KS-ja z omenjenima orientacijama. Varianta 1 predstavlja ležeče, varianta 2 pa pokončno orientirane bale slame.

Preglednica 1: Gradbenofizikalne lastnosti in sestava KS-ja – varianta 1 po slojih: slamogradnja (pokončno)

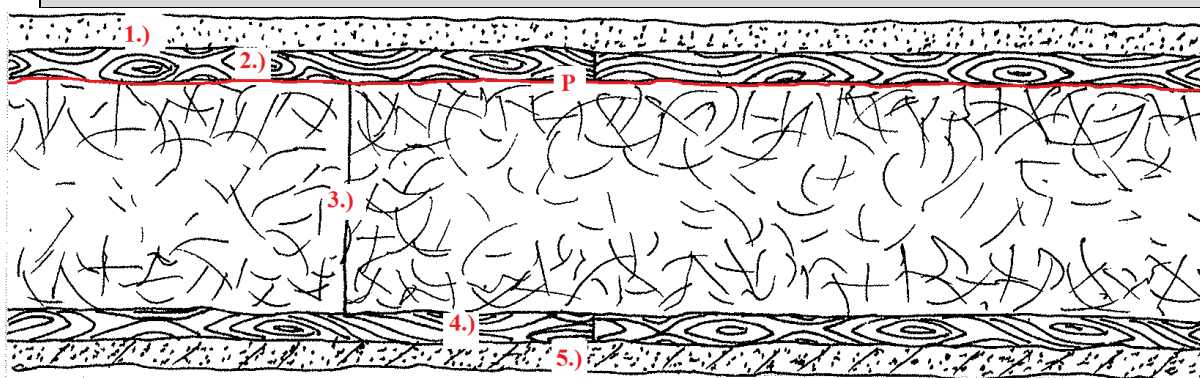
ZUNAJ						
<i>MATERIAL</i>	<b>d</b> [m]	$\lambda$ [ $\frac{W}{(m K)}$ ]	$\rho$ [ $\frac{kg}{m^3}$ ]	<b>c</b> [ $\frac{kJ}{(kgK)}$ ]	$\mu$ [-]	<b>VIR</b>
1) Apneni omet	0,025	0,73	1660	0,970	15	[59]
2) Lesene letve	0,025	0,140	500	2,090	70	[55]
3) Slamnate bale (pokončno)	0,17	0,056	90	2	1	[60],[61]
4) Lesene letve	0,025	0,140	500	2,090	70	[55]
5) Ilovnati omet	0,025	0,95	2000	1	10,5	[62]
<b>SKUPAJ</b>	0,27					
NOTRI						



Slika 13: Sestava KS-ja po slojih – varianta 1: slamogradnja (oznaka P predstavlja parno oviro).

Preglednica 2: Gradbenofizikalne lastnosti in sestava KS-ja – varianta 2 po slojih: slamogradnja (ležeče)

ZUNAJ						
<i>MATERIAL</i>	<i>d</i> [m]	$\lambda$ [ $\frac{W}{m K}$ ]	$\rho$ [ $\frac{kg}{m^3}$ ]	<i>c</i> [ $\frac{kJ}{kgK}$ ]	$\mu$ [-]	<b>VIR</b>
1) Apneni omet	0,025	0,73	1660	0,97	15	[59]
2) Lesene letve	0,025	0,140	500	2,09	70	[55]
3) Slamnate bale (ležeče)	0,182	0,060	90	2,00	1,4	[60],[61]
4) Lesene letve	0,025	0,140	500	2,09	70	[55]
5) Ilovnati omet	0,025	0,95	2000	1,00	10,5	[62]
<b>SKUPAJ</b>	0,282					
NOTRI						



Slika 14: Sestava KS-ja po slojih – varianta 2: slamogradnja (oznaka P predstavlja parno oviro).

Pri balah, ki so v steni orientirane pokončno, se privzame, da so stebila slame pravokotno na steno in toplotni tok. Leže orientirane bale pa imajo stebila usmerjena vzporedno s steno in toplotnim tokom ter višjo specifično prevodnost, kar je razvidno tudi iz preglednic 1 in 2. [61] Ker faktorjev o difuzijski upornosti vodni pari ni v raziskavi vira [61], sem jih prevzel po raziskavi vira [60], ki je obsegala bale nekoliko manjše prostorninske gostote, vendar sem zaradi manjše razlike vrednosti razliko zanemarlil.

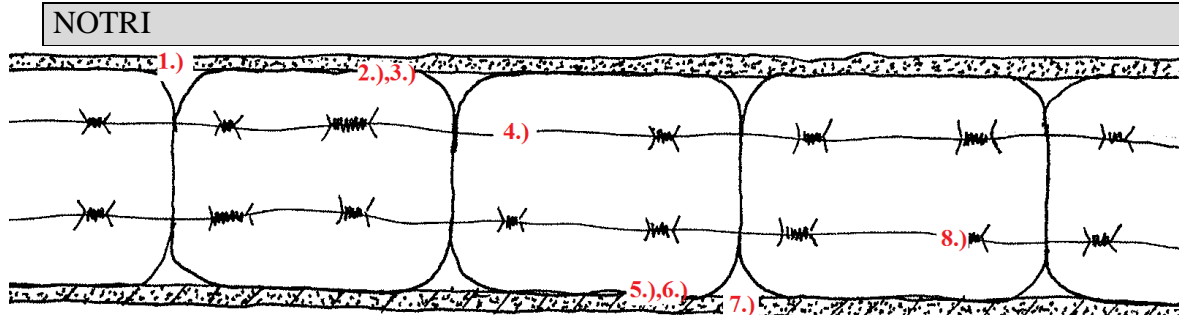
### 4.3.2 Earthbag

Preglednici 3 in 4 predstavljata KS-je metode earthbag, kjer so vreče napolnjene z ilovico ali perlitom. Metoda z uporabo ilovice se lahko izvede v endoskeletni ali pa eksoskeletni konstrukciji. KS po varianti 4, prikazani v preglednici 4, kjer so vreče napolnjene s perlitom, se lahko izvede le endoskeletno. Kot je v pregledu literature omenjeno, ta način gradnje ni pogosta gradbena praksa, saj je še v fazi preizkušanja in testov.

Preglednica 3: Gradbenofizikalne lastnosti in sestava KS-ja po slojih – varianta 3: earthbag

ZUNAJ						
MATERIAL	d [m]	$\lambda$ [ $\frac{W}{m K}$ ]	$\rho$ [ $\frac{kg}{m^3}$ ]	c [ $\frac{kJ}{kgK}$ ]	$\mu$ [-]	VIR
1) Apneni omet	0,025	0,73	1660	0,970	15	[59]
2) Pocinkana kovinska mreža						
3) PVC	0,002	0,230	1400	0,960	10000	[55]
4) Masivna ilovica	0,40	0,90	2000	1	10,5	[62]
5) PVC	0,002	0,230	1400	0,960	10000	[55]
6) Pocinkana kovinska mreža						
7) Ilovnati omet	0,025	0,95	2000	1	10,5	[62]
SKUPAJ	0,454					

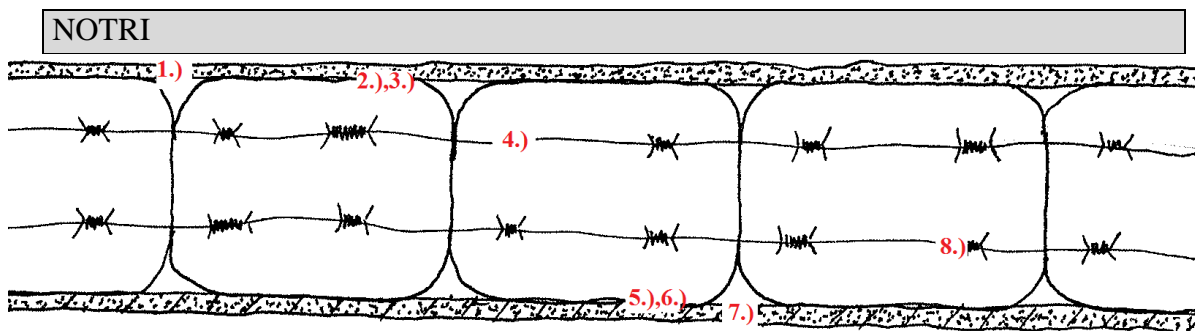
  

NOTRI	
	

Slika 15: Sestava KS-ja po slojih – varianta 3: earthbag.

Preglednica 4: Gradbenofizikalne lastnosti in sestava KS-ja po slojih – varianta 4: earthbag

ZUNAJ						
<i>MATERIAL</i>	<i>d</i> [m]	$\lambda$ [ $\frac{W}{m K}$ ]	$\rho$ [ $\frac{kg}{m^3}$ ]	<i>c</i> [ $\frac{kJ}{kgK}$ ]	$\mu$ [-]	<b>VIR</b>
1) Apneni omet	0,025	0,73	1660	0,970	15	[59]
2) Pocinkana kovinska mreža						
3) PVC	0,002	0,230	1400	0,960	10000	[55]
4) Perlit	0,17	0,050	100	0,840	1,3	[55]
5) PVC-vreča	0,002	0,230	1400	0,960	10000	[55]
6) Pocinkana kovinska mreža						
7) IlovnatI omet	0,025	0,95	2000	1	10,5	[62]
<b>SKUPAJ</b>	0,224					



Slika 16: Sestava KS-ja po slojih – varianta 4: earthbag.

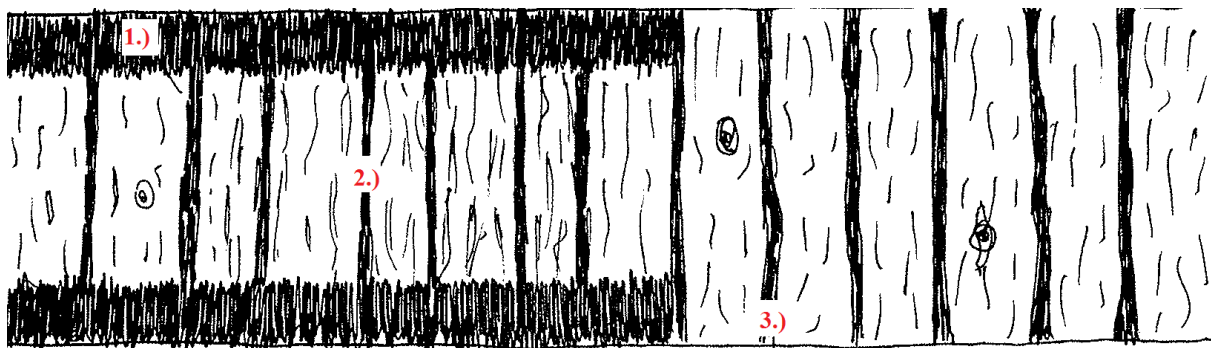
Ilovica oziroma zemlja ima dobro sposobnost akumulacije toplote, toplotna prevodnost pa je relativno visoka, medtem ko ima perlit zelo majhno toplotno prevodnost. PVC-vrečo, napolnjeno z materialom, v KS-ju obravnavam kot dvojno PVC-plast na zunanjih straneh polnilnega materiala. V realnosti pa obstajajo fuge in luknjice, ki jih prebode bodeča žica, ki niso difuzijsko zaprte. Tako lahko sklepamo, da je konstrukcija bolj parno odprta kot bodo pokazali izračuni. Debelina zidu je odvisna tudi od dimenzij PVC-vreč, ki jih dobimo na trgu.

### 4.3.3 Cordwood

Preglednici 5 in 6 predstavljata KS-ja zunanjega zidu, zgrajenega po metodi cordwood. Po principu variante 4 lahko gradimo eksoskeletno ali endoskeletno, medtem ko varianto 5 lahko izvajamo samo endoskeletno.

Preglednica 5: Gradbenofizikalne lastnosti in sestava KS-ja po slojih – varianta 5: cordwood

ZUNAJ						
MATERIAL	d [m]	$\lambda$ [ $\frac{W}{mK}$ ]	$\rho$ [ $\frac{kg}{m^3}$ ]	c [ $\frac{kJ}{kgK}$ ]	$\mu$ [-]	VIR
1) Les cedra–malta žagovino z	0,10	0,437	869	1,838	70	[55]
2) Les cedra–žagovina	0,37	0,125	425	2,090	70	[55]
3) Les cedra–malta žagovino z	0,10	0,437	869	1,838	70	[55]
SKUPAJ	0,57					
NOTRI						



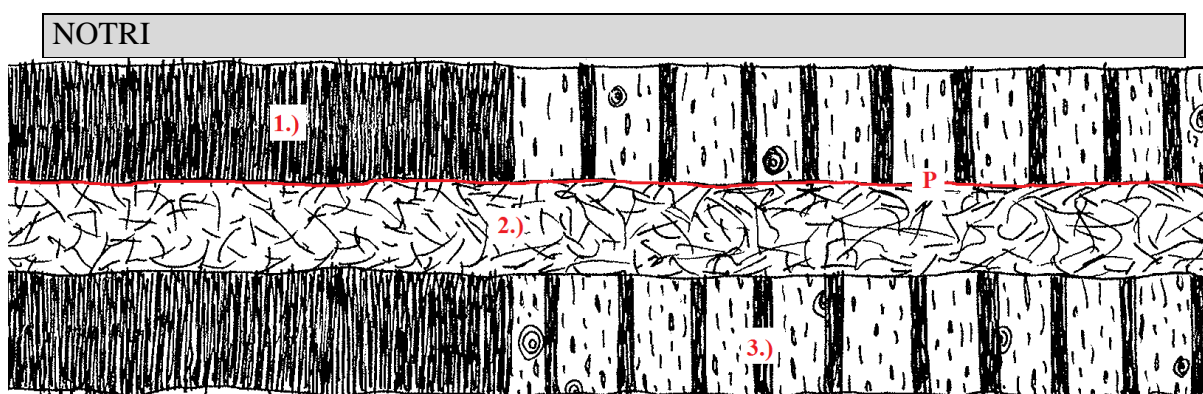
Slika 17: Sestava KS-jev po slojih – varianta 5: cordwood.

Na sliki 5 je v prerezu sloj 1) že prekrit z malto, medtem ko je sloj z označbo 3) še brez nanosa malte.



Preglednica 6: Gradbenofizikalne lastnosti in sestava KS-ja po slojih – varianta 6: cordwood

ZUNAJ						
MATERIAL	d [m]	$\lambda$ [ $\frac{W}{m K}$ ]	$\rho$ [ $\frac{kg}{m^3}$ ]	c [ $\frac{kJ}{kgK}$ ]	$\mu$ [-]	VIR
1) Les cedra–malta z žagovino	0,20	0,437	869	1,838	70	[55]
2) Slamnate bale	0,14	0,056	90	2	1	[60], [61]
3) Les cedra–malta z žagovino	0,20	0,437	869	1,838	70	[55]
SKUPAJ	0,54					



Slika 18: Sestava KS-ja po slojih – varianta 6: cordwood (oznaka P predstavlja parno oviro).

Na sliki 6 je v prerezu sloj 1) že prekrit z malto, medtem ko je sloj z označbo 3) še brez nanosa malte.

KS-ji, izvedeni po metodi cordwood, praviloma ne vsebuje zunanjšega in notranjšega ometa. V tem primeru je treba ohraniti daljše strešne napušče in zagotoviti zaščito zidu pred zunanjimi vremenskimi vplivi. Ker cedrovega lesa ni v bazi podatkov programa TEDI, sem izbral les s primerljivimi snovnimi podatki, in sicer les smreke. Konstrukcijske lastnosti lesa smreke so za izvedbo KS-jev sicer slabše, saj je treba pri metodi cordwood in izbiri lesa stremeti k čim manjšemu krčenju in raztezanju materiala. Na podlagi slike 19 sem naredil oceno površine malte z žagovino in lesa cedre. Tako sem pridobil uteži, na podlagi katerih sem določil ekvivalentne utežene gradbenofizikalne lastnosti.



Slika 19: Primer cordwood stene (Vir slike 19: [63])

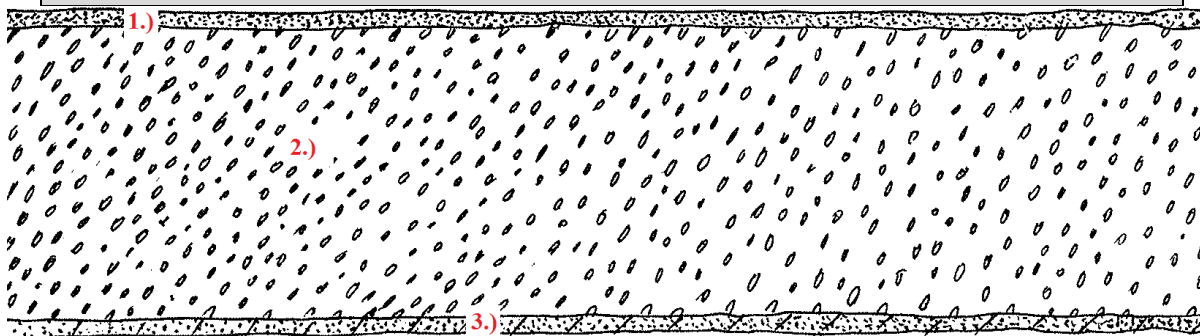
#### 4.3.4 Hempcrete

Preglednici 7 in 8 predstavljata sestavo in gradbenofizikalne parametre KS-jev z uporabo konopljinih vlaken.

Preglednica 7: Gradbenofizikalne lastnosti in sestava KS-ja po slojih – varianta 7: hempcrete

ZUNAJ						
MATERIAL	d [m]	$\lambda$ [ $\frac{W}{m K}$ ]	$\rho$ [ $\frac{kg}{m^3}$ ]	c [ $\frac{kJ}{kgK}$ ]	$\mu$ [-]	VIR
1) Apneni omet	0,025	0,73	1660	0,970	15	[59]
2) Hempcrete	0,47	0,06	275	1,500	4,84	[64]
3) Ilovnati omet	0,025	0,95	2000	2000	10,5	[62]
SKUPAJ	0,52					

NOTRI						
-------	--	--	--	--	--	--

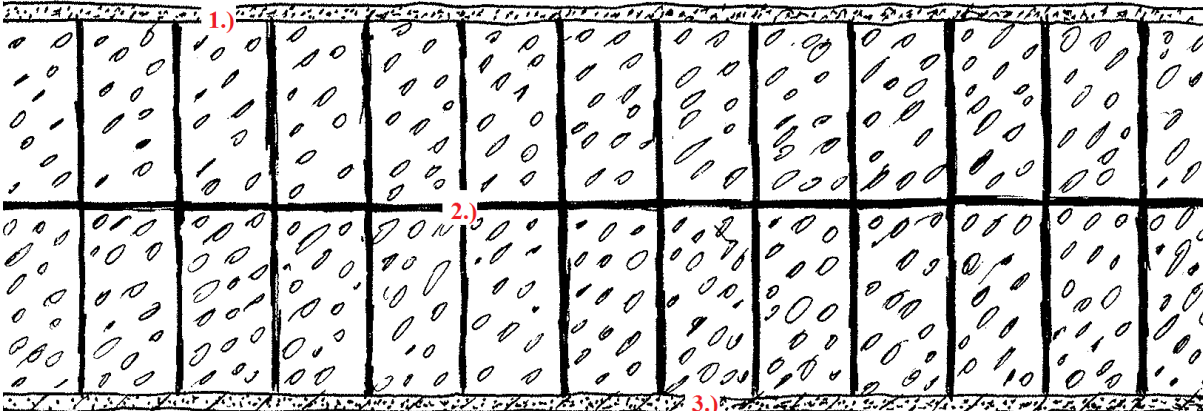


Slika 20: Sestava KS-ja po slojih – varianta 7: hempcrete.

Preglednica 8: Gradbenofizikalne lastnosti in sestava KS-ja po slojih – varianta 8: hempcrete

ZUNAJ						
MATERIAL	d [m]	$\lambda$ [ $\frac{W}{mK}$ ]	$\rho$ [ $\frac{kg}{m^3}$ ]	c [ $\frac{kJ}{kgK}$ ]	$\mu$ [-]	VIR
1) Apneni omet	0,025	0,73	1660	0,970	15	[59]
2) Konopljin zidak	0,64	0,19	1171	1,113	11	[65]
3) Ilovnati omet	0,025	0,95	2000	1	10,5	[62]
SKUPAJ	0,69					

NOTRI						
						

Slika 21: Sestava KS-ja po slojih – varianta 8: konopljin zidak

Hempcrete pri varianti 7 omogoča uporabo samo v endoskeltni konstrukciji. Hempcrete se vbrizga na zeleno mesto v konstrukciji in ima funkcijo toplotne izolacije. Gre za beton z manjšo gostoto, ki dosega manjšo prostorninsko težo in toplotno prevodnost. To je izolacijski material, ki zaradi slabših konstrukcijskih sposobnosti ne more biti uporabljen pri eksoskeltni gradnji.

KS po varianti 8 vsebuje prefabriciran zidak v eksoskeltni konstrukciji. Zidak je v postopku izdelave vibriran in stisnjen – tako ga odlikujejo boljše konstrukcijske, a slabše toplotnoizolativne lastnosti, kar je razvidno tudi iz preglednice 8. Zidak ima nosilno in izolativno funkcijo v konstrukciji. [66]

Ker mi podatka o faktorju difuzijske upornosti vodni pari zidaka ni uspelo pridobiti, sem ga ocenil na podlagi tehnične smernice TSG4. Iz tabele snovnih podatkov za gradbene materiale je razvidno, da se v primeru dvakratnega povečanja prostorninske gostote materiala faktor difuzijskega upora vodni pari prav tako dvakrat poveča.

### 4.3.5 Konvencionalni sklop

Preglednica 9: Gradbenofizikalne lastnosti in sestava KS-ja po slojih – varianta 9: konvencionalni sklop

ZUNAJ						
<i>MATERIAL</i>	<b>d</b> [m]	<b>λ</b> [ $\frac{W}{m K}$ ]	<b>ρ</b> [ $\frac{kg}{m^3}$ ]	<b>c</b> [ $\frac{kJ}{kgK}$ ]	<b>μ</b> [-]	<b>VIR</b>
1) Apneni omet	0,025	0,730	1660	0,970	15	[55]
2) DEMIT EPS PLUS – plošče z luknjami	0,105	0,036	15	1,260	10	[55]
3) Mrežasti opečni votlak	0,29	0,610	1400	0,920	6,0	[55]
4) Ilovnati omet	0,025	0,950	2000	1,000	10,5	[55]
<b>SKUPAJ</b>	0,445					
NOTRI						

Običajno se dandanes na zunanji strani konvencionalnega sklopa uporablja tankoslojni fasadni omet enake debeline ali manjše od 1 cm. Tega sem iz sklopa izpustil zaradi boljše primerjave s sklopi naravne gradnje. Prav tako sem na notranji strani KS-ja dodal ilovnati omet, na zunanji strani pa apneni ometi, kar ni najpogostejša praksa pri konvencionalni gradnji. Za spremembo ometov sem se odločil zaradi lažje primerjave končnih rezultatov.

## 5 REZULTATI IN NJIHOVA ANALIZA

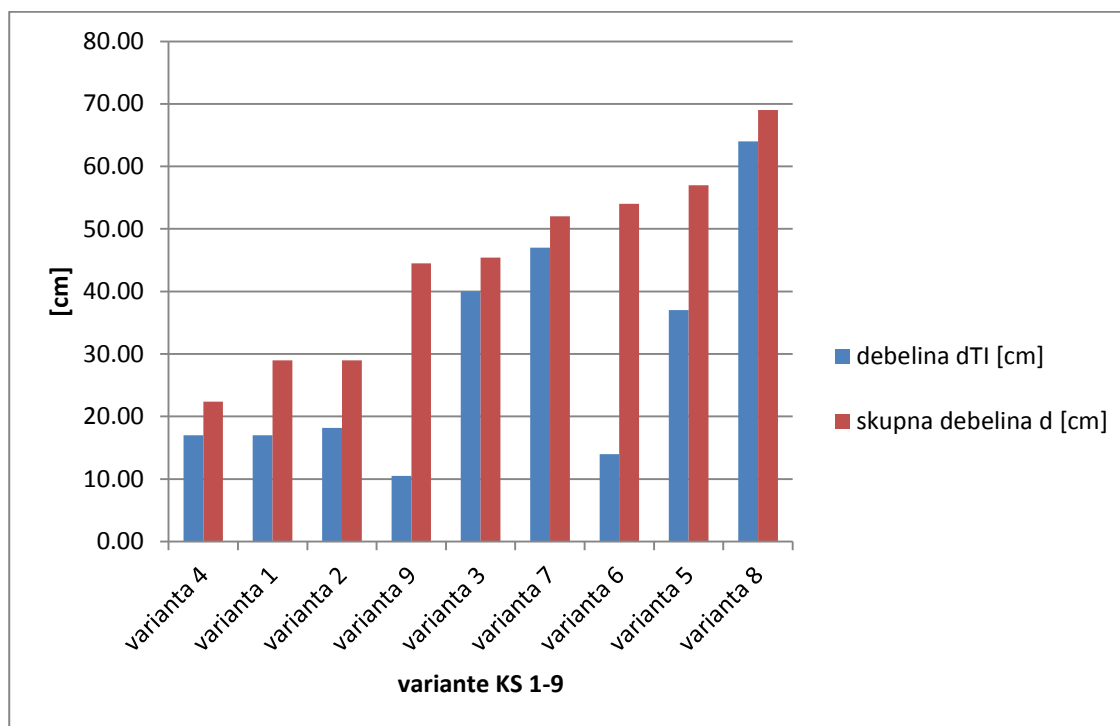
### 5.1 Rezultati in analiza toplotne prehodnosti obravnavanih KS-jev

V preglednici 10 so predstavljeni rezultati izračuna toplotne prehodnosti za vseh 9 variant KS-jev in z njimi povezane debeline toplotne izolacije (dTI) in debeline celotnih konstrukcijskih sklopov (d).

Preglednica 10: rezultati izračuna toplotne prehodnosti in z njimi povezane veličine

Ime KS-ja	TI material	Debelina dTI [cm]	Skupna debelina zidu d [cm]	Izračunana vrednost U [ $\frac{W}{m^2 K}$ ]	Predpisana vrednost U [ $\frac{W}{m^2 K}$ ]	Ustreznost U predpisom po TSG4
<b>Varianta 1</b>	slamnate bale	17	27	0,276	0,28	DA
<b>Varianta 2</b>	slamnate bale	18	28	0,279		DA
<b>Varianta 3</b>	masivna ilovica	40	45,4	1,495		NE
<b>Varianta 4</b>	perlit	17	22,4	0,274		DA
<b>Varianta 5</b>	les cedra-žagovina	37	57	0,279		DA
<b>Varianta 6</b>	slamnate bale	14	54	0,279		DA
<b>Varianta 7</b>	hemcrete	47	52	0,275		DA
<b>Varianta 8</b>	konopljin zidak	64	69	0,278		DA
<b>Varianta 9</b>	EPS-plošče	10,5	44,5	0,276		DA

Z namenom primerjave in boljšega pregleda sem iz rezultatov toplotne prehodnosti KS-jev programa TEDI naredil primerjavo med skupno debelino zidov (d) in debelino toplotne izolacije (dTI). KS-ji so razvrščeni od najtanjšega proti najdebelejšemu in so predstavljeni v grafikonu 1.



Grafikon 1: Prikaz debeline izolacije (dTI [cm]) in skupne debeline (d [cm]) KS-jev za variante 1–9 – od najtanjšega proti najdebelejšemu KS-ju

### 5.1.1 Slamogradnja

Slama dosega ustreznost toplotne prehodnosti, ki je podana s TSG4 z debelino TI v varianti 1 (pokončno) s 17 cm in varianti 2 (ležeče) z 18 cm za orientirane slamnate bale. S takšnimi debelinami zidu zaradi stabilnosti lahko izvajamo zid samo v endoskeletni obliki.

V primeru eksoskeletne izvedbe bi bila debelina zidu zaradi konstrukcijskih zahtev enaka proizvedenim dimenzijam slamatih bal. Pri pokončno orientiranih balah je 40 cm, za ležeče pa 50 cm. Pri takšnih dimenzijah TI iz slame za obe eksoskeletni varianti orientacije bal dosežemo velikost toplotne prehodnosti  $U < 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ , to pa so vrednosti, ki sovpadajo z zahtevami za pasivne stavbe. [68] Eksturidran poliesteren kot toplotni izolator v konvencionalnem sklopu je z raznimi postopki pridobljen iz fosilnih goriv, medtem [67] ko je slama naravnega izvora in ima negativen ogljični odtis. [8] Slamo ocenjujem kot izredno kakovosten material za izvedbo TI, ki ga je mogoče pridobiti iz lokalnega okolja po ugodni ceni in uporabiti v različnih metodah gradnje. Projektiranje mora biti pri slami izvedeno pravilno in s poudarkom na preprečevanju prekomernega navlaževanja. Pozornost je treba posvečati napeljavi strojnih inštalacij, ki lahko povzročajo kondenzacijo vodne pare.

### 5.1.2 Earthbag

KS po varianti 3 se izkaže kot neprimeren za naše klimatske pogoje, ampak primeren za topla in suha podnebja, kjer lahko udobno notranje okolje v stavbah zagotovimo z masivno gradnjo z visoko sposobnostjo akumulacije toplote. Za doseganje zahtev TSG4 glede toplotne prehodnosti bi bila potrebna debelina zidu večja od 1 m, tako pa bi bila izgubljena uporabna vrednost zaradi prevelike potrate prostora. Sklop odlikujejo dobre akumulacijske lastnosti, vendar ima preveliko toplotno prehodnost. Izboljšava KS z vidika toplotne prehodnosti in prekomerne debeline zidu v varianti 3 je predstavljena v poglavju o rešitvah in izboljšavah.

Pri metodi earthbag menim, da je boljša endoskeletna izvedba konstrukcije po principu KS-ja po varianti 4, ki kot polnilo vsebuje perlit. S takšno izvedbo zidu s skupno debelino 45 cm že krepko presegamo vrednosti, podane z zahtevami TSG4. Možna je tudi izvedba kombinacije variant 3 in 4. Za izboljšanje toplotne izolativnosti lahko z dodajanjem lahkih dodatkov ilovici zmanjšamo vrednost toplotne prevodnosti in toplotne kapacitete. [62] V ta namen sem izvedel izračun, v katerem sem v vrečo volumensko zmešal 50 % masivne ilovice, ostalih 50 % pa napolnil s perlitom in tako poskušal zagotoviti, da bo stena imela izolacijsko in nosilno funkcijo hkrati. S tem namenom sem snovne vrednosti  $\lambda$ ,  $\rho$ ,  $c$  obeh materialov utežil; v primeru faktorja  $\mu$  sem izbral večjega in tako dobil gradbenofizikalne podatke hipotetičnega ekvivalentnega homogenega materiala. Kombinacija se je izkazala za neprimerno oziroma nesmiselno, saj pri debelini zidu 45 cm dosega le  $U = 0,954 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ .

### 5.1.3 Cordwood

Pri metodi cordwood v KS-ju po varianti 5 ima funkcijo TI material cedra-žagovina, medtem ko je pri varianti 6 med plasti kot TI vstavljena slama. Slama se je izkazala kot dober TI že v variantah 1 in 2. V obeh primerih je izolacija v sredini med slojema cedrovega lesa in malte. KS-ja nimata zaključnih slojev na notranji in zunanji strani. Ilovnati in apneni omet, ki sta uporabljena kot zaključna sloja v ostalih primerih, imata slabše izolativne lastnosti kot utežen material lesa cedre in malte, ki je uporabljen pri obeh variantah cordwooda kot zaključni sloj. KS-ja ne potrebujeta izboljšav, saj dosejata predpisane vrednosti glede toplotne prehodnosti iz TSG4 ob debelini zidu, ki je le približno 10 cm večja v primerjavi s konvencionalnim KS-jem.

### 5.1.4 Hempcrete

KS po varianti 7 je izveden v endoskeletni konstrukciji z vbrizganim hempcretom, ki se izkaže kot dober toplotnoizolativni material. Ta za ustreznost KS-ja z zahtevami TSG4 v primerjavi s konvencionalnim sklopom dosega nekaj centimetrov večjo skupno debelino. Zunanji zid je po varianti 8 grajen iz konopljinega zidaka, ki ima nosilno in toplotnoizolativno funkcijo ter je eksoskeleten. KS dosega približno 25 cm večjo skupno debelino zidu v primerjavi s konvencionalnim KS-jem in je v takšni izvedbi zelo potraten s prostorom. Zaradi tega sem se odločil sklopu zmanjšati skupno debelino in ga s tem izboljšati.

## 5.2 Rezultati toplotne stabilnosti obravnavanih KS-jev

Preglednica 11: Rezultati izračuna toplotne stabilnosti  $\eta$  [h] in z njimi povezane veličine (d TI, d itd.)

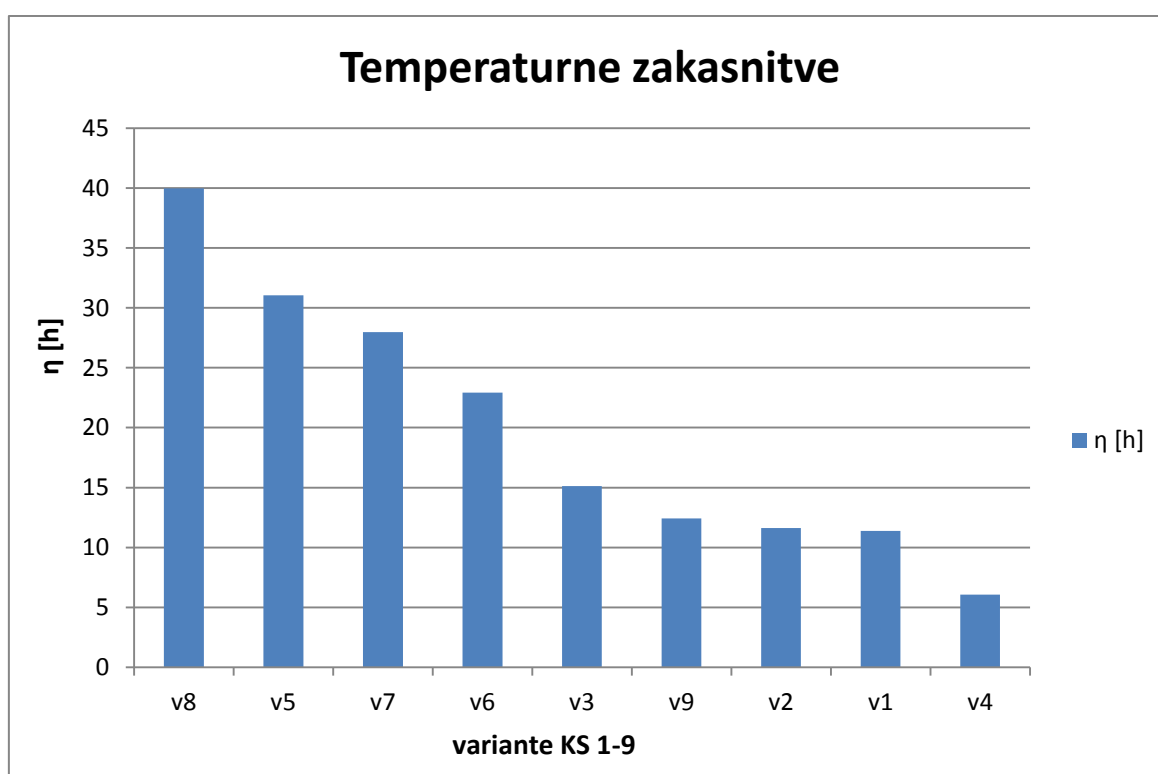
Ime KS-ja	d TI [cm]	d [cm]	$\rho$ [ $\frac{kg}{m^3}$ ]	c [ $\frac{kJ}{kgK}$ ]	v [-]	$\eta$ [h]
<b>Varianta 1</b>	17	27	90	2,00	80,94	11,37
<b>Varianta 2</b>	18	28	90	2,00	84,26	11,61
<b>Varianta 3</b>	40	45,4	2000	1,00	79,31	15,12
<b>Varianta 4</b>	17	22,4	100	0,840	45,15	6,06
<b>Varianta 5</b>	37	57	425	2,090	7285,85	31,05
<b>Varianta 6</b>	14	54	90	2	1845,82	22,92
<b>Varianta 7</b>	47	52	627	1,340	3709,46	27,96
<b>Varianta 8</b>	64	69	1171	1,113	69690,68	39,97
<b>Varianta 9</b>	10,5	44,5	15	1,260	406,23	12,42

Toplotna stabilnost je sposobnost KS-ja, da ohrani relativno obstojnost temperature na notranji površini KS-ja ob nihanju temperature zunanjega zraka in nihanju toplotnega toka skozi sklop. Izračun je poenostavljen s predpostavko, da zunanje temperature v dnevnem ciklu (24 h) nihajo v obliki sinusoide. Faktor dušenja temperature  $v$  je količnik med amplitudo spreminjajoče se temperature zunaj in amplitudo temperature notri. Temperaturna zakasnitev  $\eta$  pa je časovna zakasnitev temperature na notranji strani glede na zunanjo temperaturo.[69]

Gradbena zakonodaja ne predpisuje vrednosti za izračunane vrednosti toplotne stabilnosti. V starejših jugoslovanskih standardih so bile vrednosti predpisane. Načeloma pa si želimo temperaturni zamik nekje med osem in dvanajst ur, torej takšen, da notranji maksimum



sovpada z zunanjim minimumom, in obratno. Tako rekoč ugodje bivanja in raba energije nista odvisna le od toplotne prehodnosti. Na toplotne izgube pozimi in pregrevanje poleti vplivajo tudi ostale karakteristike materialov, kot sta prostorninska gostota in specifična toplota materiala. Temperaturna zakasnitev in temperaturno dušenje sta odvisna predvsem od zasnove KS-ja (endo- ali eksoskelet) ter od lastnosti masivnih gradbenih elementov in izolacijskega materiala. Z vgradnjo toplotne izolacije iz celuloze, lesnih oblancev in lesenih vlaken kot v mojem primeru pri metodi slamogradnje, cordwooda in hempcreta dosegamo največjo temperaturno zakasnitev v primerjavi z ostalimi toplotnoizolacijskimi materiali. [70] Metoda izračuna karakteristik toplotne stabilnosti po standardu JUS U.J5.530 je bila razvita za KS-je z relativno visokimi vrednostmi  $\mu$ . Faktorji dušenja posledično dosegajo visoke vrednosti pri manjših vrednostih  $\mu$  tako, da rezultati niso merodajni. Medtem, ko so rezultati temperaturnih zakasnitev po tej metodi izračuna pravilni.[55]



Grafikon 2: Prikaz temperaturnih zakasnitev za vseh 9 variant KS-jev – od največjih do najmanjših

### 5.3 Rezultati izračuna difuzije vodne pare skozi KS-je in analiza

KS-je sem ob upoštevanju zahtev TSG4 modeliral tako, da je relativna vlažnost v prostoru enaka 65 %, sklop pa hkrati zadostuje zahtevam po maksimalni toplotni prehodnosti. Le štirje

KS-ji se pri izračunu difuzije vodne pare izkažejo kot ustrezni, drugi pa ne ustrezajo zahtevam TSG4. Pri vseh sklopih, pri katerih prihaja do prekomernega kondenziranja vodne pare, prihaja do tega v sloju TI. V KS-jih po variantah 1, 2 in 5, v katerih ima funkcijo TI slama, ne sme prihajati znotraj zidov do relativne vlažnosti večje od 20 %, saj se v nasprotnem primeru v nekaj tednih razvije gnitje, ki povzroči razpadanje celuloze. S tem namenom je treba zmanjšati prehod vodne pare iz prostora v gradbeno konstrukcijo oziroma iz notranjega toplega okolja v zunanje hladno okolje.

To lahko dosežemo z vgradnjo parne ovire ali z razporeditvijo materialov tako, da se faktor upora vodne pare zmanjšuje v smeri proti hladnemu delu konstrukcije. [58]

Če želimo KS rešiti z razporeditvijo materialov, nam to v primeru slame kot TI ne bo uspelo, saj ima slama difuzijski faktor upornosti vodni pari skoraj enak faktorju zraka ( $\mu = 1$ ) in je tako vsak naslednji sloj bolj difuzijsko uporen, kot je slama. Vse sklope sem reševal z vgradnjo parne ovire.

**Preglednica 12: Rezultati izračuna kondenzacije vodne pare**

Ime KS-ja	Kondenz nastaja v sloju	Ustreznost KS-ja po TSG4
<b>Varianta 1</b>	slamnate bale (pokončno)	NE
<b>Varianta 2</b>	slamnate bale (ležeče)	NE
<b>Varianta 3</b>	masivna ilovica	NE
<b>Varianta 4</b>	perlit	NE
<b>Varianta 5</b>		DA
<b>Varianta 6</b>	slamnate bale (pokončno)	NE
<b>Varianta 7</b>		DA
<b>Varianta 8</b>		DA
<b>Varianta 9</b>		DA

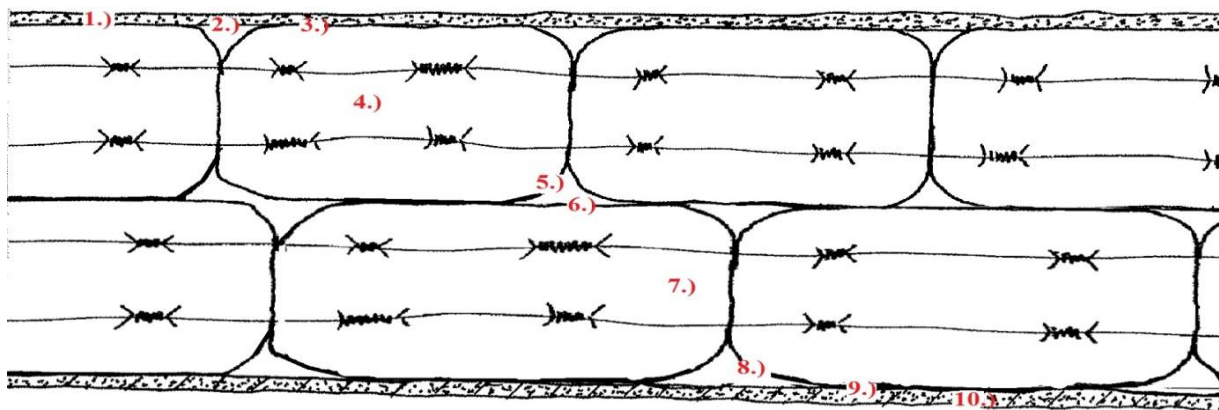
## 6 REŠITVE IN IZBOLJŠAVE

Rešitve in izboljšave sem izvedel za vse KS-je, ki niso ustrezali zahtevam TSG4 glede toplotne prehodnosti in difuzije vodne pare. Za KS-je večje skupne debeline od 60 cm sem ocenil, da potratijo preveč prostora, in zato zanje poiskal smiselno rešitev. Izboljšal oziroma rešil bom naslednje KS-je:

- KS po varianti 3 – zaradi prekomerne toplotne prehodnosti,
- KS po varianti 1 – zaradi prekomernega kondenziranja vodne pare,
- KS po varianti 2 – zaradi prekomernega kondenziranja vodne pare,
- KS po varianti 3 – zaradi prekomernega kondenziranja vodne pare,
- KS po varianti 4 – zaradi prekomernega kondenziranja vodne pare,
- KS po varianti 6 – zaradi prekomernega kondenziranja vodne pare,
- KS po varianti 8 – zaradi prevelike potrate prostora.

### 6.1 Rešitev za KS-je, ki ne ustrezajo TSG4 glede toplotne prehodnosti

Problem KS-ja po varianti 3 zaradi prekomerne toplotne prehodnosti sem rešil z dodatnim slojem vreč, napolnjenih s perlitom, tako da KS prav tako deluje eksoskeletno in izpolnjuje zahteve TSG4. Tako dosežem toplotno prehodnost  $U = 0,279 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ . Predlagana sestava KS-ja je prikazana v preglednici 13 in sliki 22. Predvidevam, da bi se verjetno pojavil problem diferenčnih posedkov, saj bi se vreče, napolnjene s perlitom, drugače posedale kot vreče z zemljino.



Slika 22: Prikaz KS-ja – varianti 3: R (R kot rešitev)

Preglednica 13: KS varianta 3-R (R kot rešitev)

ZUNAJ						
<i>MATERIAL</i>	<b>d</b> [m]	$\lambda$ [ $\frac{W}{mK}$ ]	$\rho$ [ $\frac{kg}{m^3}$ ]	<b>c</b> [ $\frac{kJ}{kgK}$ ]	$\mu$ [-]	<b>VIR</b>
1) Apneni omet	0,025	0,73	1660	0,970	15	[59]
2) Pocinkana kovinska mreža						
3) PVC	0,002	0,230	1400	0,960	10000	[55]
4) Masivna ilovica	0,30	0,90	2000	1	10,5	[62]
5) PVC	0,002	0,230	1400	0,960	10000	[55]
6) PVC	0,002	0,230	1400	0,960	10000	[55]
7) Perlit	0,15	0,050	100	0,840	1,3	[55]
8) PVC	0,002	0,230	1400	0,960	10000	[55]
9) Pocinkana kovinska mreža						
10) Ilovnati omet	0,025	0,95	2000	1	10,5	[62]
<b>SKUPAJ</b>	50,8					
NOTRI						

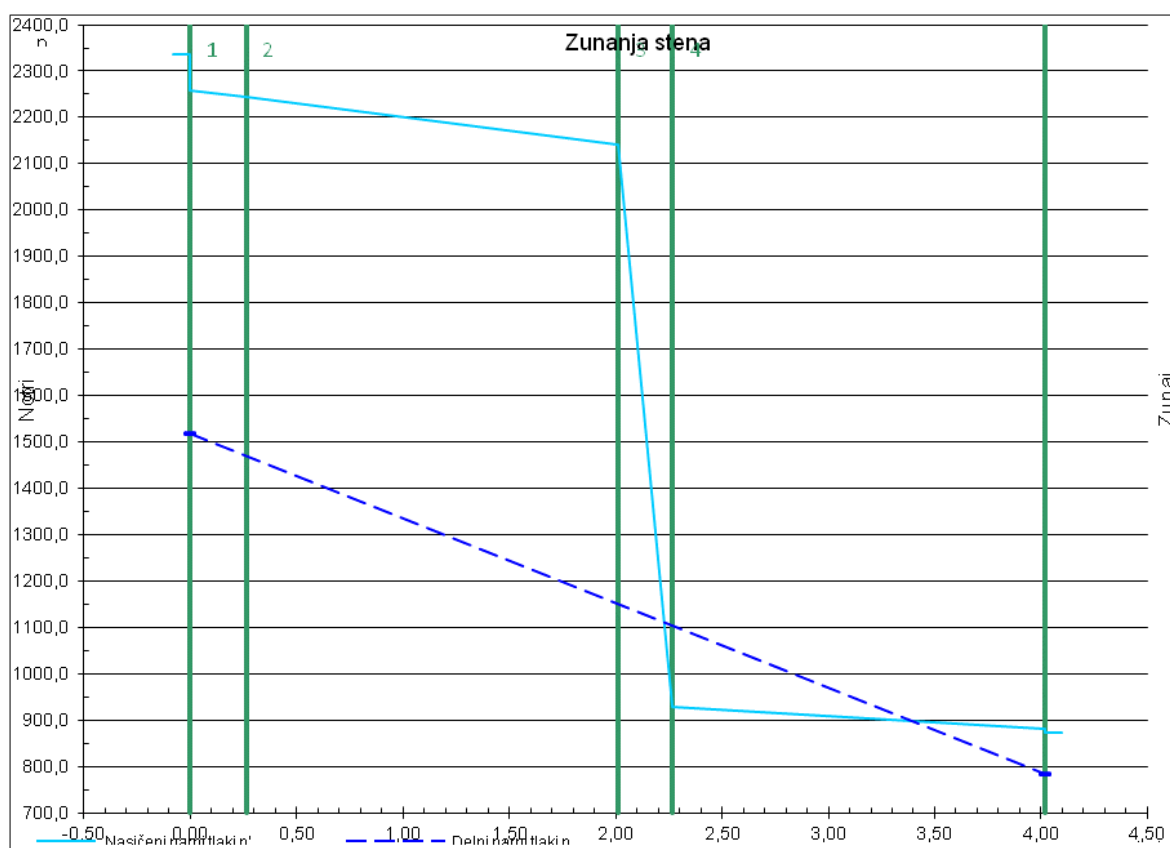
## 6.2 Rešitev za KS-je, ki ne ustrezajo TSG4 glede difuzije vodne pare

KS-je, pri katerih je prišlo do prekomernega kondenziranja vodne pare, sem rešil z vgradnjo parne ovire in tako onemogočil kondenzacijo vodne pare v KS-ju. Preprečevanje kondenzacije temelji na zmanjšanju difuzijskega toka, zato sem zaporo vgradil na notranjo, toplo stran gradbene konstrukcije. [58] Vse rešitve sem podal v preglednici 14 in označil z rdečo črto na slikah 13, 14 in 18.

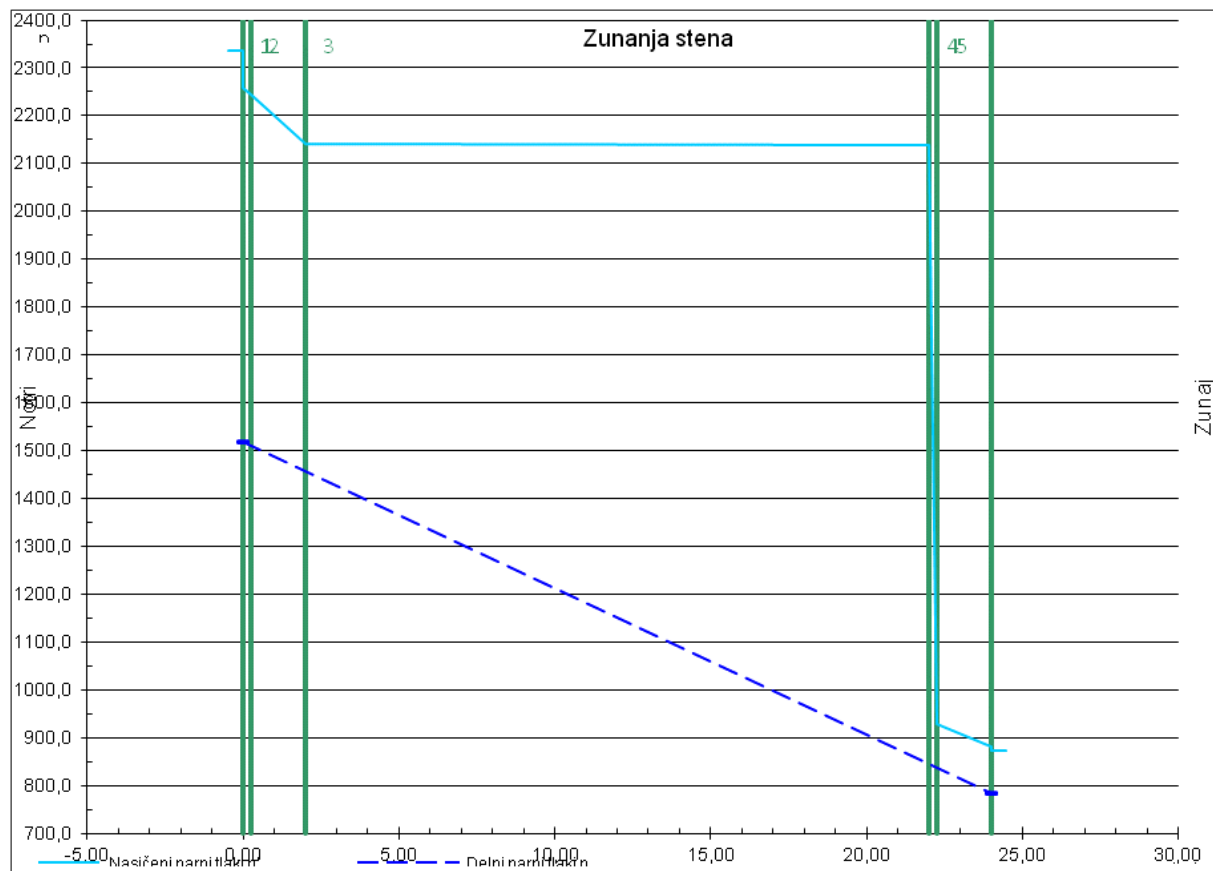
Preglednica 14: Rešitve za KS-je, ki ne ustrezajo TSG4 glede difuzije vodne pare

Ime KS-ja	Kondenz nastaja v sloju	Ustreznost KS-ja po TSG4	Postavitev parne ovire med sloja KS-ja
Varianta 1	slamnate bale (pokončno)	NE	2–3
Varianta 2	slamnate bale (ležeče)	NE	2–3
Varianta 3	masivna ilovica	NE	2–3
Varianta 4	perlit	NE	2–3
Varianta 6	slamnate bale (pokončno)	NE	1–2

Sliki 23 in 24 iz programa TEDI prikazujeta grafični rezultat pripadajočih tlakov nasičenja vodne pare in relativne tlake pare v zraku za primer slamogradnje KS po varianti 2. Program TEDI nam izriše pripadajoče tlake v odvisnosti z oddaljenostjo od roba KS-ja. Če se grafa kjer koli sekata, pride do kondenziranja vodne pare v tem sloju, saj je relativni tlak višji od tlaka nasičenja. [72] Slika 23 prikazuje KS brez rešitve, pri čemer se grafa sekata in para kondenzira v sloju TI, slika 24 pa prikazuje KS z vgrajeno parno oviro kot rešitvijo, kjer ne prihaja do kondenzacije.



Slika 23: Diagram p-r, nastanek kondenzacije vodne pare v KS-ju – varianta 2: slamogradnja



Slika 24: Diagram p-r, rešitev KS-ja – varianta 2: z vgrajeno parno oviro na notranji strani TI

### 6.3 Rešitev za KS s prekomerno potratu prostora

KS po varianti 8 sem rešil tako, da sem na zunanjo stran med zaključnim slojem apnenega ometa in zidakov vrnil izolacijske panele iz konopljinih vlaken (IPK) debeline 7 cm in jih sidral na zid iz konopljinih zidakov. IPK je naravnega izvora in eden izmed gradbenih produktov, izdelan iz industrijske konoplje, ki opravlja funkcijo TI. Z izboljšavo sem dosegel izpolnjevanje zahtev TSG4, to je sprejemljivo skupno debelino KS-ja 42,1 cm, ki je manjša od skupne debeline konvencionalnega KS-ja po varianti 9.



Slika 25: Izolacijski panel iz konoplje-IPK (Vir slike 25: [55])

Preglednica 15: KS – varianti 8: R

ZUNAJ						
<i>MATERIAL</i>	<b>d</b> [m]	$\lambda$ [ $\frac{W}{m K}$ ]	$\rho$ [ $\frac{kg}{m^3}$ ]	<b>c</b> [ $\frac{kJ}{kgK}$ ]	$\mu$ [-]	<b>VIR</b>
<b>1) Apneni omet</b>	0,025	0,73	1660	0,970	15	[59]
<b>2) IPK</b>	0,071	0,040	30	1800	2	[65]
<b>3) Konopljin zidak</b>	0,30	0,19	1171	1,113	11	[55]
<b>4) Plovnati omet</b>	0,025	0,95	2000	1	10,5	[62]
<b>SKUPAJ</b>	0,421					
NOTRI						

## 7 UGOTOVITVE IN ZAKLJUČKI

Gradnja z naravnimi materiali je iz dneva v dan popularnejša in vedno bolj prisotna na območju Slovenije. Zanja se odloča zmeraj več investitorjev. Temu lahko pripišem tudi odprtje nekaj novih podjetij, ki sem jih zasledil med pisanjem diplomskega dela. Večinoma se ukvarjajo z metodama gradnje s slamo in konopljo. Izbira naravnih materialov pri gradnji prevladuje predvsem z ekološkega vidika. Materiali so sicer cenejši, lahko tudi brezplačni, vendar s takšnimi metodami gradnje porabimo veliko več časa. Najceneje gradimo, če imamo dostop do poceni materiala in dela potekajo v lastni režiji ob pomoči izkušenega graditelja, ki delo usmerja. V prihodnosti lahko pričakujemo razvoj tehnologije, posebej prilagojene za takšne metode gradnje. To so razni mešalci, vlečnice za prenos polnih vreč z zemljo na želena mesta, stroji za obdelavo konoplje itd., ki bodo gradnjo pospešili in pocenili. Dandanes se tudi ob želji po gradnji z metodami naravne gradnje verjetno pojavi problem, saj težko pridobimo kakovostno usposobljen kader za izvedbo celotnega projekta. Na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo nimamo predmetov, ki bi takšno gradnjo posebej obravnavali ter tako učili in širili uporabo naravnih materialov pri gradnji.

Izkušnje za gradnjo si lahko pridobimo na raznih delavnicah. Te so večkrat organizirane v povezavi s permakulturnim vrtnarjenjem, domačo kuho itd. in tako tematsko zaokrožene v sonaravno bivanje z naravo. Delavnice za slamogradnjo se izvajajo tudi v Sloveniji, medtem ko so za druge metode povečini organizirane v tujini. Običajno gre za plačljive delavnice, lahko pa se udeležimo tudi raznih projektov, na katerih kot prostovoljci gradimo in tako pridobimo znanje. Gradnje brez predhodnih izkušenj in pridobljenega »know-how« kljub navidezno enostavnim metodam ne bi priporočal. Metode pri gradnji potrebujejo specifična znanja, na primer za izvedbo zidu s strojnimi inštalacijami, napeljavo vode in drugih detajlov. Problem predstavlja tudi zakonodaja za pridobitev gradbenega dovoljenja, predvsem pri eksoskeletni gradnji, saj materiali niso certificirani in standardizirani za izračun statike in potresne varnosti. Endoskeletne metode ne predstavljajo težav z zakonodajo, saj je konstrukcija pri naravni gradnji običajno lesena, medtem ko se druge naravne materiale uporablja le kot polnilo.



Obravnavani KS-ji iz pregledane literature se po opravljeni analizi po večini izkažejo za pomanjkljive glede na zahteve slovenskih predpisov. Lahko pa jih z manjšimi popravki oziroma izboljšavami, kot je parna ovira, s katero preprečimo kondenziranje vodne pare v KS-ju, ali dodatna izolacija, s katero zmanjšamo toplotno prehodnost, in skupno debelino (npr.: KS varianta 8 d=64 cm izboljššan na 8-R d=42,1 cm) rešimo in izboljšamo. Tako rešeni KS-ji presegajo zahteve TSG4 ob približno enaki debelini zidu, kot jo dosega konvencionalna gradnja. Iz tega sklepam, da je smiselna uporaba naravnih materialov v kombinaciji z umetnimi, tako da ti kar najbolje izboljšajo KS z najmanjšim ekološkim odtisom. Skozi celotno diplomsko nalogo KS-je obravnavam kot naravne in ekološke, vendar ti niso taki v celoti. Na primer pri metodi earthbag se uporabljajo PVC-vreče, pri drugih kot rešitev parna ovira. Tudi ti materiali pri proizvodnji in obrabi onesnažujejo okolje in so zdravju škodljivi, vendar so uporabljene količine teh znatno manjše kot pri konvencionalna gradnji. Materiale, vgrajene v stavbe, je treba obravnavati skozi celoten življenjski cikel, torej od proizvodnje pa do odstranitve stavbe. Na primer pri izolacijskem betonu iz konoplje hempcrete, ki ima negativen ogljični odtis, za proizvodnjo 1 m<sup>2</sup> zidu debeline 26 cm potrebujemo 370–394 MJ energije in v ozračje izpustimo 14–35 kg CO<sub>2</sub>, medtem ko za enak zid iz konvencionalnega betona potrebujemo 560 MJ energije in med proizvodnjo izpustimo 52,3 CO<sub>2</sub>. [74]

Prav za takšne materiale, kot jih obravnavam v izbranih metodah gradnje, ki so naravnega izvora in iz obnovljivih virov, lahko dandanes pridobimo nepovratna sredstva in ugodne kredite iz Eko sklada v okviru slovenskega okoljskega javnega sklada.[24]

## VIRI

[1] Razpotnik, B. 2013.

<http://www.stat.si/StatWeb/glavnanavigacija/podatki/prikazistaronovico?IdNovice=5614>

(Pridobljeno 16. 3. 2015).

[2] Direktiva 2010/31/EU Evropskega parlamenta in Sveta z dne 19. maja 2010 o energetske učinkovitosti stavb (prenovitev). Uradni list Evropske unije (Pridobljeno 18. 6. 2010).

[3] Polh, M. 2014.

[www.stat.si/statweb/glavnanavigacija/podatki/prikazistaronovico?idnovice=6647](http://www.stat.si/statweb/glavnanavigacija/podatki/prikazistaronovico?idnovice=6647)

(Pridobljeno 2.4.2015).

[4] DOVJAK, M., KRISTL, Ž. 2011. Health concerns of PVC materials in the built environment. Sanitarno inženirstvo 5,1: 4–26.

[5] Lampret, L. 2011. Uporaba slamnatih bal kot gradbenega materiala pri ekološki gradnji. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo, Operativno gradbeništvo (samozaložba L. Lampret); 49f.

[6] Hollis, M. 2005. Practical straw bale building. Landlinks Press 150 Oxford Street (PO Box 1139) Collingwood VIC 3066 Australia: str. 98.

[7] Nails, A. 2001. Information guide to straw bale building. Amazon Nails, Hollinroyd Farm, Todmorden, OL14 8RJ: str. 61.

[8] Nathaniel, C. 2005. Building a straw bale house - The red feather construction handbook. Red Feather Development Group P.O. Box 907, Bozeman, USA: str. 195.

[9] Norton, 2012. A collection of straw bale resources

<http://www.silentstorm.co.uk/category/sustainability/strawbale/>. (Pridobljeno 31.8.2015)

[10] Holladay, M. 2011. Straw-Bale Walls.

<http://www.greenbuildingadvisor.com/blogs/dept/musings/straw-bale-walls> (Pridobljeno 8. 4. 2015).

[11] Maučec, U. 2013 Tudi v Sloveniji vse bolj priljubljena gradnja eko hiš.

[http://www.siol.net/novice/slovenija/2013/05/eko\\_hisa.aspx](http://www.siol.net/novice/slovenija/2013/05/eko_hisa.aspx) (Pridobljeno 7. 4. 2015).

[12] Straw house. 2013. <http://workawayblog.com/focus-on-natural-building-techniques-and-opportunities/straw-house/>. (Pridobljeno 25.8.2015)

[13] Ashour, T. 2010. The influence of natural reinforcement fibres on insulation values of earth plaster for straw bale buildings. *Materials and Design*. 31:4676–4685.

[14] Gilcher, G. 2006. Ohio Straw Bale Homes.

<http://www.greenenergyohio.org/page.cfm?pageID=1211> (Pridobljeno 7. 4. 2015).

[15] Lawrence, M. 2009. Determining moisture levels in straw bale construction. *Construction and Building Materials* 23, 8: 2763–2768.

[16] Bandelj, M. 2006. Potresna odpornost hiše, zgrajene iz lesenih okvirnih sten z balami slame. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo, Konstrukcijska smer(samozaložba M. Bandelj); 84f.

[17] Andrew, F. 2007. Straw Bale Homes Protect Against Fire Where Conventional Homes Fail. [www.strawbale.com/straw-bale-fire-resistant-southern-california](http://www.strawbale.com/straw-bale-fire-resistant-southern-california) (Pridobljeno 1. 4. 2015).

[18] Earth hands and houses <https://i2.wp.com/earthhandsandhouses.org/wp-content/uploads/028-straw-bale-jen.jpg>. (Pridobljeno 2.9.2015)

[19] Hart, K. 2015. History. <http://www.earthbagbuilding.com/history.htm> (Pridobljeno 4. 3. 2015).

[20] Earth bag building <http://www.earthbagbuilding.com/images/projects/jtree19.JPG>. (Pridobljeno 2.9.2015)

- [21] Hunter, K., Kiffmeyer, D. 2004. Earthbag Building The Tools, Tricks and Techniques. New Society Publishers P.O. Box 189, Gabriola Island, BC V0R 1X0, Canada: str. 257.
- [22] Guggenheim, S., Martin, R. T. 1995. Definition of clay and clay mineral. <http://www.clays.org/journal/archive/volume%2043/43-2-255.pdf> (Pridobljeno 8. 4. 2015).
- [23] King, H. Expansive Soil and Expansive Clay <http://geology.com/articles/expansive-soil.shtml> (Pridobljeno 2. 4. 2015).
- [24] Sedimentation test. 2014. <http://civilblog.org/wp-content/uploads/2014/04/Sedimentation-Test.jpg>. (Pridobljeno: 14.4.2015)
- [25] Phadke, S. 2008. Earthbags! A primer in self help construction using flexible form rammed earth. <http://www.mkf.org.in> (Pridobljeno 4. 3. 2015).
- [26] Buaya-and-Malua-Earthbags <http://arkitrek.com/wp-content/gallery/buayan/Buaya-and-Malua-Earthbags.jpg>. (Pridobljeno 2.9.2015)
- [27] Brooke, B., Kang M., Huantian C. 2006. Sustainable Characteristics of Earthbag Housing <http://www.earthbagbuilding.com/articles/hartleed.htm> (Pridobljeno 2. 4. 2015).
- [28] Hart, K. 2015. The Myth of Earthbag Insulation <http://www.naturalbuildingblog.com/the-myth-of-earthbag-insulation> (Pridobljeno 4. 3. 2015).
- [29] Flatau, R. 2012. Cordwood Best Practices. Cordwood construction resources. LLC Merrill, Winsconsin: str. 196.
- [30] Gregoire, R. 1983. *The thermal efficiency of cordwood walls*, Mother Earth News, str: 79.
- [31] Roy, R. 2013. Cordwood Building: The State of the Art
- [32] Cordwood masonry [http://cordwoodmasonry.com/wordpress/wp-content/uploads/2014/07/IMG\\_6033a\\_2400x1600b.jpg](http://cordwoodmasonry.com/wordpress/wp-content/uploads/2014/07/IMG_6033a_2400x1600b.jpg). (Pridobljeno 2.9.2015)
- [33] Roy, R. 1995. Building a Cordwood House. <http://www.motherearthnews.com/green-homes/cordwood-house-zmaz95amztak.aspx?PageId=1> (Pridobljeno 7. 4. 2015).

[34] Bioarchitettura

[http://www.greenme.it/images/stories/Abitare/BioEdilizia\\_e\\_bioarchitettura/Ciocchi1.jpg](http://www.greenme.it/images/stories/Abitare/BioEdilizia_e_bioarchitettura/Ciocchi1.jpg).

Pridobljeno [2.9.2015](#))

[35] Shockey, C. 1994. Stackwall Construction; Double Wall Technique Revised, str: 96.

[36] Cordwoodconstruction

<https://cordwoodconstruction.files.wordpress.com/2014/02/kilgore-4.jpg>. (Pridobljeno

[2.9.2015](#))

[37] Lopatič, J. 2012. Študijsko gradivo LESENE KONSTRUKCIJE. Ljubljana, Študijsko gradivo, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

[38] Žitko, M. 2009. Gradnja z naravnimi materiali. Samozaložba. Idrija: str. 150.

[39] Mouterde R., Morel J. C., Martinet V. 2011. The mechanical performance of cordwood. Biosystems Engineering 108, 237–243.

[40] Roy, R. 2003. Cordwood Building; The State of the Art, New Society Publishers.f: 240.

[41] Elfordy, S., Lucas, F., Tancret, F. 2008. Mechanical and thermal properties of lime and hemp concrete (“hempcrete”) manufactured by a projection process. Construcion and Building Materials. 22-10: 2116–2123.

[42] Kocjan Ačko, D. 1999. Pozabljene poljščine. Kmečki glas. Ljubljana: str. 187.

[43] Rowan, R. 2000. Velika knjiga o konoplji: popoln vodič po okoljski, komercialni, medicinski in duhovni rabi ene od najbolj izjemnih rastlin na zemlji. Ljubljana: str. 248.

[44] Pravilnik o pogojih za pridobitev dovoljenja za gojenje konoplje in maka. Uradni list RS, št. 40/2011, z dne 27. 5. 2011. (Pridobljeno 25. 8. 2015)

[45] Real hemp <https://www.realhemp.com/wp-content/uploads/2014/08/hemp-linkedln.jpg>.(Pridobljeno 3.9.2015)

- [46] Woolley, T. 2006. Natural building: a guide to materials and techniques. Ramsbury, Marlborough: The Crowood Press: str. 192.
- [47] Tronet, P., Lecompte, T. 2014. Study of lime hemp composite precasting by compaction of fresh mix — An instrumented die to measure friction and stress state. Powder Technology. 258: 285–296.
- [48] Žarnić, R. 2003. Lastnosti gradiv. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za preskušanje materialov in konstrukcij. Ljubljana. Str. 350.
- [49] Konopljinna hiša hemphouse. <http://www.konopljinahisa-hemphouse.si/prvi-objekt-v-slo.html>. (Pridobljeno 2.9.2015)
- [50] Taller de Cannabric y construcción con cáñamo [http://www.cannabric.com/formacion/taller\\_de\\_cannabric\\_y\\_construccion\\_con\\_canamo/](http://www.cannabric.com/formacion/taller_de_cannabric_y_construccion_con_canamo/). (Pridobljeno 28.8.2015)
- [51] Uredba (EU) št. 305/2011 Evropskega parlamenta in Sveta z dne 9. marca 2011. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:088:0005:0043:SL:PDF> (Pridobljeno 15. 5. 2015).
- [52] Direktiva 2010/31/EU Evropskega parlamenta in Sveta z dne 19. maja 2010 o energetske učinkovitosti stavb. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0031&from=EN> (Pridobljeno 16. 5. 2015).
- [53] Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah. Uradni list RS, št. 52/2010. <http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?urlid=201052&stevilka=2856> (Pridobljeno 27. 4. 2015).
- [54] Ministrstvo za okolje in prostor. 2010. 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](http://www.arhiv.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/zakonodaja/prostor/graditev/TSG-01-004_2010.pdf) (Pridobljeno 27. 4. 2015).

- [55] Perdan, R., Krainer, A. Uporabniški priročnik računalniškega programa TEDI. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente. f: 47.
- [56] Zavrl, E. 2014. Prehod toplote skozi konstrukcijski sklop – primerjava enodimenzionalnega in dvodimenzionalnega izračuna. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (Samozaložba: E. Zavrl).
- [57] Povprečna letna temperatura zraka 1971–2000. 2000.  
<http://www.arso.gov.si/vreme/podnebje/karte/karta4013.html> (Pridobljeno 25. 5. 2015).
- [58] Geografski atlas Slovenije (DZS, 1998) Geografske značilnosti dinarskih pokrajine.  
[http://egradiva.gis.si/web/9.-razred-geografija/dinarske-pokrajine;jsessionid=5B76B331D03553957D7E4F3814CE8033?p\\_p\\_id=GOS\\_T12\\_P04\\_WAR\\_GOS\\_T12\\_P04portlet\\_INSTANCE\\_A36v&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=maximized&p\\_p\\_col\\_id=column-2&p\\_p\\_col\\_pos=2&p\\_p\\_col\\_count=5](http://egradiva.gis.si/web/9.-razred-geografija/dinarske-pokrajine;jsessionid=5B76B331D03553957D7E4F3814CE8033?p_p_id=GOS_T12_P04_WAR_GOS_T12_P04portlet_INSTANCE_A36v&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_col_id=column-2&p_p_col_pos=2&p_p_col_count=5) (Pridobljeno 25. 5. 2015).
- [59] Černy, R. 2006. Effect of pozzolanic admixtures on mechanical, thermal and hygric properties of lime plasters. Construction and building materials. 20,10: 849–857.
- [60] Rangco Bronsema, N. 2010. Moisture Movement and Mould Management in Straw Bale Walls for a Cold Climate. Waterloo, Ontario, Canada.
- [61] Atkinson, C. 2008 Energy Assessment of a Straw Bale Building. Graduate School of the Environment, Centre for Alternative Technology, Machynlleth, Powys. str.: 100.
- [62] Zbašnik Senegačnik, M. 2006. Sodobna gradnja z ilovico. AR Arhitektura raziskave 2006/1.
- [63] Cordwood wall [http://nerdwood.com/wp-content/uploads/2012/01/cropped-cordwood\\_wall1.jpg](http://nerdwood.com/wp-content/uploads/2012/01/cropped-cordwood_wall1.jpg). (Pridobljeno 3.9.2015)
- [64] Abbott T. 2014 Hempcrete factsheet. <http://limecrete.co.uk/hempcrete-factsheet/> (Pridobljeno 21. 5. 2015).

[65] Technical data sheet. 2008.

[http://www.cannabric.com/media/documentos/5cfef\\_CANNABRIC\\_technical\\_data\\_sheet\\_and\\_tests.pdf](http://www.cannabric.com/media/documentos/5cfef_CANNABRIC_technical_data_sheet_and_tests.pdf) (Pridobljeno 17. 4. 2015).

[66] Nguyen, T., Picandet, V., Amziane, S. 2009. Christophe Baley Influence of compactness and hemp hurd characteristics on the mechanical properties of lime and hemp concrete. *Organic materials for construction*. str.:1039–1050.

[67] Expanded Polystyrene (EPS) and environment.

[http://www.eps.co.uk/pdfs/eps\\_and\\_the\\_environment.pdf](http://www.eps.co.uk/pdfs/eps_and_the_environment.pdf) (Pridobljeno 14. 5. 2015).

[68] Piškur, Š. 2010. Kriteriji in načrtovanje pasivne hiše.

<http://www.pasivnahisa.eu/kriteriji-in-nacrtovanje-pasivne-hise/23-kriteriji-in-nacrtovanje-pasivne-hise> (Pridobljeno 14. 5. 2015).

[69] Košir, M. 2013-2014 Študijsko gradivo Bioklimatsko načrtovanje: toplotna prehodnost, toplotna stabilnost in difuzija vodne pare. Univerza v Ljubljani Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, katedra za stavbe in konstrukcijske elemente. (Pridobljeno: 10. 9. 2015)

[70] Grobovšek, B. Toplotna stabilnost strešnih konstrukcij. <http://gcs.gi-zrmk.si/Svetovanje/Clanki/Grobovsek/PT276.htm> (Pridobljeno 5. 6. 2015).

[71] Medved, S. 2010. Gradbena fizika, Fakulteta za arhitekturo Ljubljana: 320 str.

[72] Čížek, T. 2013. Konstruktorska gradbena fizika.

[http://www.gradbena.fizika.si/Izdelek8\(Cizek\).pdf](http://www.gradbena.fizika.si/Izdelek8(Cizek).pdf). (Pridobljeno 10. 9. 2015)

[73] Rojnik, M. 2010. Zemljanka kot alternativa konvencionalni gradnji. Diplomski naloga.

<https://dk.um.si/Dokument.php?id=18634>. (Pridoblejno 10. 9. 2015)

[74] Walker, R. 2014. Moisture transfer and thermal properties of hemp–lime concretes. *Construction and Building Materials*. 64: 270–276.



## **SEZNAM PRILOG**

**PRILOGA A.1: OSNOVNI LIST IZ PROGRAMA TEDI, KI JE ENAK ZA VSE KS-je**

**PRILOGA A.2 : REZULTATI IZ PROGRAMA TEDI ZA VARIANTE KS-jev 1–9  
BREZ REŠITVE**

**PRILOGA A.3: REZULTATI IZ PROGRAMA TEDI Z REŠITVIJO ZA KS-je S  
PREVELIKO TOPLOTNO PREHODNOSTJO**

**PRILOGA A.4: REZULTATI IZ PROGRAMA TEDI Z REŠITVIJO ZA KS-je S  
KONDENZACIJO VODNE PARE**

**PRILOGA A.5: REZULTATI IZ PROGRAMA TEDI Z REŠITVIJO ZA KS-je S  
PREKOMERNO SKUPNO DEBELINO**

**PRILOGA A.1: OSNOVNI LIST IZ PROGRAMA TEDI, KI JE ENAK ZA VSE KS-je**

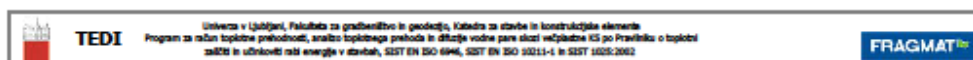
Račun toplotne prehodnosti, analiza toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS

Objekt:	<i>Testni objekt TEDI</i>
Investitor:	<i>Investitor TEDI</i>
Ulica, naselje:	<i>Ulica TEDI</i>
Kraj:	<i>Ljubljana TEDI</i>
Katastrska(e) občina(e):	<i>1234 TEDI</i>
Parcelna(e) številka(e):	<i>123/4 TEDI</i>
Namembnost (stanovanjska, poslovna...):	<i>Stanovanjska TEDI</i>
Etažnost (klet, pritličje, etaža, mansarda...):	<i>Pritlična TEDI</i>
Konstrukcijski sklop	<i>Zunanja stena</i>

Projektivno podjetje:	<i>PP TEDI</i>	Odgovorni projektant:	<i>Projektant TEDI</i>
Ident. št.:	<i>123 TEDI</i>	Ident. št.:	<i>4321 TEDI</i>
Št. projekta:	<i>1234/09 TEDI</i>	Podpis:	
Kraj:	<i>Ljubljana TEDI</i>	Datum:	<i>04.01.2008 TEDI</i>

**PRILOGA A.2: REZULTATI IZ PROGRAMA TEDI ZA VARIANTE KS-jev 1–9  
BREZ REŠITVE**

Račun toplotne prehodnosti, analiza toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS



Zunanja stena	
Vrsta konstrukcijskega sklopa po 9. členu Pravilnika	1. - Zunanje stene in stene proti neogrevanim prostorom, tla nad neogrevanim prostorom ali zunanjim zrakom
Vrsta stavbe po 9. členu Pravilnika	1. - Stavbe s temperaturo notranjega zraka pozimi nad 19oC ali poleti hlajene pod 26oC
Neklimatizirana / klimatizirana stavba	1. - Neklimatizirana stavba in stavba brez procesov z večjim nastajanjem vodne pare

**Difuzijsko navlaževanje - zima - projektne vrednosti**

Temperatura zunaj (°C)	-7,0	Računska temperatura zunaj (°C)	5,0
Temperatura notri (°C)	20,0		
Relativna vlažnost zunaj (%)	90		
Relativna vlažnost notri (%)	65		

**Difuzijsko sušenje - poletje - projektne vrednosti**

Temperatura zunaj (°C)	18,0
Temperatura notri (°C)	18,0
Relativna vlažnost zunaj (%)	65
Relativna vlažnost notri (%)	65



Zunanja površinska upornost $R_{se}$ (m <sup>2</sup> K/W)	0,13
Notranja površinska upornost $R_{si}$ (m <sup>2</sup> K/W)	0,04

Št. plasti	Šifra	Material	Debelina	Gostota	Specifična toplota	Toplotna prevodnost	Difuzijska upornost vodni pari	HI	Tip
					C	$\lambda$	$\mu$		
			m	kg/m <sup>3</sup>	J/kg K	W/m K	-		
1	170.3	ilovnat omet	0,0250	2.000	1.000	0,950	10,5		5
2	63.2	les - smreka, bor	0,0250	500	2.090	0,140	70,0		1
3	170.2	slamnate bale (pokončno)	0,1700	90	2.000	0,056	1,0		5
4	63.2	les - smreka, bor	0,0250	500	2.090	0,140	70,0		1
5	170.1	apnen omet	0,0250	1.680	970	0,730	15,0		5

Tip: 1 - material po pravilniku, 2 - material po standardu, 3 - material z izjavo o skladnosti, 4 - material s sistemskim certifikatom ETA, 5 - material brez 1-4

Pri sestavi sklopa je uporabljen material, ki ni sestavni del standardne knjižnice materialov.

Račun toplotne prehodnosti, analiza toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastno KS

 <b>TEDI</b>	Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodézijo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente Program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Pravilniku o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 13211-1 in SIST 10218:2002	
---	---	---

**REZULTATI : TOPLOTNA PREHODNOST**

Temperature na stikih plasti v °C

Številka plasti	Notri	Zunaj
1	19,5	19,4
2	19,4	18,6
3	18,6	6,0
4	6,0	5,3
5	5,3	5,2

$$U_{\text{računani}} = 0,276 \text{ (W/m}^2\text{K)} < U_{\text{max}} = 0,280 \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

**KS ODGOVARJA**

**REZULTATI : DIFUZIJA VODNE PARE**



Temperaturam pripadajoči tlaki nasičenja vodne pare  $p'$  (Pa)

Na stikih plasti		
Številka plasti	Notri	Zunaj
1	2.260,1	2.244,8
2	2.244,8	2.143,8
3	2.143,8	938,0
4	938,0	890,9
5	890,9	882,2
Zunanji zrak	872,0	

Relativni tlaki vodne pare v zraku (za pripadajočo relativno vlažnost, Pa)

Notranji zrak	1.519,1
Zunanji zrak	784,8

Račun toplotne prehodnosti, analiza toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS

 <b>TEDI</b> Program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Pravilniku o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 1025:2002	Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodetiko, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente Program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Pravilniku o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 1025:2002	
---	--	---

Zunanja stena	
Vrsta konstrukcijskega sklopa po 9. členu Pravilnika	1. - Zunanje stene in stene proti neogrevanim prostorom, tla nad neogrevanim prostorom ali zunanjim zrakom
Vrsta stavbe po 9. členu Pravilnika	1. - Stavbe s temperaturo notranjega zraka pozimi nad 19oC ali poleti hlajene pod 26oC
Neklimatizirana / klimatizirana stavba	1. - Neklimatizirana stavba in stavba brez procesov z večjim nastajanjem vodne pare

*Difuzijsko navlaževanje - zima - projektne vrednosti*

Temperatura zunaj (°C)	-7,0	Računska temperatura zunaj (°C)	5,0
Temperatura notri (°C)	20,0		
Relativna vlažnost zunaj (%)	90		
Relativna vlažnost notri (%)	65		

*Difuzijsko sušenje - poletje - projektne vrednosti*



Temperatura zunaj (°C)	18,0
Temperatura notri (°C)	18,0
Relativna vlažnost zunaj (%)	65
Relativna vlažnost notri (%)	65

Zunanja površinska upornost $R_{se}$ (m <sup>2</sup> K/W)	0,13
Notranja površinska upornost $R_{si}$ (m <sup>2</sup> K/W)	0,04

Št. plasti	Šifra	Material	Debelina	Gostota	Specifična toplota	Toplotna prevodnost	Difuzijska upornost vodni pari	HI	Tip
					C	$\lambda$	$\mu$		
			m	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	J/kg K	W/m K	-		
1	170.3	ilovnat omet	0,0250	2.000	1.000	0,850	10,5		5
2	83.2	les - smreka, bor	0,0250	500	2.090	0,140	70,0		1
3	170.4	slamnate bale (ležeče)	0,1820	90	2.000	0,060	1,4		5
4	83.2	les - smreka, bor	0,0250	500	2.090	0,140	70,0	*	1
5	170.1	apnen omet	0,0250	1.660	970	0,730	15,0		5

Tip: 1 - material po pravilniku, 2 - material po standardu, 3 - material z izjavo o skladnosti, 4 - material s sistemskim certifikatom ETA, 5 - material brez 1-4  
 \* - sloji med izbrano hidroizolacijo in zunanjim okoljem se pri računu toplotne prehodnosti in difuziji vodne pare ne upoštevajo  
 Pri sestavi sklopa je uporabljen material, ki ni sestavni del standardne knjižnice materialov.

Račun toplotne prehodnosti, analiza toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS

 <b>TEDI</b>	Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodézijo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente Program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Pravilniku o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 10218-2:2002	
---	---	---

**REZULTATI : TOPLOTNA PREHODNOST**

Temperature na stikih plasti v °C

Številka plasti	Notri	Zunaj
1	19,5	19,3
2	19,3	18,6
3	18,6	5,9
4	5,9	5,2

$$U_{\text{izračunani}} = 0,279 \text{ (W/m}^2\text{K)} < U_{\text{max}} = 0,280 \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

**KS ODGOVARJA**

**REZULTATI : DIFUZIJA VODNE PARE**

Temperaturam pripadajoči tlaki nasičenja vodne pare  $p'$  (Pa)


Notranji zrak	2.337,0	
Na stikih plasti		
Številka plasti	Notri	Zunaj
1	2.259,4	2.243,9
2	2.243,9	2.141,9
3	2.141,9	929,4
4	929,4	882,3
Zunanji zrak	872,0	

Relativni tlaki vodne pare v zraku (za pripadajočo relativno vlažnost, Pa)

Notranji zrak	1.519,1
Zunanji zrak	784,8



Račun toplotne prehodnosti, analiza toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastno KS

 <b>TEDI</b>	Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodetijo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente Program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Pravilniku o toplotni zaščiti in učinkovitosti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 1025:2002	<b>FRAGMAT™</b>
---	---	-----------------

<b>Zunanja stena</b>	
Vrsta konstrukcijskega sklopa po 9. členu Pravilnika	1. - Zunanje stene in stene proti neogrevanim prostorom, tla nad neogrevanim prostorom ali zunanjim zrakom
Vrsta stavbe po 9. členu Pravilnika	1. - Stavbe s temperaturo notranjega zraka pozimi nad 19oC ali poleti hlajene pod 26oC
Neklimatizirana / klimatizirana stavba	1. - Neklimatizirana stavba in stavba brez procesov z večjim nastajanjem vodne pare

*Difuzijsko navlaževanje - zima - projektne vrednosti*

Temperatura zunaj (°C)	-7,0	Računska temperatura zunaj (°C)	5,0
Temperatura notri (°C)	20,0		
Relativna vlažnost zunaj (%)	90		
Relativna vlažnost notri (%)	65		

*Difuzijsko sušenje - poletje - projektne vrednosti*

Temperatura zunaj (°C)	18,0
Temperatura notri (°C)	18,0
Relativna vlažnost zunaj (%)	65
Relativna vlažnost notri (%)	65



Zunanja površinska upornost $R_{se}$ (m <sup>2</sup> K/W)	0,13
Notranja površinska upornost $R_{si}$ (m <sup>2</sup> K/W)	0,04

Št. plasti	Šifra	Material	Debelina	Gostota	Specifična toplota	Toplotna prevodnost	Difuzijska upornost vodni pari	HI	Tip
					C	$\lambda$	$\mu$		
			m	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	J/kg K	W/m K	-		
1	170.3	ilovnat omet	0,0250	2.000	1.000	0,950	10,5		5
2	75.1	PVC homogen	0,0020	1.400	960	0,230	10000,0		1
3	170.11	masivna ilovica	0,4000	2.000	1.000	0,950	10,5		5
4	75.1	PVC homogen	0,0020	1.400	960	0,230	10000,0		1
5	170.1	apnen omet	0,0250	1.660	970	0,730	15,0		5

Tip: 1 - material po pravilniku, 2 - material po standardu, 3 - material z izjavo o skladnosti, 4 - material s sistemskim certifikatom ETA, 5 - material brez 1-4

Pri sestavi sklopa je uporabljen material, ki ni sestavni del standardne knjižnice materialov.

Račun toplotne prehodnosti, analiza toplotnega prehoda in difuzije vodne pare sklozi večplastne KS

 <b>TEDI</b>	Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodetiko, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente Program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare sklozi večplastne KS po Pravilniku o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 13211-1 in SIST 10218:2002	
---	--	---

**REZULTATI : TOPLOTNA PREHODNOST**

Temperature na stikih plasti v °C

Številka plasti	Notri	Zunaj
1	17,1	16,5
2	16,5	16,3
3	16,3	6,9
4	6,9	6,7
5	6,7	5,9

$$U_{\text{računani}} = 1,495 \text{ (W/m}^2\text{K)} > U_{\text{max}} = 0,280 \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

**KS NE ODGOVARJA**

**REZULTATI : DIFUZIJA VODNE PARE**



Temperaturam pripadajoči tlaki nasičenja vodne pare  $p'$  (Pa)

Notranji zrak	2.337,0	
Na stikih plasti		
Številka plasti	Notri	Zunaj
1	1.947,5	1.875,5
2	1.875,5	1.852,3
3	1.852,3	991,6
4	991,6	978,5
5	978,5	928,3
Zunanji zrak	872,0	

Relativni tlaki vodne pare v zraku (za pripadajočo relativno vlažnost, Pa)

Notranji zrak	1.519,1
Zunanji zrak	784,8

Račun toplotne prehodnosti, analiza toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS

 <b>TEDI</b> <small>Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodetijo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente</small> <small>Program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Pravilniku o toplotni zaščiti in učinkovitosti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 1025:2002</small>	
--	---

<b>Zunanja stena</b>	
Vrsta konstrukcijskega sklopa po 9. členu Pravilnika	1. - Zunanje stene in stene proti neogrevanim prostorom, tla nad neogrevanim prostorom ali zunanjim zrakom
Vrsta stavbe po 9. členu Pravilnika	1. - Stavbe s temperaturo notranjega zraka pozimi nad 19oC ali poleti hlajene pod 26oC
Neklimatizirana / klimatizirana stavba	1. - Neklimatizirana stavba in stavba brez procesov z večjim nastajanjem vodne pare

*Difuzijsko navlaževanje - zima - projektne vrednosti*

Temperatura zunaj (°C)	-7,0	Računska temperatura zunaj (°C)	5,0
Temperatura notri (°C)	20,0		
Relativna vlažnost zunaj (%)	90		
Relativna vlažnost notri (%)	65		

*Difuzijsko sušenje - poletje - projektne vrednosti*

Temperatura zunaj (°C)	18,0
Temperatura notri (°C)	18,0
Relativna vlažnost zunaj (%)	65
Relativna vlažnost notri (%)	65



Zunanja površinska upornost $R_{se}$ (m <sup>2</sup> K/W)	0,13
Notranja površinska upornost $R_{si}$ (m <sup>2</sup> K/W)	0,04

Št. plasti	Šifra	Material	Debelina	Gostota	Specifična toplota	Toplotna prevodnost	Difuzijska upornost vodni pari	HI	Tip
			m	kg/m <sup>3</sup>	J/kg K	W/m K	-		
1	170.3	ilovnat omet	0,0250	2.000	1.000	0,850	10,5		5
2	75.1	PVC homogen	0,0020	1.400	960	0,230	10000,0		1
3	35.0	perlit, nasut	0,1700	100	840	0,050	1,3		1
4	75.1	PVC homogen	0,0020	1.400	960	0,230	10000,0		1
5	170.1	apnen omet	0,0250	1.660	970	0,730	15,0		5

Tip: 1 - material po pravilniku, 2 - material po standardu, 3 - material z izjavo o skladnosti, 4 - material s sistemskim certifikatom ETA, 5 - material brez 1-4

Pri sestavi sklopa je uporabljen material, ki ni sestavni del standardne knjižnice materialov.

Račun toplotne prehodnosti, analiza toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastno KS

 <b>TEDI</b>	Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodézijo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente Program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Pravilniku o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 10218:2002	
---	---	---

**REZULTATI : TOPLOTNA PREHODNOST**

Temperature na stikih plasti v °C

Številka plasti	Notri	Zunaj
1	19,5	19,4
2	19,4	19,3
3	19,3	5,3
4	5,3	5,3
5	5,3	5,2

$$U_{\text{računani}} = 0,274 \text{ (W/m}^2\text{K)} < U_{\text{max}} = 0,280 \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

**KS ODGOVARJA**

**REZULTATI : DIFUZIJA VODNE PARE**



Temperaturam pripadajoči tlaki nasičenja vodne pare  $p'$  (Pa)

Notranji zrak	2.337,0	
Na stikih plasti		
Številka plasti	Notri	Zunaj
1	2.260,8	2.245,5
2	2.245,5	2.240,5
3	2.240,5	893,0
4	893,0	890,8
5	890,8	882,1
Zunanji zrak	872,0	

Relativni tlaki vodne pare v zraku (za pripadajočo relativno vlažnost, Pa)

Notranji zrak	1.519,1
Zunanji zrak	784,8

Račun toplotne prehodnosti, analiza toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastno KS

 <b>TEDI</b> Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodetijo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente Program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Pravilniku o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 1025:2002	
---	---

<b>Zunanja stena</b>	
Vrsta konstrukcijskega sklopa po 9. členu Pravilnika	1. - Zunanje stene in stene proti neogrevanim prostorom, tla nad neogrevanim prostorom ali zunanjim zrakom
Vrsta stavbe po 9. členu Pravilnika	1. - Stavbe s temperaturo notranjega zraka pozimi nad 19oC ali poleti hlajene pod 26oC
Neklimatizirana / klimatizirana stavba	1. - Neklimatizirana stavba in stavba brez procesov z večjim nastajanjem vodne pare

*Difuzijsko navlaževanje - zima - projektne vrednosti*

Temperatura zunaj (°C)	-7,0	Računska temperatura zunaj (°C)	5,0
Temperatura notri (°C)	20,0		
Relativna vlažnost zunaj (%)	90		
Relativna vlažnost notri (%)	65		

*Difuzijsko sušenje - poletje - projektne vrednosti*

Temperatura zunaj (°C)	18,0
Temperatura notri (°C)	18,0
Relativna vlažnost zunaj (%)	65
Relativna vlažnost notri (%)	65


Zunanja površinska upornost $R_{se}$ (m <sup>2</sup> K/W)	0,13
Notranja površinska upornost $R_{si}$ (m <sup>2</sup> K/W)	0,04

Št. plasti	Šifra	Material	Debelina	Gostota	Specifična toplota	Toplotna prevodnost	Difuzijska upornost vodni pari	HI	Tip
					C	$\lambda$	$\mu$		
			m	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	J/kg K	W/m K	-		
1	170.10	les cedra-malta z žagovino	0,1000	869	1.838	0,437	70,0		5
2	170.8	les cedra-žagovina	0,3700	425	2.090	0,125	70,0		5
3	170.10	les cedra-malta z žagovino	0,1000	869	1.838	0,437	70,0		5

Tip: 1 - material po pravilniku, 2 - material po standardu, 3 - material z izjavo o skladnosti, 4 - material s sistemskim certifikatom ETA, 5 - material brez 1-4

Pri sestavi sklopa je uporabljen material, ki ni sestavni del standardne knjižnice materialov.

Račun toplotne prehodnosti, analiza toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastno KS

 <b>TEDI</b>	Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodézijo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente Program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Pravilniku o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 13211-1 in SIST 10218:2002	<b>FRAGMAT</b> <sup>®</sup>
---	---	-----------------------------

**REZULTATI : TOPLOTNA PREHODNOST**

Temperature na stikih plasti v °C

Številka plasti	Notri	Zunaj
1	19,5	18,5
2	18,5	6,1
3	6,1	5,2

$U_{\text{izračunani}} = 0,279 \text{ (W/m}^2\text{K)} < U_{\text{max}} = 0,280 \text{ (W/m}^2\text{K)}$

**KS ODGOVARJA**

**REZULTATI : DIFUZIJA VODNE PARE**

Temperaturam pripadajoči tlaki nasičenja vodne pare  $p'$  (Pa)

Notranji zrak	2.337,0	
Na stikih plasti		
Številka plasti	Notri	Zunaj
1	2.259,4	2.128,6
2	2.128,6	943,0
3	943,0	882,3
Zunanji zrak	872,0	

Relativni tlaki vodne pare v zraku (za pripadajočo relativno vlažnost, Pa)

Notranji zrak	1.519,1
Zunanji zrak	784,8

Gostota difuzijskega toka vodne pare

$q_{m1}$		kg/m <sup>2</sup> h
$q_{m2}$		kg/m <sup>2</sup> h

Izračun količine kondenzirane vodne pare

$q_{m'}$		kg/m <sup>2</sup> h
$q_{mz'}$		kg/m <sup>2</sup> h

Račun difuzije vodne pare ni potreben, ker v KS ne pride do nastanka kondenza!

$X_i$		%
$X_{\text{max}}$		%

$X_{\text{sat}}$		%
$X_{\text{st}}$		%

Izsuševanje KS



Čas potreben za izsušitev KS		dan
Dotžina obdobja izsuševanja		dan

**KS ODGOVARJA**

**REZULTATI : TOPLOTNA STABILNOST**

Temperaturno dušenje	7.285,85	
Temperaturna zakasnitev	31,05	ura

Račun toplotne prehodnosti, analiza toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastno KS

 <b>TEDI</b> Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodetijo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente Program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Pravilniku o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 1025:2002	
---	---

Zunanja stena	
Vrsta konstrukcijskega sklopa po 9. členu Pravilnika	1. - Zunanje stene in stene proti neogrevanim prostorom, tla nad neogrevanim prostorom ali zunanjim zrakom
Vrsta stavbe po 9. členu Pravilnika	1. - Stavbe s temperaturo notranjega zraka pozimi nad 19oC ali poleti hlajene pod 26oC
Neklimatizirana / klimatizirana stavba	1. - Neklimatizirana stavba in stavba brez procesov z večjim nastajanjem vodne pare

*Difuzijsko navlaževanje - zima - projektne vrednosti*

Temperatura zunaj (°C)	-7,0	Računska temperatura zunaj (°C)	5,0
Temperatura notri (°C)	20,0		
Relativna vlažnost zunaj (%)	90		
Relativna vlažnost notri (%)	65		

*Difuzijsko sušenje - poletje - projektne vrednosti*

Temperatura zunaj (°C)	18,0
Temperatura notri (°C)	18,0
Relativna vlažnost zunaj (%)	65
Relativna vlažnost notri (%)	65



Zunanja površinska upornost $R_{se}$ (m <sup>2</sup> K/W)	0,13
Notranja površinska upornost $R_{si}$ (m <sup>2</sup> K/W)	0,04

Št. plasti	Šifra	Material	Debelina	Gostota	Specifična toplota	Toplotna prevodnost	Difuzijska upornost vodni pari	HI	Tip
					C	$\lambda$	$\mu$		
			m	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	J/kg K	W/m K	-		
1	170.10	les cedra-malta z žagovino	0,2000	869	1.838	0,437	70,0		5
2	170.2	slamnate bale (pokončno)	0,1400	90	2.000	0,056	1,0		5
3	170.10	les cedra-malta z žagovino	0,2000	869	1.838	0,437	70,0		5

Tip: 1 - material po pravilniku, 2 - material po standardu, 3 - material z izjavo o skladnosti, 4 - material s sistemskim certifikatom ETA, 5 - material brez 1-4

Pri sestavi sklopa je uporabljen material, ki ni sestavni del standardne knjižnice materialov.

Račun toplotne prehodnosti, analiza toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastno KS

 <b>TEDI</b> <small>Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodézijo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente</small> <small>Program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Pravilniku o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 13211-1 in SIST 10218:2002</small>	
--	---

**REZULTATI : TOPLOTNA PREHODNOST**

Temperature na stikih plasti v °C

Številka plasti	Notri	Zunaj
1	19,5	17,5
2	17,5	7,1
3	7,1	5,2

$$U_{\text{izračunani}} = 0,279 \text{ (W/m}^2\text{K)} < U_{\text{max}} = 0,280 \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

**KS ODGOVARJA**

**REZULTATI : DIFUZIJA VODNE PARE**

Temperaturam pripadajoči tlaki nasičenja vodne pare  $p'$  (Pa)

Na stikih plasti		
Številka plasti	Notri	Zunaj
1	2.259,3	2.004,5
2	2.004,5	1.006,6
3	1.006,6	882,3
Zunanji zrak	872,0	

Relativni tlaki vodne pare v zraku (za pripadajočo relativno vlažnost, Pa)

Notranji zrak	1.519,1
Zunanji zrak	784,8

Gostota difuzijskega toka vodne pare

$q_{m1}$	2,264896E-05	kg/m <sup>2</sup> h
$q_{m2}$	9,903576E-06	kg/m <sup>2</sup> h

Izračun količine kondenzirane vodne pare

$q_{m'}$	1,274538E-05	kg/m <sup>2</sup> h
$q_{mz'}$	1,835334E-02	kg/m <sup>2</sup> h

Kondenz nastaja v 2. sloju, material slamnate bale (pokončno)

V tem materialu ne sme priti do nastanka kondenza!

$X_c$		%
$X_{max}$		%

$X_{sat}$		%
$X_{st}$		%

Izsuševanje KS

Čas potreben za izsušitev KS		dan
Dotžina obdobja izsuševanja		dan



**KS NE ODGOVARJA**

**REZULTATI : TOPLOTNA STABILNOST**

Temperaturno dušenje	1.845,82	
Temperaturna zakasnitev	22,92	ura



Račun toplotne prehodnosti, analiza toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastno KS

 <b>TEDI</b> Program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Pravilniku o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 1025:2002	Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodetijo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente Program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Pravilniku o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 1025:2002	
---	--	---

Zunanja stena	
Vrsta konstrukcijskega sklopa po 9. členu Pravilnika	1. - Zunanje stene in stene proti neogrevanim prostorom, tla nad neogrevanim prostorom ali zunanjim zrakom
Vrsta stavbe po 9. členu Pravilnika	1. - Stavbe s temperaturo notranjega zraka pozimi nad 19oC ali poleti hlajene pod 26oC
Neklimatizirana / klimatizirana stavba	1. - Neklimatizirana stavba in stavba brez procesov z večjim nastajanjem vodne pare

*Difuzijsko navlaževanje - zima - projektne vrednosti*

Temperatura zunaj (°C)	-7,0	Računska temperatura zunaj (°C)	5,0
Temperatura notri (°C)	20,0		
Relativna vlažnost zunaj (%)	90		
Relativna vlažnost notri (%)	65		

*Difuzijsko sušenje - poletje - projektne vrednosti*

Temperatura zunaj (°C)	18,0
Temperatura notri (°C)	18,0
Relativna vlažnost zunaj (%)	65
Relativna vlažnost notri (%)	65



Zunanja površinska upornost $R_{se}$ (m <sup>2</sup> K/W)	0,13
Notranja površinska upornost $R_{si}$ (m <sup>2</sup> K/W)	0,04

Št. plasti	Šifra	Material	Debelina	Gostota	Specifična toplota	Toplotna prevodnost	Difuzijska upornost vodni pari	HI	Tip
					C	$\lambda$	$\mu$		
			m	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	J/kg K	W/m K	-		
1	170.3	ilovnat omet	0,0250	2.000	1.000	0,850	10,5		5
2	170.5	hempcrete	0,4700	627	1.340	0,138	5,5		5
3	170.1	apnen omet	0,0250	1.660	970	0,730	15,0		5

Tip: 1 - material po pravilniku, 2 - material po standardu, 3 - material z izjavo o skladnosti, 4 - material s sistemskim certifikatom ETA, 5 - material brez 1-4

Pri sestavi sklopa je uporabljen material, ki ni sestavni del standardne knjižnice materialov.

Račun toplotne prehodnosti, analiza toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastno KS

 <b>TEDI</b> <small>Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodetiko, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente</small> <small>Program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Pravilniku o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 13211-1 in SIST 10218:2002</small>	
--	---

**REZULTATI : TOPLOTNA PREHODNOST**

Temperature na stikih plasti v °C

Številka plasti	Notri	Zunaj
1	19,5	19,4
2	19,4	5,3
3	5,3	5,2

$U_{\text{izračunani}} = 0,275 \text{ (W/m}^2\text{K)} < U_{\text{max}} = 0,280 \text{ (W/m}^2\text{K)}$

**KS ODGOVARJA**

**REZULTATI : DIFUZIJA VODNE PARE**

Temperaturam pripadajoči tlaki nasičenja vodne pare  $p'$  (Pa)

Na stikih plasti		
Številka plasti	Notri	Zunaj
1	2.260,4	2.245,2
2	2.245,2	890,9
3	890,9	882,1
Zunanji zrak	872,0	

Relativni tlaki vodne pare v zraku (za pripadajočo relativno vlažnost, Pa)

Notranji zrak	1.519,1
Zunanji zrak	784,8

Gostota difuzijskega toka vodne pare

$q_{m1}$	kg/m <sup>2</sup> h
$q_{m2}$	kg/m <sup>2</sup> h

Izračun količine kondenzirane vodne pare

$q_{k1}$	kg/m <sup>2</sup> h
$q_{k2}$	kg/m <sup>2</sup> h

Račun difuzije vodne pare ni potreben, ker v KS ne pride do nastanka kondenza!

$X_i$	%
$X_{\text{max}}$	%

$X_{\text{gr}}$	%
$X_{\text{st}}$	%

Izsuševanje KS



Čas potreben za izsušitev KS	dan
Dotžina obdobja izsuševanja	dan

**KS ODGOVARJA**

**REZULTATI : TOPLOTNA STABILNOST**

Temperaturno dušenje	3.709,46	
Temperaturna zakasnitev	27,96	ura

Račun toplotne prehodnosti, analiza toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastno KS

 <b>TEDI</b> Program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Pravilniku o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 1025:2002	Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodetijo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente Program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Pravilniku o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 1025:2002	
---	--	---

Zunanja stena	
Vrsta konstrukcijskega sklopa po 9. členu Pravilnika	1. - Zunanje stene in stene proti neogrevanim prostorom, tla nad neogrevanim prostorom ali zunanjim zrakom
Vrsta stavbe po 9. členu Pravilnika	1. - Stavbe s temperaturo notranjega zraka pozimi nad 19oC ali poleti hlajene pod 26oC
Neklimatizirana / klimatizirana stavba	1. - Neklimatizirana stavba in stavba brez procesov z večjim nastajanjem vodne pare

*Difuzijsko navlaževanje - zima - projektne vrednosti*

Temperatura zunaj (°C)	-7,0	Računska temperatura zunaj (°C)	5,0
Temperatura notri (°C)	20,0		
Relativna vlažnost zunaj (%)	90		
Relativna vlažnost notri (%)	65		

*Difuzijsko sušenje - poletje - projektne vrednosti*

Temperatura zunaj (°C)	18,0
Temperatura notri (°C)	18,0
Relativna vlažnost zunaj (%)	65
Relativna vlažnost notri (%)	65



Zunanja površinska upornost $R_{se}$ ( $m^2K/W$ )	0,13
Notranja površinska upornost $R_{si}$ ( $m^2K/W$ )	0,04

Št. plasti	Šifra	Material	Debelina	Gostota	Specifična toplota	Toplotna prevodnost	Difuzijska upornost vodni pari	HI	Tip
			m	kg/m <sup>3</sup>	J/kg K	W/m K	-		
1	170.3	ilovnat omet	0,0250	2.000	1.000	0,850	10,5		5
2	170.6	konopljin zidak	0,6400	1.171	1.113	0,190	11,0		5
3	170.1	apnen omet	0,0250	1.660	970	0,730	15,0		5

Tip: 1 - material po pravilniku, 2 - material po standardu, 3 - material z izjavo o skladnosti, 4 - material s sistemskim certifikatom ETA, 5 - material brez 1-4

Pri sestavi sklopa je uporabljen material, ki ni sestavni del standardne knjižnice materialov.

Račun toplotne prehodnosti, analiza toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastno KS

 <b>TEDI</b> <small>Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodézijo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente</small> <small>Program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Pravilniku o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 13211-1 in SIST 10218:2002</small>	
--	---

**REZULTATI : TOPLOTNA PREHODNOST**

Temperature na stikih plasti v °C

Številka plasti	Notri	Zunaj
1	19,5	19,3
2	19,3	5,3
3	5,3	5,2

$U_{\text{izračunani}} = 0,278 \text{ (W/m}^2\text{K)} < U_{\text{max}} = 0,280 \text{ (W/m}^2\text{K)}$

**KS ODGOVARJA**

**REZULTATI : DIFUZIJA VODNE PARE**

Temperaturam pripadajoči tlaki nasičenja vodne pare  $p'$  (Pa)

Na stikih plasti		
Številka plasti	Notri	Zunaj
1	2.259,8	2.244,2
2	2.244,2	891,1
3	891,1	882,2
Zunanji zrak	872,0	
Notranji zrak	2.337,0	

Relativni tlaki vodne pare v zraku (za pripadajočo relativno vlažnost, Pa)

Notranji zrak	1.519,1
Zunanji zrak	784,8

Gostota difuzijskega toka vodne pare

$q_{m1}$		kg/m <sup>2</sup> h
$q_{m2}$		kg/m <sup>2</sup> h

Izračun količine kondenzirane vodne pare

$q_{k1}$		kg/m <sup>2</sup> h
$q_{k2}$		kg/m <sup>2</sup> h

Račun difuzije vodne pare ni potreben, ker v KS ne pride do nastanka kondenza!

$X_i$		%
$X_{\text{max}}$		%

$X_{\text{gr}}$		%
$X_{\text{st}}$		%

Izsuševanje KS


Čas potreben za izsušitev KS		dan
Dotčina obdobja izsuševanja		dan

**KS ODGOVARJA**

**REZULTATI : TOPLOTNA STABILNOST**

Temperaturno dušenje	69.690,68	
Temperaturna zakasnitev	39,97	ura

Račun toplotne prehodnosti, analiza toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS

 <b>TEDI</b> Program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Pravilniku o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 1025:2002	Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodetijo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente Program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Pravilniku o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 1025:2002	<b>FRAGMAT™</b>
---	--	-----------------

<b>Zunanja stena</b>	
Vrsta konstrukcijskega sklopa po 9. členu Pravilnika	1. - Zunanje stene in stene proti neogrevanim prostorom, tla nad neogrevanim prostorom ali zunanjim zrakom
Vrsta stavbe po 9. členu Pravilnika	1. - Stavbe s temperaturo notranjega zraka pozimi nad 19oC ali poleti hlajene pod 26oC
Neklimatizirana / klimatizirana stavba	1. - Neklimatizirana stavba in stavba brez procesov z večjim nastajanjem vodne pare

*Difuzijsko navlaževanje - zima - projektne vrednosti*

Temperatura zunaj (°C)	-7,0	Računska temperatura zunaj (°C)	5,0
Temperatura notri (°C)	20,0		
Relativna vlažnost zunaj (%)	90		
Relativna vlažnost notri (%)	65		

*Difuzijsko sušenje - poletje - projektne vrednosti*

Temperatura zunaj (°C)	18,0
Temperatura notri (°C)	18,0
Relativna vlažnost zunaj (%)	65
Relativna vlažnost notri (%)	65



Zunanja površinska upornost $R_{se}$ (m <sup>2</sup> K/W)	0,13
Notranja površinska upornost $R_{si}$ (m <sup>2</sup> K/W)	0,04

Št. plasti	Šifra	Material	Debelina	Gostota	Specifična toplota	Toplotna prevodnost	Difuzijska upornost vodni pari	HI	Tip
			m	kg/m <sup>3</sup>	J/kg K	W/m K	-		
1	170.3	ilovnat omet	0,0250	2.000	1.000	0,850	10,5		5
2	2.1	mrežasti opečni votlak (gostota opeke z votlinami)	0,2900	1.400	920	0,810	6,0		1
3	130.3	DEMIT EPS PLUS-plošče z luknjami	0,1050	15	1.260	0,036	10,0		3
4	170.1	apnen omet	0,0250	1.660	970	0,730	15,0		5

Tip: 1 - material po pravilniku, 2 - material po standardu, 3 - material z izjavo o skladnosti, 4 - material s sistemskim certifikatom ETA, 5 - material brez 1-4

Pri sestavi sklopa je uporabljen material, ki ni sestavni del standardne knjižnice materialov.

Račun toplotne prehodnosti, analiza toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastno KS

 <b>TEDI</b> <small>Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodetiko, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente</small> <small>Program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Pravilniku o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 13211-1 in SIST 10218:2002</small>	
--	---

**REZULTATI : TOPLOTNA PREHODNOST**

Temperature na stikih plasti v °C

Stevilka plasti	Notri	Zunaj
1	19,5	19,4
2	19,4	17,4
3	17,4	5,3
4	5,3	5,2

$U_{izračunani} = 0,276 \text{ (W/m}^2\text{K)} < U_{max} = 0,280 \text{ (W/m}^2\text{K)}$

**KS ODGOVARJA**

**REZULTATI : DIFUZIJA VODNE PARE**

Temperaturam pripadajoči tlaki nasičenja vodne pare  $p'$  (Pa)

Notranji zrak	2.337,0	
<i>Na stikih plasti</i>		
Stevilka plasti	Notri	Zunaj
1	2.260,1	2.244,8
2	2.244,8	1.984,7
3	1.984,7	890,9
4	890,9	882,2
Zunanji zrak	872,0	

Relativni tlaki vodne pare v zraku (za pripadajočo relativno vlažnost, Pa)

Notranji zrak	1.519,1
Zunanji zrak	784,8

Gostota difuzijskega toka vodne pare

$q_{m1}$	kg/m <sup>2</sup> h
$q_{m2}$	kg/m <sup>2</sup> h

Izračun količine kondenzirane vodne pare

$q_{m'}$	kg/m <sup>2</sup> h
$q_{mz'}$	kg/m <sup>2</sup> h

Račun difuzije vodne pare ni potreben, ker v KS ne pride do nastanka kondenza!

$X_c$	%
$X_{max}$	%

$X_{crit}$	%
$X_{st}$	%

Izsuševanje KS

Čas potreben za izsušitev KS	dan
Dotčina obdobja izsuševanja	dan



**KS ODGOVARJA**

**REZULTATI : TOPLOTNA STABILNOST**

Temperaturno dušenje	408,23	
Temperaturna zakasnitev	12,42	ura

**PRILOGA A.3: REZULTATI IZ PROGRAMA TEDI Z REŠITVIJO ZA KS-je S  
PREVELIKO TOPLOTNO PREHODNOSTJO**

Račun toplotne prehodnosti, analiza toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS

 <b>TEDI</b> <small>Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodetijo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente          Program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Pravilniku o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 10212:2002</small>	
---	---

<b>Zunanja stena</b>	
Vrsta konstrukcijskega sklopa po 9. členu Pravilnika	1. - Zunanje stene in stene proti neogrevanim prostorom, tla nad neogrevanim prostorom ali zunanjim zrakom
Vrsta stavbe po 9. členu Pravilnika	1. - Stavbe s temperaturo notranjega zraka pozimi nad 19oC ali poleti hlajene pod 28oC
Neklimatizirana / klimatizirana stavba	1. - Neklimatizirana stavba in stavba brez procesov z večjim nastajanjem vodne pare

**Difuzijsko navlaževanje - zima - projektne vrednosti**

Temperatura zunaj (°C)	-7,0	Računska temperatura zunaj (°C)	5,0
Temperatura notri (°C)	20,0		
Relativna vlažnost zunaj (%)	90		
Relativna vlažnost notri (%)	65		

**Difuzijsko sušenje - poletje - projektne vrednosti**

Temperatura zunaj (°C)	18,0
Temperatura notri (°C)	18,0
Relativna vlažnost zunaj (%)	65
Relativna vlažnost notri (%)	65

Zunanja površinska upornost $R_{se}$ (m <sup>2</sup> K/W)	0,13
Notranja površinska upornost $R_{si}$ (m <sup>2</sup> K/W)	0,04


Št. plasti	Šifra	Material	Debelina	Gostota	Specifična toplota	Toplotna prevodnost	Difuzijska upornost vodni pari	HI	Tip
				$\rho$	C	$\lambda$	$\mu$		
			m	kg/m <sup>3</sup>	J/kg K	W/m K	-		
1	170.3	ilovnat omet	0,0250	2.000	1.000	0,950	10,5		5
2	75.1	PVC homogen	0,0020	1.400	960	0,230	10000,0		1
3	170.11	masivna ilovica	0,3000	2.000	1.000	0,950	10,5		5
4	75.1	PVC homogen	0,0020	1.400	960	0,230	10000,0		1
5	75.1	PVC homogen	0,0020	1.400	960	0,230	10000,0		1
6	35.0	perlit, nasut	0,1500	100	840	0,050	1,3		1
7	75.1	PVC homogen	0,0020	1.400	960	0,230	10000,0		1
8	170.1	apnen omet	0,0250	1.660	970	0,730	15,0		5

Tip: 1 - material po pravilniku, 2 - material po standardu, 3 - material z izjavo o skladnosti, 4 - material s sistemskim certifikatom ETA, 5 - material brez 1-4

Pri sestavi sklopa je uporabljen material, ki ni sestavni del standardne knjižnice materialov.



Račun toplotne prehodnosti, analiza toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS

	<b>TEDI</b>	Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodetiko, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente Program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Pravilniku o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 10219:2002	<b>FRAGMAT™</b>
---	-------------	---	-----------------

**REZULTATI : TOPLOTNA PREHODNOST**

Temperature na stikih plasti v °C

Številka plasti	Notri	Zunaj
1	19,5	19,3
2	19,3	19,3
3	19,3	18,0
4	18,0	17,9
5	17,9	17,9
6	17,9	5,3
7	5,3	5,3
8	5,3	5,2

$U_{izračunani} =$	<b>0,279</b>	(W/m <sup>2</sup> K)	<	$U_{max} =$	<b>0,280</b>	(W/m <sup>2</sup> K)
--------------------	--------------	----------------------	---	-------------	--------------	----------------------

**KS ODGOVARJA**

**REZULTATI : DIFUZIJA VODNE PARE**

Temperaturam pripadajoči tlaki nasičenja vodne pare p' (Pa)



Notranji zrak	2.337,0	
	<i>Na stikih plasti</i>	
Številka plasti	Notri	Zunaj
1	2.259,2	2.243,8
2	2.243,8	2.238,7
3	2.238,7	2.061,2
4	2.061,2	2.056,5
5	2.056,5	2.051,8
6	2.051,8	893,4
7	893,4	891,2
8	891,2	882,3
Zunanji zrak	872,0	

Relativni tlaki vodne pare v zraku (za pripadajočo relativno vlažnost, Pa)

Notranji zrak	1.519,1
Zunanji zrak	784,8

**PRILOGA A.4: REZULTATI IZ PROGRAMA TEDI Z REŠITVIJO ZA KS-je S  
KONDENZACIJO VODNE PARE**

Račun toplotne prehodnosti, analiza toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS

 <b>TEDI</b>	Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in gradnjo, Katedra za stebre in konstrukcijske elemente Program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Pravilniku o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 10251:2002	
---	--	---

Zunanja stena

Vrsta konstrukcijskega sklopa po 9. členu Pravilnika	1. - Zunanje stene in stene proti neogrevanim prostorom, tla nad neogrevanim prostorom ali zunanjim zrakom
Vrsta stavbe po 9. členu Pravilnika	1. - Stavbe s temperaturo notranjega zraka pozimi nad 19oC ali poleti hlajene pod 26oC
Neklimatizirana / klimatizirana stavba	1. - Neklimatizirana stavba in stavba brez procesov z večjim nastajanjem vodne pare

*Difuzijsko navlaževanje - zima - projektne vrednosti*

Temperatura zunaj (°C)	10.0	Računska temperatura zunaj (°C)	5.0
Temperatura notri (°C)	20.0		
Relativna vlažnost zunaj (%)	90		
Relativna vlažnost notri (%)	60		

*Difuzijsko sušenje - poletje - projektne vrednosti*

Temperatura zunaj (°C)	18.0
Temperatura notri (°C)	18.0
Relativna vlažnost zunaj (%)	65
Relativna vlažnost notri (%)	65



Zunanja površinska upornost $R_{se}$ ( $m^2K/W$ )	0.13
Notranja površinska upornost $R_{si}$ ( $m^2K/W$ )	0.04

Št. plasti	Šifra	Material	Debelina	Gostota	Specifična toplota	Toplotna prevodnost	Difuzijska upornost vodni pari	HI	Tip
				$\rho$	C	$\lambda$	$\mu$		
			m	kg/m <sup>3</sup>	J/kg K	W/m K	-		
1	170.1	ilovnati omet	0.0250	2.000	1.000	0.950.000	10.5		5
2	83.1	FRAGMAT BITALBIT Al 3	0.0020	1.300	1.460	0.190	400000.0		3
3	75.1	PVC homogen	0.0020	1.400	960	0.230	10000.0		1
4	170.3	masivna ilovica	0.4000	2.000	1.000	0.950	10.5		5
5	75.1	PVC homogen	0.0020	1.400	960	0.230	10000.0		1
6	170.2	apnen omet	0.0250	1.660	970	730.000	15.0		5

Tip: 1 - material po pravilniku, 2 - material po standardu, 3 - material z izjavo o skladnosti, 4 - material s sistemskim certifikatom ETA, 5 - material brez 1-4

Pri sestavi sklopa je uporabljen material, ki ni sestavni del standardne knjižnice materialov.

Račun toplotne prehodnosti, analiza toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS

 <b>TEDI</b>	Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodetiko, Katedra za stabe in konstrukcijske elemente Program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Prilozitvi o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 3225:2002	
---	--	---

**REZULTATI : TOPLOTNA PREHODNOST**

Temperature na stikih plasti v °C

Številka plasti	Notri	Zunaj
1	16.8	16.8
2	16.8	16.6
3	16.6	16.4
4	16.4	6.2
5	6.2	6.0
6	6.0	6.0

$U_{\text{izračunani}} = 1.615 \text{ (W/m}^2\text{K)}$  >  $U_{\text{max}} = 0.280 \text{ (W/m}^2\text{K)}$

**KS NE ODGOVARJA**

**REZULTATI : DIFUZIJA VODNE PARE**



Temperaturam pripadajoči tlaki nasičenja vodne pare  $p'$  (Pa)

Notranji zrak	2,337.0	
<i>Na stikih plasti</i>		
Številka plasti	Notri	Zunaj
1	1,918.5	1,918.5
2	1,918.5	1,887.5
3	1,887.5	1,862.2
4	1,862.2	946.7
5	946.7	933.1
6	933.1	933.0
Zunanji zrak	872.0	

Relativni tlaki vodne pare v zraku (za pripadajočo relativno vlažnost, Pa)

Notranji zrak	1,402.2
Zunanji zrak	784.8

Račun toplotne prehodnosti, analiza toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS

 <b>TEDI</b> <small>Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodetijo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente</small>	<small>Program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Pravilniku o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 10212:2002</small>	
--	--	---

Zunanja stena	
Vrsta konstrukcijskega sklopa po 9. členu Pravilnika	1. - Zunanje stene in stene proti neogrevanim prostorom, tla nad neogrevanim prostorom ali zunanjim zrakom
Vrsta stavbe po 9. členu Pravilnika	1. - Stavbe s temperaturo notranjega zraka pozimi nad 19oC ali poleti hlajene pod 28oC
Neklimatizirana / klimatizirana stavba	1. - Neklimatizirana stavba in stavba brez procesov z večjim nastajanjem vodne pare

*Difuzijsko navlaževanje - zima - projektne vrednosti*

Temperatura zunaj (°C)	10.0	Računska temperatura zunaj (°C)	5.0
Temperatura notri (°C)	20.0		
Relativna vlažnost zunaj (%)	90		
Relativna vlažnost notri (%)	60		

*Difuzijsko sušenje - poletje - projektne vrednosti*

Temperatura zunaj (°C)	18.0
Temperatura notri (°C)	18.0
Relativna vlažnost zunaj (%)	65
Relativna vlažnost notri (%)	65



Zunanja površinska upornost $R_{se}$ (m <sup>2</sup> K/W)	0.13
Notranja površinska upornost $R_{si}$ (m <sup>2</sup> K/W)	0.04

Št. plasti	Šifra	Material	Debelina	Gostota	Specifična toplota	Toplotna prevodnost	Difuzijska upornost vodni pari	HI	Tip
				$\rho$	C	$\lambda$	$\mu$		
			m	kg/m <sup>3</sup>	J/kg K	W/m K	-		
1	170.1	ilovnati omet	0.0250	2.000	1.000	950.000	10.5		5
2	83.1	FRAGMAT BITALBIT Al 3	0.0020	1.300	1.460	0.190	400000.0		3
3	75.1	PVC homogen	0.0020	1.400	960	0.230	10000.0		1
4	148.0	perlitno nasutje	0.1900	90	1.000	0.055	3.0		1
5	75.1	PVC homogen	0.0020	1.400	960	0.230	10000.0		1
6	170.2	apnen omet	0.0250	1.660	970	730.000	15.0		5

Tip: 1 - material po pravilniku, 2 - material po standardu, 3 - material z izjavo o skladnosti, 4 - material s sistemskim certifikatom ETA, 5 - material brez 1-4

Pri sestavi sklopa je uporabljen material, ki ni sestavni del standardne knjižnice materialov.

Račun toplotne prehodnosti, analiza toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS

	<b>TEDI</b>	Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodetiko, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente Program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Prilozitvi o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 3225:2002	
---	-------------	---	---

**REZULTATI : TOPLOTNA PREHODNOST**

Temperature na stikih plasti v °C

Številka plasti	Notri	Zunaj
1	19.5	19.5
2	19.5	19.4
3	19.4	19.4
4	19.4	5.2
5	5.2	5.2
6	5.2	5.2

U<sub>racunani</sub> = 0.274 (W/m<sup>2</sup>K) < U<sub>max</sub> = 0.280 (W/m<sup>2</sup>K)

**KS ODGOVARJA**

**REZULTATI : DIFUZIJA VODNE PARE**



Temperaturam pripadajoči tlaki nasičenja vodne pare p' (Pa)

Notranji zrak	Na stikih plasti	
	Notri	Zunaj
	2,337.0	
1	2,260.7	2,260.7
2	2,260.7	2,254.8
3	2,254.8	2,249.8
4	2,249.8	884.3
5	884.3	882.1
6	882.1	882.1
Zunanji zrak	872.0	

Relativni tlaki vodne pare v zraku (za pripadajočo relativno vlažnost, Pa)

Notranji zrak	1,402.2
Zunanji zrak	784.8

Račun toplotne prehodnosti, analiza toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS

 <b>TEDI</b> <small>Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodetiko, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente          Program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Pravilniku o toplotni zaščiti in učinkovitosti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 10212</small>	
---	---

**Zunanja stena**

Vrsta konstrukcijskega sklopa po 9. členu Pravilnika	1. - Zunanje stene in stene proti neogrevanim prostorom, tla nad neogrevanim prostorom ali zunanjim zrakom
Vrsta stavbe po 9. členu Pravilnika	1. - Stavbe s temperaturo notranjega zraka pozimi nad 19oC ali poleti hlajene pod 26oC
Neklimatizirana / klimatizirana stavba	1. - Neklimatizirana stavba in stavba brez procesov z večjim nastajanjem vodne pare

*Difuzijsko navlaževanje - zima - projektne vrednosti*

Temperatura zunaj (°C)	-7,0	Računska temperatura zunaj (°C)	5,0
Temperatura notri (°C)	20,0		
Relativna vlažnost zunaj (%)	90		
Relativna vlažnost notri (%)	65		

*Difuzijsko sušenje - poletje - projektne vrednosti*

Temperatura zunaj (°C)	18,0
Temperatura notri (°C)	18,0
Relativna vlažnost zunaj (%)	65
Relativna vlažnost notri (%)	65



Zunanja površinska upornost $R_{se}$ (m <sup>2</sup> K/W)	0,13
Notranja površinska upornost $R_{si}$ (m <sup>2</sup> K/W)	0,04

Št. plasti	Šifra	Material	Debelina	Gostota	Specifična toplota	Toplotna prevodnost	Difuzijska upornost vodni pari	HI	Tip
				$\rho$	C	$\lambda$	$\mu$		
			m	kg/m <sup>3</sup>	J/kg K	W/m K	-		
1	170.3	ilovnat omet	0,0250	2.000	1.000	0,850	10,5		5
2	63.2	les - smreka, bor	0,0250	500	2.090	0,140	70,0		1
3	75.1	PVC homogen	0,0020	1.400	960	0,230	10000,0		1
4	170.2	slamnate bale (pokončno)	0,1700	90	2.000	0,056	1,0		5
5	63.2	les - smreka, bor	0,0250	500	2.090	0,140	70,0		1
6	170.1	apnen omet	0,0250	1.660	970	0,730	15,0		5

Tip: 1 - material po pravilniku, 2 - material po standardu, 3 - material z izjavo o skladnosti, 4 - material s sistemskim certifikatom ETA, 5 - material brez 1-4

Pri sestavi sklopa je uporabljen material, ki ni sestavni del standardne knjižnice materialov.

Račun toplotne prehodnosti, analiza toplotnega prehoda in difuzije vodne pare sklozi večplastne KS

 <b>TEDI</b>	Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodetiko, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente Program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare sklozi večplastne KS po Pravilniku o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 13211-1 in SIST 10218:2002	
---	--	---

**REZULTATI : TOPLOTNA PREHODNOST**

Temperature na stikih plasti v °C

Stevilka plasti	Notri	Zunaj
1	19,5	19,4
2	19,4	18,6
3	18,6	18,6
4	18,6	6,0
5	6,0	5,3
6	5,3	5,2

$U_{izračunani} =$	0,275	(W/m <sup>2</sup> K)	<	$U_{max} =$	0,280	(W/m <sup>2</sup> K)
--------------------	-------	----------------------	---	-------------	-------	----------------------

**KS ODGOVARJA**

**REZULTATI : DIFUZIJA VODNE PARE**

Temperaturam pripadajoči tlaki nasičenja vodne pare  $p'$  (Pa)


Notranji zrak	2.337,0	
	<i>Na stikih plasti</i>	
Stevilka plasti	Notri	Zunaj
1	2.260,3	2.245,1
2	2.245,1	2.144,2
3	2.144,2	2.139,4
4	2.139,4	937,8
5	937,8	890,9
6	890,9	882,1
Zunanji zrak	872,0	

Relativni tlaki vodne pare v zraku (za pripadajočo relativno vlažnost, Pa)

Notranji zrak	1.519,1
Zunanji zrak	784,8



Račun toplotne prehodnosti, analiza toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastno KS

 <b>TEDI</b> Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodetijo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente Program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Pravilniku o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 1025:2002	<b>FRAGMAT™</b>
---	-----------------

<b>Zunanja stena</b>	
Vrsta konstrukcijskega sklopa po 9. členu Pravilnika	1. - Zunanje stene in stene proti neogrevanim prostorom, tla nad neogrevanim prostorom ali zunanjim zrakom
Vrsta stavbe po 9. členu Pravilnika	1. - Stavbe s temperaturo notranjega zraka pozimi nad 19oC ali poleti hlajene pod 26oC
Neklimatizirana / klimatizirana stavba	1. - Neklimatizirana stavba in stavba brez procesov z večjim nastajanjem vodne pare

*Difuzijsko navlaževanje - zima - projektne vrednosti*

Temperatura zunaj (°C)	-7,0	Računska temperatura zunaj (°C)	5,0
Temperatura notri (°C)	20,0		
Relativna vlažnost zunaj (%)	90		
Relativna vlažnost notri (%)	65		

*Difuzijsko sušenje - poletje - projektne vrednosti*

Temperatura zunaj (°C)	18,0
Temperatura notri (°C)	18,0
Relativna vlažnost zunaj (%)	65
Relativna vlažnost notri (%)	65

Zunanja površinska upornost $R_{se}$ (m <sup>2</sup> K/W)	0,13
Notranja površinska upornost $R_{si}$ (m <sup>2</sup> K/W)	0,04



Št. plasti	Šifra	Material	Debelina	Gostota	Specifična toplota	Toplotna prevodnost	Difuzijska upornost vodni pari	HI	Tip
			m	kg/m <sup>3</sup>	J/kg K	W/m K	-		
1	170.3	ilovnat omet	0,0250	2.000	1.000	0,850	10,5		5
2	63.2	les - smreka, bor	0,0250	500	2.080	0,140	70,0		1
3	75.1	PVC homogen	0,0020	1.400	980	0,230	10000,0		1
4	170.4	slamnate bale (ležeče)	0,1820	90	2.000	0,080	1,4		5
5	63.2	les - smreka, bor	0,0250	500	2.080	0,140	70,0	*	1
6	170.1	apnen omet	0,0250	1.680	970	0,730	15,0		5

Tip: 1 - material po pravilniku, 2 - material po standardu, 3 - material z izjavo o skladnosti, 4 - material s sistemskim certifikatom ETA, 5 - material brez 1-4

\* - sloji med izbrano hidroizolacijo in zunanjim okoljem se pri računu toplotne prehodnosti in difuziji vodne pare ne upoštevajo

Pri sestavi sklopa je uporabljen material, ki ni sestavni del standardne knjižnice materialov.

Račun toplotne prehodnosti, analiza toplotnega prehoda in difuzije vodne pare sklozi večplastne KS

 <b>TEDI</b>	Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodetiko, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente Program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare sklozi večplastne KS po Pravilniku o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 10218:2002	
---	--	---

**REZULTATI : TOPLOTNA PREHODNOST**

Temperature na stikih plasti v °C

Številka plasti	Notri	Zunaj
1	19,5	19,3
2	19,3	18,6
3	18,6	18,6
4	18,6	5,9
5	5,9	5,2

$$U_{\text{računani}} = 0,278 \text{ (W/m}^2\text{K)} < U_{\text{max}} = 0,280 \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

**KS ODGOVARJA**

**REZULTATI : DIFUZIJA VODNE PARE**


Temperaturam pripadajoči tlaki nasičenja vodne pare  $p'$  (Pa)

Notranji zrak	2.337,0	
Na stikih plasti		
Številka plasti	Notri	Zunaj
1	2.259,5	2.244,1
2	2.244,1	2.142,3
3	2.142,3	2.137,5
4	2.137,5	929,3
5	929,3	882,2
Zunanji zrak	872,0	

Relativni tlaki vodne pare v zraku (za pripadajočo relativno vlažnost, Pa)

Notranji zrak	1.519,1
Zunanji zrak	784,8

Račun toplotne prehodnosti, analiza toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS

 <b>TEDI</b>	Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodetijo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente Program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Pravilniku o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 1025:2002	<b>FRAGMAT</b> <sup>TM</sup>
---	--	------------------------------

<b>Zunanja stena</b>	
Vrsta konstrukcijskega sklopa po 9. členu Pravilnika	1. - Zunanje stene in stene proti neogrevanim prostorom, tla nad neogrevanim prostorom ali zunanjim zrakom
Vrsta stavbe po 9. členu Pravilnika	1. - Stavbe s temperaturo notranjega zraka pozimi nad 19oC ali poleti hlajene pod 26oC
Neklimatizirana / klimatizirana stavba	1. - Neklimatizirana stavba in stavba brez procesov z večjim nastajanjem vodne pare

*Difuzijsko navlaževanje - zima - projektne vrednosti*

Temperatura zunaj (°C)	-7,0	Računska temperatura zunaj (°C)	5,0
Temperatura notri (°C)	20,0		
Relativna vlažnost zunaj (%)	90		
Relativna vlažnost notri (%)	65		

*Difuzijsko sušenje - poletje - projektne vrednosti*

Temperatura zunaj (°C)	18,0
Temperatura notri (°C)	18,0
Relativna vlažnost zunaj (%)	65
Relativna vlažnost notri (%)	65


Zunanja površinska upornost $R_{se}$ (m <sup>2</sup> K/W)	0,13
Notranja površinska upornost $R_{si}$ (m <sup>2</sup> K/W)	0,04

Št. plasti	Šifra	Material	Debelina	Gostota	Specifična toplota	Toplotna prevodnost	Difuzijska upornost vodni pari	HI	Tip
					C	$\lambda$	$\mu$		
			m	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	J/kg K	W/m K	-		
1	170.10	les cedra-malta z žagovino	0,2000	869	1.838	0,437	70,0		5
2	75.1	PVC homogen	0,0020	1.400	960	0,230	10000,0		1
3	170.2	slamnate bale (pokončno)	0,1400	90	2.000	0,056	1,0		5
4	170.10	les cedra-malta z žagovino	0,2000	869	1.838	0,437	70,0		5

Tip: 1 - material po pravilniku, 2 - material po standardu, 3 - material z izjavo o skladnosti, 4 - material s sistemskim certifikatom ETA, 5 - material brez 1-4

Pri sestavi sklopa je uporabljen material, ki ni sestavni del standardne knjižnice materialov.

Račun toplotne prehodnosti, analiza toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastno KS

 <b>TEDI</b>	Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodetiko, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente Program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Pravilniku o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 13211-1 in SIST 10218:2002	<b>FRAGMAT</b> <sup>®</sup>
---	---	-----------------------------

**REZULTATI : TOPLOTNA PREHODNOST**

Temperature na stikih plasti v °C

Stevilka plasti	Notri	Zunaj
1	19,5	17,5
2	17,5	17,5
3	17,5	7,1
4	7,1	5,2

$U_{izračunani} =$	0,278	(W/m <sup>2</sup> K)	<	$U_{max} =$	0,280	(W/m <sup>2</sup> K)
--------------------	-------	----------------------	---	-------------	-------	----------------------

**KS ODGOVARJA**

**REZULTATI : DIFUZIJA VODNE PARE**

Temperaturam pripadajoči tlaki nasičenja vodne pare p' (Pa)

Notranji zrak	2.337,0	
	<i>Na stikih plasti</i>	
Stevilka plasti	Notri	Zunaj
1	2.259,5	2.005,2
2	2.005,2	2.000,6
3	2.000,6	1.006,3
4	1.006,3	882,2
Zunanji zrak	872,0	

Relativni tlaki vodne pare v zraku (za pripadajočo relativno vlažnost, Pa)

Notranji zrak	1.519,1
Zunanji zrak	784,8

Gostota difuzijskega toka vodne pare

$q_{m1}$		kg/m <sup>2</sup> h
$q_{m2}$		kg/m <sup>2</sup> h

Izračun količine kondenzirane vodne pare

$q_{m'}$		kg/m <sup>2</sup> h
$q_{mz'}$		kg/m <sup>2</sup> h

Račun difuzije vodne pare ni potreben, ker v KS ne pride do nastanka kondenza!

$X_i$		%
$X_{max}$		%

$X_{gr}$		%
$X_{st}$		%

Izsuševanje KS

Čas potreben za izsušitev KS		dan
Dotčina obdobja izsuševanja		dan



**KS ODGOVARJA**

**REZULTATI : TOPLOTNA STABILNOST**

Temperaturno dušenje	1.845,82	
Temperaturna zakasnitev	22,92	ura

**PRILOGA A.5: REZULTATI IZ PROGRAMA TEDI Z REŠITVIJO ZA KS-je S  
PREKOMERNO SKUPNO DEBELINO**

Račun toplotne prehodnosti, analiza toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS

 <b>TEDI</b> <small>Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodézijo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente          Program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Pravilniku o toplotni zaščiti in učinkovitosti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 1653:2002</small>	
---	---

Zunanja stena

Vrsta konstrukcijskega sklopa po 9. členu Pravilnika	1. - Zunanje stene in stene proti neogrevanim prostorom, tla nad neogrevanim prostorom ali zunanjim zrakom
Vrsta stavbe po 9. členu Pravilnika	1. - Stavbe s temperaturo notranjega zraka pozimi nad 19oC ali poleti hlajene pod 26oC
Neklimatizirana / klimatizirana stavba	1. - Neklimatizirana stavba in stavba brez procesov z večjim nastajanjem vodne pare

Difuzijsko navlaževanje - zima - projektne vrednosti

Temperatura zunaj (°C)	-7,0	Računska temperatura zunaj (°C)	5,0
Temperatura notri (°C)	20,0		
Relativna vlažnost zunaj (%)	90		
Relativna vlažnost notri (%)	65		

Difuzijsko sušenje - poletje - projektne vrednosti

Temperatura zunaj (°C)	18,0
Temperatura notri (°C)	18,0
Relativna vlažnost zunaj (%)	65
Relativna vlažnost notri (%)	65



Zunanja površinska upornost $R_{se}$ (m <sup>2</sup> K/W)	0,13
Notranja površinska upornost $R_{si}$ (m <sup>2</sup> K/W)	0,04

Št. plasti	Šifra	Material	Debelina	Gostota	Specifična toplota	Toplotna prevodnost	Difuzijska upornost vodni pari	HI	Tip
			m	kg/m <sup>3</sup>	J/kg K	W/m K	-		
1	170.3	liovnat omet	0,0250	2.000	1.000	0,850	10,5		5
2	170.6	konopljin zidak	0,3000	1.171	1.113	0,190	11,0		5
3	170.12	izolacijski paneli iz konoplje	0,0710	30	1.800	0,040	2,0		5
4	170.1	apnen omet	0,0250	1.660	970	0,730	15,0		5

Tip: 1 - material po pravilniku, 2 - material po standardu, 3 - material z izjavo o skladnosti, 4 - material s sistemskim certifikatom ETA, 5 - material brez 1-4

Pri sestavi sklopa je uporabljen material, ki ni sestavni del standardne knjižnice materialov.

Račun toplotne prehodnosti, analiza toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS

 <b>TEDI</b> <small>Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodetijo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente</small> <small>Program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Pravilniku o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 15211-1 in SIST 10218:2002</small>	
--	---

**REZULTATI : TOPLOTNA PREHODNOST**

Temperature na stikih plasti v °C

Številka plasti	Notri	Zunaj
1	19,5	19,3
2	19,3	12,7
3	12,7	5,3
4	5,3	5,2

$U_{izračunani} = 0,279 \text{ (W/m}^2\text{K)} < U_{max} = 0,280 \text{ (W/m}^2\text{K)}$

**KS ODGOVARJA**

**REZULTATI : DIFUZIJA VODNE PARE**

Temperaturam pripadajoči tlaki nasičenja vodne pare  $p'$  (Pa)

Notranji zrak	2.337,0	
Na stikih plasti		
Številka plasti	Notri	Zunaj
1	2.259,3	2.243,9
2	2.243,9	1.471,7
3	1.471,7	891,1
4	891,1	882,3
Zunanji zrak	872,0	

Relativni tlaki vodne pare v zraku (za pripadajočo relativno vlažnost, Pa)

Notranji zrak	1.519,1
Zunanji zrak	784,8

Gostota difuzijskega toka vodne pare

$q_{n1}$		kg/m <sup>2</sup> h
$q_{n2}$		kg/m <sup>2</sup> h

Izračun količine kondenzirane vodne pare

$q_n'$		kg/m <sup>2</sup> h
$q_{n2}'$		kg/m <sup>2</sup> h

Račun difuzije vodne pare ni potreben, ker v KS ne pride do nastanka kondenza!

$X_i$		%
$X_{max}$		%

$X_{gr}$		%
$X_{sk}$		%

Izsuševanje KS

Čas potreben za izsušitev KS		dan
Dolžina obdobja izsuševanja		dan

**KS ODGOVARJA**

**REZULTATI : TOPLOTNA STABILNOST**

Temperaturno dušenje	1.992,55	
Temperaturna zakasnitev	20,98	ura