

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:

Štrus, A., 2014. Analiza izbranih gradbeno-fizikalnih in okoljskih parametrov konstrukcijskih sklopov iz lesa. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Košir, M., somentorica Dovjak, M.): 45 str.

Datum arhiviranja: 16-09-2015

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:

Štrus, A., 2014. Analiza izbranih gradbeno-fizikalnih in okoljskih parametrov konstrukcijskih sklopov iz lesa. B.Sc Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Košir, M., co-supervisor Dovjak, M.): 45 p.

Archiving Date: 16-09-2015

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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM PRVE STOPNJE
GRADBENIŠTVO

Kandidatka:

ANJA ŠTRUS

**ANALIZA IZBRANIH GRADBENO - FIZIKALNIH IN
OKOLJSKIH PARAMETROV KONSTRUKCIJSKIH
SKLOPOV IZ LESA**

Diplomska naloga št.: 121/B-GR

**ANALYSIS OF SELECTED BUILDING - PHYSICS AND
ENVIRONMENTAL PARAMETERS OF WOOD BASED
CONSTRUCTIONAL COMPLEXES**

Graduation thesis No.: 121/B-GR

Mentor:

doc. dr. Mitja Košir

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Janko Logar

Somentorica:

doc. dr. Mateja Dovjak

Ljubljana, 09. 09. 2014

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Podpisana **Anja Štrus** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom »**Analiza izbranih gradbeno-fizikalnih in okoljskih parametrov konstrukcijskih sklopov iz lesa**«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 25. 08. 2014

Anja Štrus

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	624.011.1:699.8(497.4)(043.2)
Avtor:	Anja Štrus
Mentor:	doc. dr. Mitja Košir
Somentor:	asist. dr. Mateja Dovjak
Naslov:	Analiza izbranih gradbeno-fizikalnih in okoljskih parametrov konstrukcijskih sklopov iz lesa
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – univerzitetni študij-B
Obseg in oprema:	45 str., 15 pregl., 16 sl., 5 graf
Ključne besede:	Konstrukcijski sklopi, les, okvirni sistem, masivni sistem, skeletni sistem, konvencionalna slovenska gradnja, gradbeno-fizikalni vidik, okoljski vidik, LCA študija, ogljični odtis

Izvleček

Svet se sooča s podnebnimi spremembami zaradi velike količine spuščenih toplogrednih plinov. K večjemu številu emisij le-teh prispeva tudi gradbeništvo in z njim gradnja objektov, pri čemer imajo stanovanjske stavbe največji delež. Da bi te spremembe omilili in zmanjšali tudi količino izpusta CO₂ v ozračje, je potrebno zmanjšati izpuste ali pa odstraniti in skladiščiti CO₂. Edini trenutno poznani material, ki ima sposobnost obojega, je les. Tako bom v sklopu diplomske naloge pregledala sisteme lesene gradnje na slovenskem trgu in jih predstavila. Od izbranih izvajalcev bom izbrala po dva konstrukcijska sklopa zunanje stene iz vsakega sistema lesene gradnje. Eden bo vseboval lesa le za nosilno konstrukcijo, drugi pa še za toplotno in hidroizolacijo. Analizo konstrukcijskih sklopov bom izvedla v programu TEDI ter dobljene gradbeno-fizikalne lastnosti primerjala s konstrukcijskim sklopom zunanje stene konvencionalne gradnje hiš pri nas. Nato bo sledila ocena izbranih konstrukcijskih sklopov s stališča okoljskih parametrov s pomočjo že opravljenih študij ter primerjava le-teh rezultatov s konvencionalno gradnjo v Sloveniji. Z dobljenimi rezultati želim pokazati, da z uporabo lesa pri gradnji objektov zmanjšamo količino sproščenih emisij CO₂ v ozračje v primerjavi z zidano stavbo, ravno tako pa ima tudi boljše gradbeno-fizikalne lastnosti. S tem želim doseči, da bi se število take gradnje pri nas povečalo.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 624.011.1:699.8(497.4)(043.2)
Author: Anja Štrus
Supervisor: doc. dr. Mitja Košir
Co-advisor: asist. dr. Mateja Dovjak
Title: Analysis of selected building-physics and environmental parameters of wood based constructional complexes
Document type: Graduation Thesis –University studies-B
Notes: 45 p., 15 tab., 16 fig., 5 graph
Key words: Constructional complexes, wood, panel system, massive system, frame system, conventional Slovenian construction, building-physics parameters, environmental indicator, LCA analysis, carbon footprint

Abstract

The world is due to the large amounts of greenhouse gases emissions facing climate changes. These emissions are increased also by civil engineering and by building facilities, apartment buildings having the largest share in it. To alleviate climate changes as well as the amount of CO₂ emissions, these emissions have to be decreased, or CO₂ has to be removed and stored. The only currently known material which has the power to do both is wood. For my bachelor's degree thesis I will, therefore, look into the Slovenian systems of wood constructions and present them. From the building contractors, I will choose two constructional complexes of the outer wall from each of the wood building systems. One of them will have wood only for load-bearing construction, the other one also for thermal and hydro insulation. The analysis of constructional complexes will be done in TEDI program. The results of building-physics qualities will be compared to the Slovenian conventionally built constructional complexes of the outer wall. With the help of already-existing studies I will evaluate some constructional complexes from the point of view of environmental parameters. I will also give a comparison between these results and the conventional building in Slovenia. I intend to show how using wood in building facilities can help reduce the amount of releasing CO₂ emissions in the atmosphere, as opposed to a masonry building. A building made of wood also has better building-physics qualities. I wish to accomplish that the number of these buildings in Slovenia would rise.

ZAHVALA

Za pomoč pri nastajanju diplome se iskreno zahvaljujem mentorju doc. dr. Mitji Koširju in somentorici asist. dr. Mateji Dovjak, ki sta mi med pisanjem diplomske naloge nudila strokovno pomoč in nasvete.

Posebna zahvala gre tudi moji družini, fantu in vsem, ki so mi skozi študij stali ob strani ter me podpirali.

KAZALO VSEBINE

IZJAVE II

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK III

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT IV

ZAHVALA V

1	UVOD	1
2	TEORETIČNO OZADJE	2
2.1	Les kot gradbeni material	2
2.2	Uporaba lesa	3
2.2.1	Nosilna konstrukcija	3
2.2.2	Toplotna izolacija	5
2.2.3	Hidroizolacija	6
2.3	Razširjenost lesene gradnje v Sloveniji	6
2.4	Prednost lesene gradnje in lesa kot gradbenega materiala	7
2.5	Konstrukcijski sistemi	8
2.5.1	Masivna konstrukcija	8
1.5.1.1	Kladna oz. brunasta konstrukcija	8
1.5.1.2	Sodobna masivna lesena konstrukcija	8
2.5.2	Okvirna konstrukcija	9
2.5.3	Skeletna konstrukcija	9
2.6	Razlaga pojmov	9
3	METODA DELA	10
4	ANALIZA	12
4.1	KORAK 1: Pregled KS zunanjih sten izbranih slovenskih proizvajalcev	12
4.2	KORAK 2: Analiza izbranih gradbeno-fizikalnih lastnosti konstrukcijskih sklopov 23	
4.2.1	Prikaz primera rezultatov pridobljenih s programom TEDI	24
4.2.2	Primerjava rezultatov gradbeno-fizikalnih parametrov izbranih KS	29
4.3	KORAK 3: Analiza izbranih okoljskih parametrov	34

5	ZAKLJUČEK	38
VIRI		40

KAZALO GRAFOV

Graf 1 Prikaz normirane vrednosti toplotne prehodnosti KS glede na sklop K	29
Graf 2: Prikaz normirane vrednosti toplotne stabilnosti - temperaturno dušenje in temperaturna zakasnitev glede na sklop K	30
Graf 3: Prikaz normirane vrednosti debeline KS glede na sklop K.....	31
Graf 4: Prikaz normirane vrednosti mase KS glede na sklop K.....	32
Graf 5: Prikaz deleža lesa glede na maso KS	33

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Prikaz KS izbranih slovenskih proizvajalcev [29], [30], [31]	12
Preglednica 2: Prikaz KS izbranih slovenskih proizvajalcev [10], [32], [33]	13
Preglednica 3: Prikaz KS izbranih slovenskih proizvajalcev [34], [35], [36], [10]	14
Preglednica 4: Prikaz KS izbranih slovenskih proizvajalcev [37], [38], [39]	15
Preglednica 5: Prikaz KS izbranih slovenskih proizvajalcev [40], [41], [42], [43]	16
Preglednica 6: Prikaz KS izbranih slovenskih proizvajalcev [44], [45], [46], [47]	17
Preglednica 7: Prikaz KS izbranih slovenskih proizvajalcev [48], [49], [50]	18
Preglednica 8: Prikaz KS izbranih slovenskih proizvajalcev [51], [52], [53]	19
Preglednica 9: Prikaz KS izbranih slovenskih proizvajalcev [54], [55], [56], [57]	20
Preglednica 10: Prikaz KS izbranih slovenskih proizvajalcev [58], [59], [60], [61], [10]	21
Preglednica 11: Prikaz KS izbranih slovenskih proizvajalcev [62], [63], [64], [65]	22
Preglednica 12: Sestava KS konvencionalne slovenske gradnje.....	23
Preglednica 13: Povzetek rezultatov analize izbranih zasnov KS.....	23
Preglednica 14: Konstrukcijski sklop O18.....	24
Preglednica 15: Prikaz študij LCA, LCEA, LCCA, raven njihove obravnave, preučevano področje, preučevan okoljski kazalec, metoda, lokacija izvedbe študije in glavni rezultati [22]	35

KAZALO SLIK

Slika 1: Konstrukcijski kompozitni les (z leve proti desni: <i>Laminated Veneer Lumber- LVL</i> , <i>Laminated Strand Lumber - LSL</i> , <i>Parallel Strand Lumber- PSL</i>) [9].	3
Slika 2: Lameliran lepljen les [11]	4
Slika 3: Vezane furnirne plošče [12]	4
Slika 4: Panelna plošča sestavljena iz sredice in zunanjih slojev [13]	4
Slika 5: OSB plošča [14]	4
Slika 6: Plošča iz križno lepljenega lameliranega lesa [15]	5
Slika 7: Lesno vlaknena plošča [16]	5
Slika 8: Lesni kosmiči vgrajeni z vpihovanjem [17]	5
Slika 9: Lesni kosmiči vgrajeni z nasipavanjem [17]	5
Slika 10: Tipi lesenih oblog in masivnega lesa [19]	6
Slika 11: Sistemi lesene gradnje. Z leve proti desni: okvirni, skeletni, masivni sistem [21]	8
Slika 12: Shema metode dela	11
Slika 13: Pregled KS O18, ki sem ga analizirala s programom TEDI [27]	25
Slika 14: Rezultati analize KS O18: Toplotna stabilnost	26
Slika 15: Rezultati analize KS O18: Difuzija vodne pare	27
Slika 16: Rezultati analize KS O18: Zgornji graf prikazuje stacionarni prenos toplote v KS (T-d) spodnji pa potek dejanskega in nasičenega tlaka v KS (p-r)	28

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

KS - Konstrukcijski sklop

U - Toplotna prehodnost [$W/(m^2K)$]

FO - Finalna obdelava

LCA - ang. *Life Cycle Assessment*

LCEA - ang. *Life Cycle Energy Assessment*

LCCA - ang. *Life Cycle Cost Analysis*

T - Temperatura

φ_n - Vlažnost zraka

1 UVOD

Slovenija ima več kot 58,5 % površine pokrite z gozdom [1]. Ta nam nudi veliko dobrin, med njimi tudi les, ki ga uporabljamo na najrazličnejše načine. V preteklosti je bil poleg kamna les najpomembnejši gradbeni material, vendar se je skozi stoletja njegova uporaba manjšala z iznajdbo betona, jekla ter drugih kompozitov. Iznajdba teh materialov je pripomogla tudi k naraščanju izpusta CO₂ v ozračje, ki se zaradi človekovih dejavnosti in večanja števila prebivalstva samo še povečuje. Kot posledico tega opažamo in čutimo spremembe podnebja [2].

Največ emisij toplogrednih plinov povzročata sektorja proizvodnja električne energije in toplote ter promet, skupaj okrog 60 %, veliko pa prispevajo tudi industrija in gradbeništvo ter kmetijstvo s po okoli 10 % [3]. Večino gradbene dejavnosti predstavlja gradnja objektov, pri čemer imajo stanovanjske stavbe s 43 % največji delež [4]. Ker se bo gradnja stanovanjskih stavb z leti povečevala, je predvsem pomembna nizkoogljična gradnja [5], še posebej v sedanjih časih, ko se soočamo s podnebnimi spremembami. Tako gradbeništvo sledi načelu trajnostne gradnje, kar pomeni načrtovanje, kjer so uravnoteženi vsi vidiki razvoja: okoljski, zdravstveni, ekonomski in socialni [6]. Stavba naj bi bila torej premišljeno postavljena na lokacijo in zgrajena s čim manj različnimi elementi, tako da povzročamo najmanjšo možno škodo okolju in zdravju ter da bo imela dolgo življenjsko dobo ob čim manjši porabi energije in drugih stroškov obratovanja [4]. Tako bi dosegli minimalni negativni vpliv na okolje in s tem na življenje prihodnjih generacij.

Da bi zmanjšali tudi količino CO₂ v atmosferi, je potrebno zmanjšati izpuste ali pa odstraniti in skladiščiti CO₂. Edini trenutno poznan material, ki ima sposobnost obojega, je les [2]. Poleg manjšega onesnaževanja okolja ima lesena gradnja še vrsto drugih prednosti, med njimi hitrost gradnje, fleksibilnost in dobre gradbeno-fizikalne lastnosti, zato se uporaba lesa kot gradbenega materiala vrača v ospredje [5].

Čeprav imamo veliko gozda, je lesenih hiš v Sloveniji zelo malo v primerjavi z zidanimi. Pričakujemo lahko, da se bo gradnja le-teh z leti povečevala, saj so ljudje vsak dan bolj osveščeni glede onesnaževanja okolja, ravno tako pa država spodbuja uporabo lesa kot gradbenega materiala z dodelitvijo raznih subvencij. Kljub temu, da imamo zgrajenih razmeroma malo lesenih stavb, je prisotnost proizvajalcev lesene gradnje precej velika. Ti lahko pri obdelavi in predelavi lesa ter proizvodnji pohištva zaradi dobre strateške lege – bližine gozdov (ti v Sloveniji predstavljajo več kot polovico celotne površine) ustvarijo presežek produktov, ki jih nato izvažajo. V letu 2011 je segal delež prihodkov od izvoza kar 49,4 % čistih prihodkov od prodaje [7].

Ker obstaja veliko načinov lesene gradnje, bom predstavila tri pomembnejše, ki so najbolj zastopani v Sloveniji. Taki sistemi gradnje so skeletni, okvirni in masivni sistem. Večina uveljavljenih slovenskih proizvajalcev lesenih montažnih hiš pa ima tudi že v naprej pripravljene tehnične rešitve za izvedbo konstrukcijskih sklopov (v nadaljevanju KS) posameznega tipa stavbe. V sklopu diplomske naloge bom izvedla pregled nekaterih slovenskih proizvajalcev in se zaradi omejenega obsega diplomske naloge osredotočila le na KS zunanjih sten. Izbrane KS bom prikazala v preglednici in izmed vseh prikazanih sklopov za posamezen sistem gradnje izbrala dva, jih primerjala med seboj ter nato še z izbranim KS konvencionalne gradnje v Sloveniji, t.j. tipična slovenska hiša zgrajena iz opeke in

armiranega betona. Skozi izvedeno analizo bom poskušala ugotoviti, kateri KS sistema lesene gradnje je najbolj učinkovit s stališča gradbeno-fizikalnih parametrov in okoljskih vidikov.

2 TEORETIČNO OZADJE

2.1 Les kot gradbeni material

Les je edini trajnostni in obnovljivi material, ki ga imamo na našem območju več kot dovolj. Odlikuje ga njegova trdnost v primerjavi z lahko specifično težo. Poleg »odlik« pa so tukaj še negativne lastnosti, ki ljudem zbudijo pomisleke glede izgradnje lesene hiše.

Ena od slabosti lesa je krčenje, ki nastane pri sušenju lesa, ko le-ta izgublja prosto vodo in zmanjšuje svojo gostoto. Z nadaljnjim sušenjem les izgublja tudi vezano vodo, pri čemer se zmanjša prostornina lesa. Zaradi neenakomernega sušenja in krčenja se znotraj lesa povečujejo notranje napetosti, ki se izražajo z razpokami [8]. Pojav, nasproten krčenju, je nabrekanje. Les povečuje prostornino zaradi vpijanja vode. Proces se ustavi, ko se vsa lesena vlakna nasičijo z vodo, pri čemer se povečuje gostota. Spremembe so tako kot pri krčenju različne v treh smereh. Največje so v tangencialni prečni smeri, v radialni približno dvakrat manjše, v vzdolžni smeri vlaken pa zanemarljive. Pri projektiranju lesenih konstrukcij je potrebno upoštevati nabrekanje pri izvedbi lesenih oblog, saj raztezki lesa povzročajo dvigovanje parketa, uklon opažev, itd. [8].

Naslednja lastnost je relativno nizka prevodnost toplote. Ta je odvisna od vrste lesa, prostorninske mase, smeri vlaken in vlažnosti [8]. Pravimo, da ima les dobre toplotne izolacijske lastnosti, zato je primerna surovina za toplotno izolacijske materiale v konstrukcijskih sklopih stavb, kjer hočemo porabiti manj energije za ogrevanje le-teh.

Les je tudi požarno odporen material, toliko bolj, čim večje dimenzije prereza ima. V primerjavi z nezaščiteno jekleno konstrukcijo enake nosilnosti je les v očitni prednosti, saj pri enakih požarnih pogojih zdrži dlje časa kot pa jeklo. Tako obnašanje jekla je posledica dobre toplotne prevodnosti kovine. Poleg vseh teh lastnosti ima les tudi izredno dobre akustične lastnosti, zato se uporablja za obloge v raznih koncertnih dvoranah [8].

Trajnost lesa je lastnost, ki nam pove, v kolikšnem časovnem obdobju bo les obdržal svoje naravne lastnosti (strukturo, barvo, mehanske lastnosti). Delovanje okolja in škodljivcev zmanjšata trajnost lesa, zato se uporabljajo različna zaščitna sredstva, ki omejujejo škodljive vplive. Na suhem zraku ali popolnoma potopljen v vodi je les praktično neomejeno trajen, ko pa pride do cikličnega menjavanja spremembe okolja, začne gniti in razpadati [8].

Zaradi svoje trdnosti, ki s razlikuje glede na smer vlaken, se les večinoma uporablja za nosilno konstrukcijo. Natezna in tlačna trdnost sta največja v smeri vlaken [8]. V primeru, da les vsebuje veliko nepravilnosti, kot so grče, razpoke, zvitost, je treba le-te pri uporabi za nosilno konstrukcijo odstraniti ali pa uporabiti za nenosilne elemente, kjer hočemo poudariti videz elementa.

2.2 Uporaba lesa

Les lahko kot gradbeni material uporabljamo na različne načine. Najpogosteje se uporablja za nosilno konstrukcijo, za sekundarno konstrukcijo v sklopu KS streh, pri panelnih montažnih sistemih ali pa za stojine nosilcev [9]. Zaradi svojih dobrih toplotno izolacijskih lastnosti se uporablja za toplotno izolacijo, lahko pa ga uporabimo tudi za fasadno oblogo, kjer poleg zanimivega videza opravlja tudi funkcijo hidroizolacije.

2.2.1 Nosilna konstrukcija

Če so nekoč za nosilno konstrukcijo in nasploh celotno stavbo uporabljali elemente iz masivnega lesa, danes temu ni več tako. V današnjih lesenih konstrukcijah klasičen masivni les za uporabo pri nosilni konstrukciji zamenjujejo leseni prefabricirani elementi, ki imajo bolj ali manj izločene napake ter prirejene mehanske lastnosti. Ti se delijo na linijske in ploščaste elemente [9].

Linijski prefabricirani elementi so pravzaprav linijski leseni elementi, dobljeni z medsebojnim lepljenjem manjšega števila sestavnih delov. S takšnim načinom lepljenja zagotovimo izenačitev mehanskih lastnosti lesa. Po posebnih postopkih so med seboj lahko zlepljeni:

- Furnirji, kjer dobimo slojnat furnirni les (ang. *Laminated Veneer Lumber* - LVL) [9]. V gradbeništvu se lahko uporabljajo kot samostojni nosilci, kot pasnice pri I- nosilcih, kot deske za zidarske odre, za okvirje oken, vrat [4].
- Na pasove razrezani furnirji (ang. *Parallel Strand Lumber* – PSL) [9]. Uporabljajo se za nosilce, lege in stebre [4].
- dolge, tanke usmerjene iveri (ang. *Laminated Strand Lumber* – LSL) [9]. Uporabljajo se za stebre, deske, tramove, lažje veznike [10] (Slika 1).



Slika 1: Konstrukcijski kompozitni les (z leve proti desni: *Laminated Veneer Lumber*- LVL, *Laminated Strand Lumber* - LSL, *Parallel Strand Lumber*- PSL) [9].

K tako imenovanim konstrukcijskim kompozitnim lesom spada tudi lameliran lepljen les (Slika 2), kjer je zlepljeno večje število tankih lamel. Uporablja se za izdelavo linijskih nosilnih elementov za konstrukcijo stropov, kjer dolžina prevladuje nad ostalima dvema dimenzijama [9].



Slika 2: Lameliran lepjen les [11]

Izmed ploščastih elementov pa se za nosilno konstrukcijo uporabljajo predvsem:

- Vezane furnirne plošče (Slika 3), ki predstavljajo skupaj zlepljeno liho število furnirnih listov. Uporabljajo se tudi za pohištvo [10].



Slika 3: Vezane furnirne plošče [12]

- Panelne plošče (Slika 4), ki se uporabljajo tudi v proizvodnji pohištva in za stenske ter stropne obloge [10].



Slika 4: Panelna plošča sestavljena iz sredice in zunanjih slojev [13]

- Plošče z usmerjenim iverjem (OSB ali iverne plošče) (Slika 5), ki so izdelane iz večjih kosov zlepljenih ploščatih iveri [10].



Slika 5: OSB plošča [14]

- Plošče iz križno lepljenega lameliranega lesa (CLT (Slika 6)) [10].



Slika 6: Plošča iz križno lepljenega lameliranega lesa [15]

Pri vseh teh elementih z vsiljeno orientacijo vlaken, t.j. z lepljenjem posameznih plasti pravokotno druga na drugo v ploščo, izenačimo mehanske lastnosti in tako vplivamo na manjše deformacije in izboljšamo nosilnost [9].

2.2.2 Toplotna izolacija

Kot je bilo že omenjeno, je les zelo dober toplotni izolator. Za toplotno izolacijo se uporablja predvsem v obliki lesnih vlaken in kosmičev.

Lesno vlaknena plošča (Slika 7) se vgradijo in odstranijo zelo hitro in enostavno. Kar pa je najpomembnejše, po odstranitvi se lahko reciklirajo. Poleg nizke toplotne prevodnosti in izjemne paroprepustnosti tudi zelo dobro absorbirajo zvočne valove. Poleg toplotne in zvočne izolacije se lahko lesno vlaknena plošča uporabi tudi za hidroizolacijo [10].



Slika 7: Lesno vlaknena plošča [16]

Lesni kosmiči se vgrajujejo z nasipavanjem v stropove (Slika 8) ali z vpihavanjem v predele zunanjih sten (Slika 9).



Slika 9: Lesni kosmiči vgrajeni z vpihovanjem [17]



Slika 8: Lesni kosmiči vgrajeni z nasipavanjem [17]

Les se kot surovina nahaja tudi v celuloznih kosmičih, ki se ravno tako vgrajujejo z nasipavanjem ali vpihovanjem. Celulozni kosmiči so pravzaprav časopisni papir in se dobro prilagodi prostoru, kamor se jih vpihava ter ga docela zapolni [18].

2.2.3 Hidroizolacija

Za hidroizolacijo se uporabljajo lesene obloge iz masivnega lesa, v obliki letev, desk in brun, ki se polagajo na različne načine. Pritrjene so lahko vertikalno, horizontalno ali poševno (Slika 10). Taka hidroizolacija deluje z debelino in mora biti prezračevana. Za izvedbo lesenih oblog se uporablja les macesna, smreke, cedre, hrasta, jelke, idr. Zaradi hitrega propadanja lesa pri ciklični izpostavljenosti navlaževanja in zaradi zavedanja, da les sčasoma spremeni svojo barvo, se les premaže s površinskimi premazi.



Slika 10: Tipi lesenih oblog in masivnega lesa [19]

Poleg masivnega lesa se za obloge uporablja tudi predelan les, ki je predstavljen v poglavju 2.2.1. Tudi take vrste les mora biti pred uporabo površinsko zaščiten s premazi.

2.3 Razširjenost lesene gradnje v Sloveniji

V preteklosti so les uporabljali na raznovrstne načine, saj je bil to izredno dostopen material, ki se je dal lahko oblikovati. Ene izmed prvih lesenih stavb so bile zgrajene iz kladnih sten, razvoj takih sten pa je nadaljeval v gradnjo iz žaganih plohov [4]. Začetki sodobne montažne lesene gradnje v Sloveniji segajo že v 60-a leta prejšnjega stoletja. V preteklosti je bila sicer v primerjavi s tradicionalno zidano stavbo zastopana v majhnem deležu, a se je ta delež iz leta v leto počasi stopnjeval [10].

V raziskavi, objavljeni v knjigi z naslovom Gradnja z lesom – izziv in priložnost za Slovenijo [4], je bilo ugotovljeno, da je bila leta 2007 več kot polovica (56 %) vseh stanovanjskih stavb zgrajenih iz opeke, ostali materiali pa so bili zastopani v manjši meri. Prikaz trenda uporabe materialov zadnjih 5 let po letu 2000 pa je kazal, da se je uporaba lesenih konstrukcij povečala za 35 % [4].

Ker so se izvajalci raziskave hoteli prepričati, zakaj je zastopanost lesene gradnje tako majhna, so izvedli javnomnenjsko raziskavo z naslovom »Odnos javnosti do lesene gradnje« in prišli do naslednjih ugotovitev.

Glavna razloga, zakaj se anketiranci ne bi odločili za leseno gradnjo, sta bila tradicija in nepoznavanje lesene gradnje. Iz tega sledijo tudi drugi razlogi, kot so pomisleki glede trajnosti, cena gradnje, nezaupanje in varnost (požarna, potresna). Obenem pa so se anketiranci strinjali, da lesena gradnja omogoča bolj zdravo bivalno okolje [4].

Čeprav je delež lesenih stavb v Sloveniji majhen, je opaziti pozitiven trend, saj so ljudje čedalje bolj seznanjeni s prednostmi lesene gradnje in se zavedajo problematik vpliva ostalih gradbenih materialov na okolje.

2.4 Prednost lesene gradnje in lesa kot gradbenega materiala

- Gradnja poteka v skladu z načeli trajnostne gradnje, kar pomeni da je energetska varčna v fazi proizvodnje in uporabe ter da so posledično stroški obratovanja nizki. Les poleg tega, da se lahko reciklira, s svojo barvo in vonjem pozitivno vpliva na človekovo počutje ter omogoča zdravo bivalno okolje [10]. Slabost gradbenih proizvodov iz lesa je ta, da se za izdelavo tekom proizvodnje uporabljajo formaldehidna lepila, ki so škodljiva zdravju. Problematični so tudi zaščitni premazi, barve ter laki za zaščito lesa pred zunanjimi vplivi in insekti [20].
- Gradnja je hitra, saj je večina sestavnih delov narejena v proizvodnji, velika stopnja prefabrikacije pa skrajša čas montaže. Poleg tega ni potrebe po dolgotrajnem sušenju vgrajenih materialov, zato je možna hitra vselitev takoj po zaključku finalnih del [10].
- Gradnja z lesom je lahko zelo fleksibilna, zato lahko naročniki svobodno izbirajo obliko stavbe. Prav tako jih lahko izberejo iz ponudb proizvajalcev montažnih hiš, ki imajo že vnaprej pripravljene tipske hiše ter sami prilagodijo po svojem okusu [10].
- Lesene stavbe imajo dolgo življenjsko dobo, če so seveda pravilno vzdrževane.
- V primeru požara les dolgo zdrži obremenitve v primerjavi z jeklom [10].
- Dosedanje raziskave so izkazale dobro potresno odpornost lesenih stanovanjskih objektov [4].
- Ker so stene zidane stavbe razmeroma debelejše od lesenih, lahko pri lesenih stavbah z enakimi zunanjimi gabariti in isto toplotno izoliranostjo pridobimo do 10 % večjo uporabno površino [4].
- Proizvodnja in obdelava lesa je energetska učinkovita, saj se v primerjavi s proizvodnjo jekla, betona ali plastike v ozračje spusti nizek izpust ogljika in tako manj obremenimo okolje, kot ga bi z jekleno ali betonsko gradnjo. Uporaba lesa za gradnjo stavb lahko torej zelo prispeva k zmanjšanju izpustov toplogrednih plinov ter posledičnih negativnih vplivov na ozračje. Vsak kubični meter lesa, uporabljen kot nadomestilo za drug gradbeni material, zmanjša izpuste CO₂ v atmosfero za povprečno 1,1 t. Če upoštevamo še 0,9 t CO₂, ki se uskladišči v lesu v procesu fotosinteze, ugotovimo, da kubični meter lesa prihrani 2 t CO₂ [2].

2.5 Konstrukcijski sistemi

V leseni gradnji ločimo tri glavne konstrukcijske sisteme: masivni, okvirni in skeletni (Slika 10), katere bom tudi sama uporabila kot izhodišče za izbor primerjanih KS zunanjih sten slovenskih proizvajalcev lesenih stavb.



Slika 11: Sistemi lesene gradnje. Z leve proti desni: okvirni, skeletni, masivni sistem [21]

2.5.1 Masivna konstrukcija

Glede na izvedbo masivne stene, ločimo dva tipa zgradb; tiste, ki imajo masivne stene iz klad, brun, tramov ter tiste s stenami iz lepljenih ali mozničenih panelnih lesenih elementov [10].

1.5.1.1 Kladna oz. brunasta konstrukcija

Tak sistem predstavlja najstarejšo vrsto lesene konstrukcije. Danes se uporablja večinoma za izgradnjo manjših stanovanjskih objektov. Dimenzije prostorov so omejene z dolžino hloda. Brune in tramove obdelajo v delavnici ter jih oštevilčijo skladno z načrti, kar omogoča hitro izgradnjo. Stik dveh pravokotnih sten se običajno izvede kot križni preklap s pomočjo zareza, pri čemer pride do blokiranja z lastno težo, zaradi česar konstrukcija ne potrebuje dodatnih veznih sredstev [10]. Stene so po navadi enostransko obložene z izolacijo in ploščami, lahko pa se izvedejo tudi brez oblog, kjer je stena iz vidnih brun, tramov ali plošč iz obdelanega lesa [5].

1.5.1.2 Sodobna masivna lesena konstrukcija

V zadnjem obdobju, ko so z razvojem lesene montažne gradnje prišli na trg novi proizvodi, se vse več izvajajo stene iz industrijsko izdelanih masivnih plošč (XLam), ki so med seboj križno lepljene ali mozničene, žebljane. Take plošče imajo boljše mehanske in deformacijske lastnosti, ki so bolj enakomerno razporejene po elementu kot pa v primeru plošč iz masivnega ali enosmerno lepljenega lesa. Križno lepljene elemente sestavljajo križno zložene lesene lamele, ki so pod visokim pritiskom zlepljene v večjo masivno ploščo. Zaradi križno orientiranih lamel lahko plošče prenašajo obtežbo v dveh pravokotnih smereh, kar omogoča njihovo uporabo tako za stenske kot stropne elemente. Tako

imenovane XLam plošče se lahko kombinirajo z jeklom, steklom in z vsemi ostalimi gradbenimi materiali, s čimer je zagotovljena večja svoboda v arhitekturni zasnovi [10].

2.5.2 Okvirna konstrukcija

Tak sistem predstavlja prevladujoč način gradnje eno in dvoetažnih lesenih hiš. Pri zagotavljanju nosilnosti in stabilnosti teh konstrukcij sodeluje osrednji del, sestavljen iz linijskih elementov na katere so na obeh straneh pritrjene tanjše plošče. Linijski sestavni deli so po navadi stebri in prečke različnih dimenzij iz masivnega lesa, kot zunanja obloga pa se uporablja različne plošče, in sicer so lahko to lesene plošče z usmerjenim iverjem (OSB), mavčno kartonske plošče, plošče iz lesenih vlaken, vezane plošče. Prostor med ploščama je zapolnjen s toplotno izolacijo (mineralna volna, kamena volna, steklena volna), v današnjem času pa je pogosta izolacija iz naravnih materialov: les, celuloza, volna, konoplja, slama [10].

Na slovenskem trgu je največ ponudnikov hiš z leseno okvirno panelno konstrukcijo, ki v proizvodnji najprej izdelajo prefabricirane elemente in jih nato na gradbišču sestavijo v celoto.

2.5.3 Skeletna konstrukcija

Nosilna konstrukcija je sestavljena iz stebrov in nosilcev, ki so postavljeni na določenem rastru. Stene ne prevzemajo nosilne funkcije, saj vso vertikalno obremenitev prevzame skelet, zato so možne svobodnejše zasnove tlorisa. Obod skeleta se lahko zapira s steklom, prefabriciranimi elementi iz lesa ali pa se jih zazida [10].

2.6 Razlaga pojmov

V tem poglavju bom na kratko razložila nekaj pojmov, ki sodijo v okvir obravnavanih gradbeno-fizikalnih in okoljskih parametrov:

- LCA - ang. *Life Cycle Assessment*: To je metoda, s katero se ocenjuje okoljski vpliv gradbenega materiala skozi njegovo življenjsko dobo, skozi tri faze. V prvi, proizvodni fazi, se upošteva pridobivanje in proizvodnja materiala ter njegov transport do gradbišča. V naslednji, fazi uporabe, se ocenjuje poraba energije, toplotne značilnosti in vzdrževanje, pri končni fazi pa reciklaža, obnavljanje in odlaganje materiala. S predelavo lesa in izdelkov iz lesa nastaja zelo malo odpadkov, saj se vsi stranski proizvodi lahko uporabijo [2].
- LCEA - ang. *Life Cycle Energy Assessment*: Metoda za oceno potrošene in vgrajene energije zgradb skozi njihov cel življenjski cikel [22].
- LCCA - ang. *Life Cycle Cost Analysis*: Metoda za oceno skupnih stroškov objekta, od pridobivanja materialov do odstranjevanja zgradbe [22].
- Vgrajena energija ang. *Embodied energy*: Primarna energija, ki je potrebna v celotni življenjski dobi materiala, za pridobivanje, izdelavo in transport [10].

- Ogljični odtis od zibke do groba (ang. *Carbon footprint from Cradle to grave*): Seštevek emisij toplogrednih plinov, sproščenih v okolje (od pridobivanja materialov in surovin do odstranjevanja in uničenja izdelkov). Kot osnovna enota služi CO₂, ki se meri v kilogramih ali tonah. Določitev ogljičnega odtisa je prvi korak v želji, da se nadzoruje in zmanjša emisije toplogrednih plinov [23].
- Toplotna prehodnost (U [W/(m²K)]) KS pove, kolikšen toplotni tok preteče pri stacionarnih pogojih v 1 uri skozi 1 m², če je temperaturna razlika zraka na obeh straneh sklopa enaka 1 K [24]. Manjša kot je ta vrednost, manj toplote uide skozi stene, tem boljši je KS.
- Temperaturno dušenje predstavlja razmerje med amplitudo temperaturnega nihanja zunanega zraka in amplitudo temperaturnega nihanja notranje površine zidu [25].
- Temperaturna zakasnitev predstavlja čas od trenutka, ko zunanja temperatura doseže maksimum, do časa, ko notranja temperatura doseže maksimum [26].

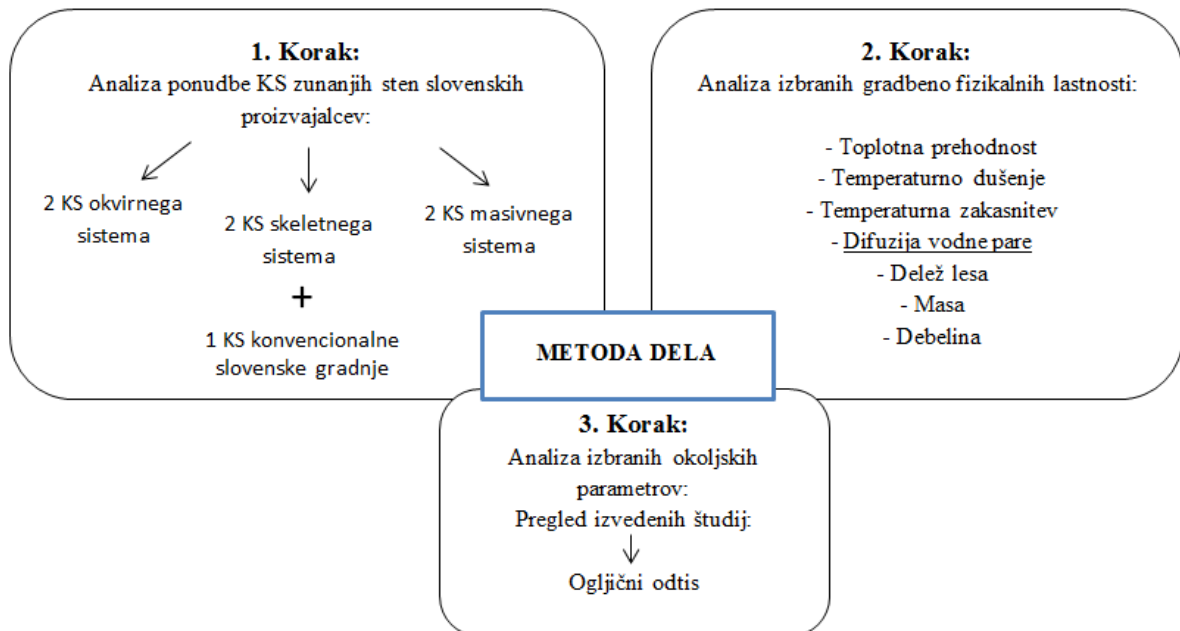
3 METODA DELA

Nalogo sem izdelala v treh korakih. V 1. koraku sem izdelala analizo ponudbe slovenskih proizvajalcev montažnih hiš, izbrala karakteristične konstrukcijske sklope zunanjih sten ter jih prikazala v preglednici. Za izhodišče sem povzela preglednico iz [10] ter jo nadgradila s tem, da sem v njej dodala celico, kjer sem pod opombami zapisala v kakšne namene se uporablja les v posameznem KS. Konstrukcijski sklopi so razvrščeni glede na njihovo toplotno prehodnost, od najmanjše do največje ter po sistemu lesene gradnje. V preglednici sem podala ime proizvajalca KS, način sistema gradnje, ime in prikaz KS, njegovo debelino ter toplotno prehodnost. Pod opombami pa je zapisano, kje in za kakšen namen se uporablja les v predstavljenem KS.

Izmed prikazanih in analiziranih KS zunanjih sten sem izbrala za nadaljnjo analizo dva karakteristična primera za vsako od treh konstrukcijskih skupin, torej 6 različnih KS zunanjih sten. Pri izboru sem bila pozorna na to, da en KS vsebuje les le za nosilno konstrukcijo, drugi pa poleg tega še za toplotno izolacijo in/ali oblogo. Za lažjo obravnavo in nadaljnje sklicevanje sem vsem tipom konstrukcijskega sklopa dodelila specifično oznako. Sklopi iz sistema okvirne lesene gradnje imajo oznako Oi, KS iz sistema masivne lesene gradnje imajo oznako Mi, KS skeletne gradnje pa Si, kjer je pod črko i pri vseh sistemih navedena zaporedna številka posameznega KS iz preglednic v poglavju 4.1. Kot referenco sem analizirala tudi KS tako imenovane konvencionalne slovenske gradnje, t.j. KS, ki se pojavlja v tipični slovenski hiši, zgrajeni iz opeke in armiranega betona. Ta KS sem označila z oznako K.

V 2. koraku sem opravila analizo gradbeno-fizikalnih lastnosti izbranih sedmih KS zunanjih sten s programom TEDI [27]. Spremljala sem toplotno prehodnost (U faktor), difuzijo vodne pare in toplotno stabilnost KS, kot tudi skupno debelino KS in odstotek vsebnosti lesa glede na maso. Poleg gradbeno-fizikalnih lastnosti sem v 3. koraku primerjala tudi okoljske parametre lesene in konvencionalne gradnje. Izmed velikega števila okoljskih parametrov sem se v okviru LCA študije

osredotočila predvsem na ogljični odtis. Podatke sem pridobila s pomočjo izbranih študij, ki so bile izvedene na tem področju. Študije sem iskala v bazi Science Direct in Google Search s ključnimi besedami v angleščini in slovenščini: environmental assessment, LCA, wood, timber construction [28].


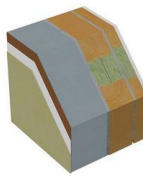
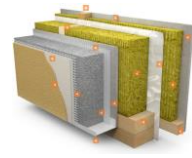
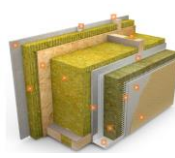


Slika 12: Shema metode dela




4 ANALIZA

4.1 KORAK 1: Pregled KS zunanjih sten izbranih slovenskih proizvajalcev

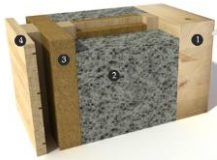

Preglednica 1: Prikaz KS izbranih slovenskih proizvajalcev [29], [30], [31]

Proizvajalec	LUMAR IG d.o.o.	Jelovica d.d.	Marles Hiše	Marles Hiše
Način gradnje	Okvirna lesena konstrukcija	Okvirna lesena konstrukcija	Okvirna lesena konstrukcija	Okvirna lesena konstrukcija
Ime konstrukcijskega sklopa	O1: Lumar PASIV EKO	O2: Pasiv	O3: Mega plus pasiv N14	O4: Pasiv
				
Debelina stene	455,5 mm	452 mm	397 mm	494 mm
Toplotna prehodnost	<0,1 W/m ² K	0,10 W/m ² K	0,10 W/m ² K	0,09 W/m ² K
Opombe	<ul style="list-style-type: none"> - Plošča iz lesenih vlaken 60 mm - Lesena nosilna konstrukcija 360 mm - Izolacija iz celuloznih vlaken 360 mm - Parna ovira OSB plošča 15 mm 	<ul style="list-style-type: none"> - Zunanja obloga NK iz cementno iverne plošče 16 mm - Lesena NK 80/140 mm 	- NK iz lesa 60/160 mm	- NK iz lesa 60/160 mm
ZUNAJ				
Fasada	Armirmi in zaključni sloj	Armirmi in zaključni sloj	Armirana malta in dekorativni zaključni omet	Armirana malta in dekorativni zaključni omet
Izolacija fasade	Lesena vlakna 60 mm	Neopor 200mm	Neopor 140 mm	Kamena volna 100 mm
Zunanja obloga NK	-	Cementno iverna plošča 16mm	Mavčno vlaknena plošča 15 mm	Mavčno vlaknena plošča 15 mm
Nosilna konstrukcija (NK)	I nosilci 360 mm	Les 80/140mm	Les 60/160 mm	Les 60/160 mm
Izolacija med NK	Celulozna vlakna 360 mm	mineralna volna 140 mm	kamena volna 160 mm	kamena volna 280 mm
Parna ovira	OSB plošča 15 mm	PE-folija /Cementno iverna plošča 12 mm	PE folija	PE folija/ OSB 15 mm
Izolacija na notranji strani	-	mineralna volna 60 mm	Kamena volna 60 mm	Kamena volna 60 mm
Finalna obloga	Mavčno vlaknena plošča 12,5 mm	Mavčno kartonska 18 mm	Mavčno vlaknena plošča 15 mm	Mavčno vlaknena plošča 15 mm
ZNOTRAJ				



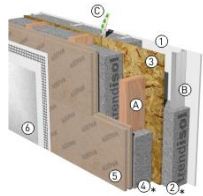
Preglednica 2: Prikaz KS izbranih slovenskih proizvajalcev [10], [32], [33]

Proizvajalec	Riko Hiše	Rihter d.o.o.	Rihter d.o.o.
Način gradnje	Okvirna lesena konstrukcija	Okvirna lesena konstrukcija	Okvirna lesena konstrukcija
Ime konstrukcijskega sklopa	O5: Riko Pasivna Plus stena	O7: Rihter Pasiv	O8: Rihter Pasiv +
			
Debelina stene	475 mm + fasada	470 mm	530 mm
Toplotna prehodnost	0,1 W/m ² K	0,09 W/m ² K	0,08 W/m ² K
Opombe	<ul style="list-style-type: none"> - Izolacija fasade iz lesenih vlaken 60 mm - NK iz lesenih I nosilcev - Izolacija iz celuloznih vlaken 360 mm - Parna ovira OSB plošča 	<ul style="list-style-type: none"> - Lesena konstrukcija 160 mm - OSB plošča 15 mm 	<ul style="list-style-type: none"> - Lesena konstrukcija 220 mm - OSB plošča 15 mm
ZUNAJ			
Fasada	Neprezračevana: omet in dekorativna fasada, Prezračevana: mavčno vlaknena plošča, lesena, kamnita, opečna ali druga obloga	Paropropustni fasadni omet 6mm	Paropropustni fasadni omet 6mm
Izolacija fasade	Lesena vlakna 60 mm	Kamena volna 200 mm	Kamena volna 200 mm
Zunanja obloga NK	-	Mavčno vlaknena plošča 15 mm	Mavčno vlaknena plošča 15 mm
Nosilna konstrukcija (NK)	I nosilci	Lesena konstrukcija 160 mm	Lesena konstrukcija 220 mm
Izolacija med NK	Celulozna vlakna 360 mm	Kamena volna 160 mm	Kamena volna 220 mm
Parna ovira	OSB plošča	OSB plošča s polepljenimi stiki 15 mm	OSB plošča s polepljenimi stiki 15 mm
Izolacija na notranji strani	-	Kamena volna v inštalacijski ravnini 60 mm	Kamena volna v inštalacijski ravnini 60 mm
Finalna obloga	Mavčno vlaknena plošča 12,5 ali 25 mm	Mavčno kartonska ognjevarna plošča (GKF) 15 mm	Mavčno kartonska ognjevarna plošča (GKF) 15 mm
ZNOTRAJ			

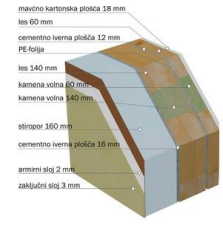
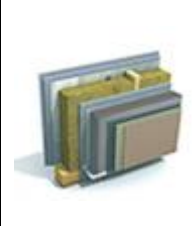
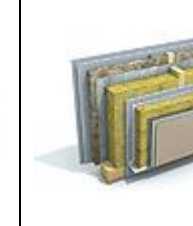
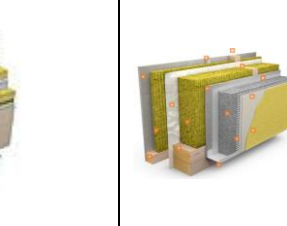
Preglednica 3: Prikaz KS izbranih slovenskih proizvajalcev [34], [35], [36], [10]

Proizvajalec	JARIS d.o.o.	Riko Hiše	Lesoteka hiše d.o.o.
Način gradnje	Okvirna lesena konstrukcija	Masivna lesena konstrukcija	Masivna lesena konstrukcija
Ime konstrukcijskega sklopa	O9: PASIVNA	M1: Riko pasivna lesena	M2: LBN Premium
	-		
Debelina stene	454,5 mm	520 mm + fasada	508 mm
Toplotna prehodnost	0,093 W/m ² K	0,09 W/m ² K	0,09 W/m ² K
Opombe	<ul style="list-style-type: none"> - Izolacija fasade z leseno vlakneno ploščo 100 mm - NK iz lesenega okvirja - Toplotna izolacija iz celuloznih kosmičev 220 mm - Notranja izolacija v instalacijskem kanalu iz celuloznih kosmičev 100 mm 	<ul style="list-style-type: none"> - Prezračevana lesena fasada - Izolacija fasade iz lesenih vlaken 60 mm - NK iz smrekove lesene lepljene stene 100mm - Toplotna izolacija iz celuloznih vlaken 360 mm med lesenimi I nosilci - OSB plošča kot parna ovira, na katero je pritrjena vertikalna lesena podkonstrukcija za inštalacijsko ravnino, ki jo po želji napolnimo z izolacijo iz lesnih vlaken 	<ul style="list-style-type: none"> - Lesena konstrukcija 360 - Bruna 115 mm
ZUNAJ			
Fasada	Fasada Röfix tipa Sisi 7 mm	Neprezračevana: omet in dekorativna fasada, Prezračevana: mavčno vlaknena plošča, lesena ali druga obloga	Armirana malta in končni sloj fasade
Izolacija fasade	Leseno vlaknena fasadna plošča 100 mm	Lesena vlakna 60 mm	Cementna plošča 12,5 mm
Zunanja obloga NK	-	-	-
Nosilna konstrukcija (NK)	Leseni okvir	Smrekova lesena lepljena stena 100 mm	Lesena konstrukcija 360 mm
Izolacija med NK	Celulozni kosmiči 220 mm	Celulozna vlakna 360 mm (med lesenimi I nosilci)	Mineralna volna 360 mm
Parna ovira	-	-	Paropropustna folija
Izolacija na notranji strani	Instalacijski kanal z vmesno izolacijo iz celuloznih kosmičev 100 mm	-	-
Finalna obloga	Mavčno kartonska plošča 12,5 mm	Vidna lesena površina	Bruna 115 mm
ZNOTRAJ			


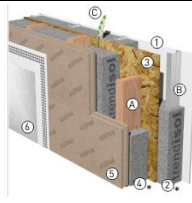
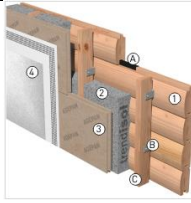
Preglednica 4: Prikaz KS izbranih slovenskih proizvajalcev [37], [38], [39]

Proizvajalec	CI produkt d.o.o.	Kager Hiša d.o.o.	Ekoprodukt d.o.o.
Način gradnje	Lesena skeletna konstrukcija	Lesena skeletna konstrukcija	Lesena skeletna konstrukcija
Ime konstrukcijskega sklopa	S1: EKO pasiv	S2: BIO PASIV	S3: Stena pasivne hiše
			
Debelina stene	438 mm	485,5 mm	438 mm
Toplotna prehodnost	0,128 W/m ² K	0,106 W/m ² K	0,106 W/m ² K
Opombe	<ul style="list-style-type: none"> - Leseno vlaknena fasadna plošča 80mm - Lesena konstrukcija 240 mm - Toplotna izolacija iz celuloznih vlaken 240 mm - OSB konstrukcijska plošča 15 mm - Leseno vlaknena instalacijska plošča 80 mm 	<ul style="list-style-type: none"> - Izolacija fasade z leseno vlakneno ploščo 60 mm - Leseni I nosilci 300 mm - Toplotna izolacija z lesenimi vlakni 300mm - Lesena gradbena plošča 15 mm - Izolacija na notranji strani z leseno volno 40 mm med letvami 60 mm 	<ul style="list-style-type: none"> - Izolacija fasade z leseno vlakneno ploščo AGEPAN THD 80 mm - Konstrukcijski les KVH 80/180mm - Toplotna izolacija s celuloznimi vlakni TRENDISOL 180mm - Parna ovira z OSB ploščo 15mm - Izolacija na notranji strani s celuloznimi vlakni TRENDISOL 140mm
ZUNAJ			
Fasada	Paropropustni fasadni sloj 8mm	Armirana malta in strukturni silikonski omet	Armirana malta in zaključni fasadni omet MARMORIT
Izolacija fasade	Lesenovlaknena fasadna plošča 80 mm	Lesno vlaknena plošča 60 mm	Leseno vlaknena plošča AGEPAN THD 80 mm
Zunanja obloga NK	-	Mavčna vlaknena plošča 15 mm	-
Nosilna konstrukcija (NK)	Lesena konstrukcija 240 mm	I nosilci 300mm	Konstrukcijski les KVH 80/180mm
Izolacija med NK	Celulozna izolacija 240 mm	leseno vlakna 300 mm	Celulozna vlakna TRENDISOL 180 mm
Parna ovira	OSB konstrukcijska plošča 15 mm	Lesena gradbena plošča 15 mm	OSB plošča 15mm
Izolacija na notranji strani	leseno vlaknena instalacijska plošča 80 mm	Lesena volna 40 mm med letvami 60 mm	Celulozna vlakna 140 mm
Finalna obloga	Požarno mavčno kartonska plošča 15 mm	Mavčno vlaknena plošča 15 in ognjevarna mavčno kartonska po plošča 12,5 mm	Mavčno kartonska plošča 15 mm
ZNOTRAJ			

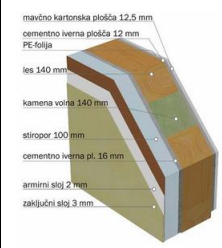
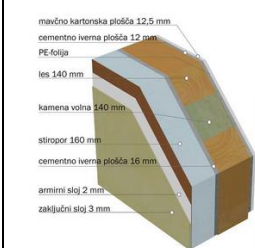

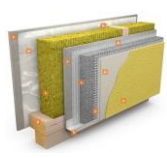
Preglednica 5: Prikaz KS izbranih slovenskih proizvajalcev [40], [41], [42], [43]

Proizvajalec	Jelovica d.d.	Lumar IG d.o.o.	Lumar IG d.o.o.	Marles Hiše
Način gradnje	Okvirna lesena konstrukcija	Okvirna lesena konstrukcija	Okvirna lesena konstrukcija	Okvirna lesena konstrukcija
Ime konstrukcijskega sklopa	O10: Termo +	O11: Lumar SUPER STANDARD	O12: LUMAR PRESTIGE	O13: Mega plus N10
				
Debelina stene	412 mm	345 mm	365 mm	354 mm
Toplotna prehodnost	0,115 W/m ² K	0,114 W/m ² K	0,119 W/m ² K	0,12 W/m ² K
Opombe	<ul style="list-style-type: none"> - Zunanja obloga NK s cementno iverno ploščo 16mm - NK iz KVH lesa 140 mm - NK na notranji strani BSH les 60 mm 	<ul style="list-style-type: none"> - Lesena nosilna konstrukcija 160 mm 	<ul style="list-style-type: none"> - Lesena nosilna konstrukcija 160 mm - Toplotna izolacija iz celuloznih vlaken 160 mm - Lesena podkonstrukcija 60 mm 	<ul style="list-style-type: none"> - Lesena NK 60/160 mm - Lesena konstrukcija na notranji strani 60/60 mm
ZUNAJ				
Fasada	Armirni in zaključni sloj	Armirana malta in končni sloj fasade	Armirana malta in končni sloj fasade	Armirana malta in dekorativni zaključni omet
Izolacija fasade	Stiropor 160mm	Mineralna volna 140 mm	Mineralna volna 100/140 mm	Neopor 100 mm
Zunanja obloga NK	Cementno iverna plošča 16mm	Mavčno vlaknena plošča 15mm	Mavčno vlaknena plošča 15mm	Mavčno vlaknena plošča 15 mm
Nosilna konstrukcija (NK)	Les 80/140mm	Les 160mm	Les 160	Les 60/160 mm
Izolacija med NK	Kamena volna 140 mm	Mineralna volna 160 mm	Mineralna ali celulozna izolacija 160 mm	kamena volna 140 mm
Parna ovira	PE-folija/ Cementno iverna plošča 12 mm	Parna zapora 0.2 mm	Parna ovira	PE folija
Izolacija na notranji strani	Kamena volna 60 mm	-	Mineralna toplotna in zvočna izolacija ob leseni podkonstrukciji	Kamena volna 40 mm
Finalna obloga	mavčno kartonska plošča 18 mm	Mavčno vlaknena plošča 15mm + 10 mm	Mavčno vlaknena plošča 15mm + 10 mm	Mavčno vlaknena plošča 15 mm
ZNOTRAJ				


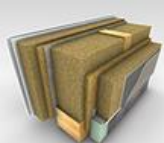
Preglednica 6: Prikaz KS izbranih slovenskih proizvajalcev [44], [45], [46], [47]

Proizvajalec	Rihter d.o.o.	GLIN Hiše	Ekoprodukt d.o.o.	Ekoprodukt d.o.o.
Način gradnje	Okvirna lesena konstrukcija	Okvirna lesena konstrukcija	Lesena skeletna konstrukcija	Masivna lesena konstrukcija
Ime konstrukcijskega sklopa	O14: Rihter Optimal	O15: Sistem Glin Plus	S4: Stena dobre nizko energijske hiše	M3: Masivna lesena stena z dobro zunanjo izolacijo
		-		
Debelina stene	370mm	360 mm	378mm	490 mm
Toplotna prehodnost	0,12 W/m ² K	0,114 W/m ² K	0,125 W/m ² K	0,15 W/m ² K
Opombe	- NK lesena 120 mm - Parna ovira OSA plošča 15mm - Lesene letve v instalacijski ravnini 60 mm	- Lesena NK 160mm	- Izolacija fasade z leseno vlakneno ploščo AGEPAN THD 60 mm - Konstrukcijski masivni les KVH 80/180 mm - Izolacija iz celuloznih vlaken TRENDI SOL ali FLEX 180 mm - Parna ovira iz OSB plošče 15mm - Izolacija na notranji strani z leseno vlakneno ploščo AGEPAN THD 100 mm	- Na zunanji strani leseno vlaknena plošča AGEPAN THD 60mm - Toplotna izolacija z celuloznimi vlakni TRENDI SOL 200 mm - Stenske brune 150 mm
ZUNAJ				
Fasada	Paropropustni fasadni omet 6mm	Armirana malta 2mm in zaključni fasadni omet v beli barvi 2 mm	Armirana malta in zaključni fasadni omet MARMORIT 8mm	Armirana malta in zaključni fasadni omet MARMORIT
Izolacija fasade	Kamena volna 140 mm, lamele	Neopor 150 mm	Leseno vlaknena plošča AGEPAN THD 60mm	Leseno vlaknena plošča AGEPAN THD 60mm
Zunanja obloga NK	Mavčno vlaknena plošča 15 mm	Mavčno vlaknena plošča 15 mm	-	-
Nosilna konstrukcija (NK)	Lesena konstrukcija 120 mm	Lesena konstrukcija 160 mm	Konstrukcijski les KVH 80/180 mm	Lesene letve podkonstrukcije
Izolacija med NK	Kamena volna 120 mm	Steklena volna TP 115 160 mm	Celulozna vlakna TRENDI SOL ali FLEX 180 mm	Celulozna vlakna TRENDI SOL 200 mm
Parna ovira	OSB plošča s polepljenimi stiki 15 mm	PE folija	OSB plošča 15 mm	BLOCKHAUSBAND tesnilni trak
Izolacija na notranji strani	Kamena volna v instalacijski ravnini 60 mm	-	Celulozna vlakna TRENDI SOL 100 mm	-
Finalna obloga	Mavčno kartonska ognjevarna plošča (GKF) 15 mm	Mavčno vlaknena plošča 15 mm + 10 mm	Mavčno kartonska plošča 15 mm	Stenske brune 150 mm
ZNOTRAJ				

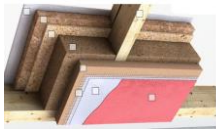

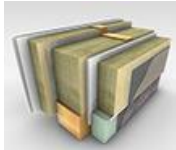
Preglednica 7: Prikaz KS izbranih slovenskih proizvajalcev [48], [49], [50]

Proizvajalec	Jelovica d.d.	Jelovica d.d.	Lumar IG d.o.o.	Marles Hiše
Način gradnje	Okvirna lesena konstrukcija	Okvirna lesena konstrukcija	Okvirna lesena konstrukcija	Okvirna lesena konstrukcija
Ime konstrukcijskega sklopa	O16: Optima	O17: Optima +	O18: Lumar STANDARD	O19: Basic N6
				
Debelina stene	286,7 mm	346,7 mm	305 mm	240 mm
Toplotna prehodnost	0,17 W/m ² K	0,13 W/m ² K	0,144 W/m ² K	0,19 W/m ² K
Opombe	<ul style="list-style-type: none"> - Notranja obloga NK iz cementno iverne plošče 12 mm - NK iz KVH lesa 80/140mm - Finalna obloga iz cementno iverne plošče 16 mm 	<ul style="list-style-type: none"> - Notranja obloga NK iz cementno iverne plošče 12 mm - NK iz KVH lesa 80/140 mm - Finalna obloga iz cementno iverne plošče 16 mm 	<ul style="list-style-type: none"> - NK les 160 mm 	<ul style="list-style-type: none"> - Lesena NK 60/140mm
ZUNAJ				
Fasada	Armirni in zaključni sloj	Armirni in zaključni sloj	Armirana malta in končni sloj fasade	Armirana malta in dekorativni zaključni omet
Izolacija fasade	Stiropor 100 mm	Stiropor 160mm	Stiropor 100mm	Neopor 60 mm
Zunanja obloga NK	Cementno iverna plošča 16mm	Cementno iverna plošča 16mm	Mavnčno vlaknena plošča 15mm	Mavnčno vlaknena plošča 15 mm
Nosilna konstrukcija (NK)	Les 80/140mm	Les 80/140mm	Les 160mm	Les 60/140 mm
Izolacija med NK	Kamena volna 140 mm	Kamena volna 140 mm	Mineralna volna 160 mm	Mineralna volna 120 mm
Parna ovira	PE-folija	PE-folija	Parna zapora 0.2 mm	PE folija
Izolacija na notranji strani	-	-	-	-
Finalna obloga	Cementno iverna plošča 12 mm in mavčno kartonska plošča 12,5 mm	Cementno iverna plošča 12 mm in mavčno kartonska plošča 12,5 mm	Mavnčno vlaknena plošča 15mm + 10 mm	Mavnčno vlaknena plošča 15 mm
ZNOTRAJ				


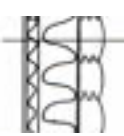


Preglednica 8: Prikaz KS izbranih slovenskih proizvajalcev [51], [52], [53]

Proizvajalec	Riko hiše	Rima hiše d.o.o.	JARIS d.o.o.	JARIS d.o.o.
Način gradnje	Okvirna lesena konstrukcija	Okvirna lesena konstrukcija	Okvirna lesena konstrukcija	Okvirna lesena konstrukcija
Ime konstrukcijskega sklopa	O20: Riko Plus stena	O21: BIO	O22: PRIJAZNA	O23: VARČNA
			-	-
Debelina stene	312 mm + fasada	315 mm	304,5 mm	324,5 mm
Toplotna prehodnost	0,19 W/m ² K	0,15 W/m ² K	0,177 W/m ² K	0,134 W/m ² K
Opombe	<ul style="list-style-type: none"> - Prezračevana lesena fasada - Izolacija fasade z leseno vlakneno ploščo 60 mm - NK iz lesa (stebri, prečke) - Toplotna izolacija iz celuloznih vlaken 160/200/240 mm - Parna ovira OSB plošča - Izolacija na notranji strani iz leseno vlaknene plošče 40 ali 60 mm 	<ul style="list-style-type: none"> - Izolacija fasade iz lesenih vlaken 60 mm - OSB plošča 15 mm - Lesena NK 60/140mm - Toplotna izolacija z lesenimi vlakni 140 mm - Parna ovira kot OSB plošča 15 mm - Lesena podkonstrukcija inštalacijske ravnine 60/60 mm in izolacija iz lesenih vlaken 60 mm 	<ul style="list-style-type: none"> - Leseno vlaknena fasadna plošča 60 mm - NK leseni okvir - Toplotna izolacija iz celuloznih kosmičev 160 mm - Konstrukcijska plošča in parna ovira OSB 15 mm 	<ul style="list-style-type: none"> - Leseno vlaknena fasadna plošča 60 mm - NK leseni okvir - Toplotna izolacija iz celuloznih kosmičev 180 mm - Konstrukcijska plošča in parna ovira OSB 15 mm - Inštalacijski kanal z vmesno izolacijo 50 mm
ZUNAJ				
Fasada	Neprezračevana: omet in dekorativna fasada, Prezračevana: mavčno vlaknena plošča, lesena ali druga obloga	Dvoslojno fasadno lepilo z utopljeno fasadno mrežico in silikatni zaključni omet	Fasada Röfix tipa Sisi 7 mm	Fasada Röfix tipa Sisi 7 mm
Izolacija fasade	lesena vlakna 60 mm	Lesena vlakna 60 mm	Leseno vlaknena fasadna plošča 60 mm	Leseno vlaknena fasadna plošča 60 mm
Zunanja obloga NK	-	OSB plošča 15 mm	-	-
Nosilna konstrukcija (NK)	I nosilci	Lesena konstrukcija 60/140 mm	Leseni okvir	Leseni okvir
Izolacija med NK	Celulozna vlakna 160, 200 ali 240 mm	Lesena vlakna 140 mm	Celulozni kosmiči 160 mm	Celulozni kosmiči 180 mm
Parna ovira	OSB plošča	Parna ovira/ OSB plošča 15 mm	Konstrukcijska plošča in parna ovira OSB 15 mm	Konstrukcijska plošča in parna ovira OSB 15 mm
Izolacija na notranji strani	Lesena vlakna 40 ali 60 mm	Lesena vlakna 60 mm v inštalacijski ravnini	-	Inštalacijski kanal z vmesno izolacijo iz celuloznih kosmičev 50 mm
Finalna obloga	Mavčno vlaknena plošča 12,5 ali 25 mm	Mavčno vlaknena plošča 15 + 10 mm	Mavčno kartonska plošča 12,5	Mavčno kartonska plošča 12,5
ZNOTRAJ				



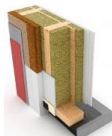

Preglednica 9: Prikaz KS izbranih slovenskih proizvajalcev [54], [55], [56], [57]

Proizvajalec	Liris hiše d.o.o.	Glin Nazarje	Rihter d.o.o.	Rima hiše d.o.o.
Način gradnje	Okvirna lesena konstrukcija	Okvirna lesena konstrukcija	Okvirna lesena konstrukcija	Okvirna lesena konstrukcija
Ime konstrukcijskega sklopa	O24: -	O25: Sistem Glin	O26: Rihter Standard	O27: STANDARD PLUS
		-		
Debelina stene	330 mm	350 mm	310 mm	325 mm
Toplotna prehodnost	0,14 W/m ² K	0,124 W/m ² K	0,15 W/m ² K	0,12 W/m ² K
Opombe	<ul style="list-style-type: none"> - Izolacija fasade z leseno vlakneno ploščo 60 mm - NK iz BSH lepljenega lesa 60/80 mm - Izolacija iz leseno vlaknene plošče ali vpihanih lesenih vlaken 180 mm - Obloga NK z OSB ploščo 15 mm - Lesena konstrukcija instalacijske ravnine 60/60mm in izolacija na notranji strani iz leseno vlaknene plošče 60 mm 	<ul style="list-style-type: none"> - Lesena NK 160/80 mm 	<ul style="list-style-type: none"> - Mavčno vlaknena plošča 15 mm kot obloga NK - Lesena NK 120 mm 	<ul style="list-style-type: none"> - NK les 60/140 mm - Lesena podkonstrukcija instalacijske ravnine 60/60 mm
ZUNAJ				
Fasada	Armirana malta in zaključni omet	Armirana malta 2mm in zaključni fasadni omet v beli barvi 2 mm	Omet 6 mm	Armirana malta in zaključni omet 5mm
Izolacija fasade	Leseno vlaknena plošča 60 mm	Stiropor 150 mm	Stiropor EPS 140 mm	Kamena volna 80 mm
Zunanja obloga NK	-	Mavčno vlaknena plošča 15 mm	Mavčno vlaknena plošča 15 mm	Mavčno vlaknena plošča 80 mm
Nosilna konstrukcija (NK)	BSH lepljene 60/180 mm	Lesena konstrukcija 160/80 mm	Lesena konstrukcija 120 mm	NK les 60/140 mm
Izolacija med NK	Leseno vlaknena plošča ali vpihana lesena vlakna 180 mm	Steklena volna TP 115 160 mm	Kamena volna 120 mm	Kamena volna 140 mm
Parna ovira	OSB plošča 15 mm	PE folija	Parna zapora	Parna ovira
Izolacija na notranji strani	Leseno vlaknena plošča 60 mm	-	-	Kamena volna 60 mm v leseni podkonstrukciji instalacijske ravnine 60/60 mm
Finalna obloga	Bio mavčno vlaknena plošča 15 mm	Mavčno vlaknena plošča 15 mm	Mavčno kartonska ognjevarna plošča (GKF) 12,5 mm	Mavčno vlaknena plošča 15 mm + 10 mm
ZNOTRAJ				

Preglednica 10: Prikaz KS izbranih slovenskih proizvajalcev [58], [59], [60], [61], [10]

Proizvajalec	Ekoprodukt d.o.o.	Ciproš d.o.o.	Lesoteka hiše d.o.o.	Riko hiše
Način gradnje	Masivna lesena konstrukcija	Masivna lesena konstrukcija	Masivna lesena konstrukcija	Masivna lesena konstrukcija
Ime konstrukcijskega sklopa	M4: Masivna lesena stena z zunanjo izolacijo	M5: BIO hiša	M6: LBN Basic	M7: Riko lesena stena
				
Debelina stene	338 mm	295 mm	283 mm	220 mm + fasada
Toplotna prehodnost	0,2 W/m ² K	0,189 W/m ² K	0,18 W/m ² K	0,27 W/m ² K
Opombe	<ul style="list-style-type: none"> - Izolacija fasade z leseno vlakneno ploščo AGEPAN THD 60 mm - Lesene letve podkonstrukcije - Izolacija iz celuloznih vlaken TRENDI SOL 120 mm - Stenske brune 150 mm 	<ul style="list-style-type: none"> - Lesena bruna 70 mm - Lesena konstrukcija 70 mm - Podkonstrukcija iz lesenih letev 50 mm - Lesena stenska obloga 130 mm 	<ul style="list-style-type: none"> - Lesena NK 160 mm - Oplata 20 mm - Finalna obloga iz brun na notranji strani 90 mm 	<ul style="list-style-type: none"> - Prezračevana fasada z leseno oblogo - Izolacija fasade z lesenimi vlakni 60 mm - NK iz lesenih lepljenih smrekovih lamel 100 mm - Izolacija iz lesenih vlaken 60-200 mm
ZUNAJ				
Fasada	Armirana malta in zaključni fasadni omet MARMORIT	Bruna ravna ali zaobljena 70 mm	Armirana malta in končni sloj fasade 0,6 mm	Neprezračevana: omet in dekorativna fasada, Prezračevana: mavčno vlaknena plošča, lesena ali druga obloga
Izolacija fasade	Leseno vlaknena plošča AGEPAN THD 60mm	Vetrna zapora	Cementna plošča 12,5 mm na leseni oplati 80/20 mm	lesena vlakna 60 mm
Zunanja obloga NK	-	Mavčno vlaknena plošča 15 mm	Paroprepustna folija 0,2mm	-
Nosilna konstrukcija (NK)	Lesene letve podkonstrukcije	Lesena konstrukcija 120 mm	Lesena konstrukcija 80/160 mm	Smrekova lesena lepljena stena 100 mm
Izolacija med NK	Celulozna vlakna TRENDI SOL 120 mm	Kamena volna 120 mm	Mineralna volna 160 mm	Lesena vlakna 60-200 mm
Parna ovira	BLOCKHAUSBAND tesnilni trak	Parna zapora	Paroprepustna folija 0,2 mm	-
Izolacija na notranji strani	-	-	-	-
Finalna obloga	Stenske brune 150 mm	Mavčna obloga 2x12,5 mm ali lesena stenska obloga 13 mm	Bruna 90 mm	Vidna lesena površina
ZNOTRAJ				

Preglednica 11: Prikaz KS izbranih slovenskih proizvajalcev [62], [63], [64], [65]

Proizvajalec	CI produkt d.o.o.	Kager Hiša d.o.o.	Kager Hiša d.o.o.	Ekoprodukt d.o.o.
Način gradnje	Lesena skeletna konstrukcija	Lesena skeletna konstrukcija	Lesena skeletna konstrukcija	Lesena skeletna konstrukcija
Ime konstrukcijskega sklopa	S5: EKO klasik	S6: OPTIMA	S7: DOH	S8: Stena nizko energijske hiše
				
Debelina stene	318 mm	290,5 mm	520 mm + fasada	338 mm
Toplotna prehodnost	0,168 W/m ² K	0,158 W/m ² K	0,169 W/m ² K	0,15 W/m ² K
Opombe	<ul style="list-style-type: none"> - Izolacija fasade iz leseno vlaknene plošče 60 mm - Lesena NK 160 mm - Izolacija iz celuloznih vlaken 160 mm - OSB konstrukcijska plošča 15 mm - Lesenovlaknena instalacijska plošča 15 mm 	<ul style="list-style-type: none"> - NK iz lepljenega lesa 80/160 mm 	<ul style="list-style-type: none"> - Izolacija fasade iz leseno vlaknene plošče 60 mm - NK iz lepljenega lesa 80/160 mm - Lesena gradbena plošča 15 mm - Lesna volna 40 mm med letvami 60 mm 	<ul style="list-style-type: none"> - Leseno vlaknena plošča AGEPAN THD 60mm - NK iz KVH česa 80/180 mm - Izolacija iz celuloznih vlaken TRENDI SOL ali FLEX 180 mm - OSB plošča 15 mm - Leseno vlaknena plošča AGEPAN THD 60mm
ZUNAJ				
Fasada	Paropropustni fasadni sloj 8mm	Armirana malta in strukturni akrilni omet 8mm	Armirana malta in strukturni silikonski omet	Armirana malta in zaključni fasadni omet MARMORIT
Izolacija fasade	Leseno vlaknena fasadna plošča 60 mm	Neopor 80 mm	Lesno vlaknena plošča 60 mm	Leseno vlaknena plošča AGEPAN THD 60mm
Zunanja obloga NK	-	Mavčna vlaknena plošča 15 mm	-	-
Nosilna konstrukcija (NK)	Lesena konstrukcija 160 mm	Lepljeni les 80/160	Lepljeni les 80/160	Konstrukcijski les KVH 80/180 mm
Izolacija med NK	Celulozna izolacija 160 mm	Mineralna volna 160 mm	Mineralna volna 160 mm	Celulozna vlakna TRENDI SOL ali FLEX 180 mm
Parna ovira	OSB3 konstrukcijska plošča 15 mm	Parna zapora	Lesena gradbena plošča 15 mm	OSB plošča 15 mm
Izolacija na notranji strani	leseno vlaknena instalacijska plošča 60 mm	-	Lesena volna 40 mm med letvami 60 mm	Leseno vlaknena plošča AGEPAN THD 60mm
Finalna obloga	Požarno mavčno kartonska plošča 15 mm	Mavčno vlaknena plošča 15 mm in ognjevarna mavčno kartonska plošča 12,5 mm	Mavčno vlaknena plošča 15 mm in ognjevarna mavčno kartonska plošča 12,5 mm	Mavčno kartonska plošča 15 mm
ZNOTRAJ				

Na podlagi izvedenega pregleda sem opazila, da se večina (9) proizvajalcev ukvarja z okvirnim sistemom gradnje, 4 proizvajalci z masivnim sistemom in 3 s skeletnim. Videti je tudi, da večina KS presega debelino 300 mm.

4.2 KORAK 2: Analiza izbranih gradbeno-fizikalnih lastnosti konstrukcijskih sklopov

Analizirala sem konstrukcijske sklope O21, O18, S4, S6, M6, M7 ter en KS konvencionalne slovenske gradnje, z nosilno konstrukcijo iz opeke. Sestava tega KS je prikazana v preglednici 12.

Preglednica 12: Sestava KS konvencionalne slovenske gradnje

Vir: lasten

Ime konstrukcijskega sklopa	K
Debelina stene	450 mm
Toplotna prehodnost	0,261 W/m ² K
ZUNAJ	
Fasada	Plemenita fasadna malta 20 mm
Toplotna izolacija	Fragmat EPS 120 mm
Parna ovira	PE folija
Nosilna konstrukcija (NK)	Opečni modularec 300 mm
Finalna obloga	Omet 10 mm
ZNOTRAJ	

Za analizo konstrukcijskih sklopov sem uporabila program TEDI [27]. Ker program ponuja kar nekaj materialov, nisem ustvarjala novih, temveč sem pri analizi uporabila že pripravljene materiale iz programa. Pri izboru materialov sem bila pozorna, da so le-ti imeli enake ali podobne fizikalne lastnosti, kot tisti iz opisa posameznega KS. Kot robne pogoje za izračun gradbeno-fizikalnih parametrov sem pri izvajanja analize predpostavila notranjo temperaturo $T_{notri} = 20^{\circ}\text{C}$, $T_{zunaj} = -10^{\circ}\text{C}$, za notranjo relativno vlažnost zraka pa sem vzela $\varphi_n = 65\%$. Opazovala sem vrednost toplotne prehodnosti KS, difuzijo vodne pare in s tem povezan potencialen pojav kondenzacije ter toplotno stabilnost. Poleg navedenih parametrov sem spremljala tudi debelino KS, maso KS na enoto m² ter masni delež lesa glede na maso celotnega konstrukcijskega sklopa. Rezultate sem skupaj z debelino KS in vsebnostjo lesa, glede na maso KS, prikazala v preglednici 13.


Preglednica 13: Povzetek rezultatov analize izbranih zasnov KS

	TIP KS	Debelina [mm]	Masa KS [kg/m ²]	Delež lesa [%]	Toplotna prehodnost [W/m ² K]	Difuzija vodne pare [dan]		Toplotna stabilnost	
						Čas potreben za izsušitev	Dolžina obdobja izsuševanja	temperaturno dušenje [-]	temperaturna zakasnitev [ura]
Okvirni sistem	O21	320,00	162,65	80,17	0,15	47,00	60,00	163,18	10,81
	O18	305,00	85,65	7,47	0,15	-	-	107,64	6,35
Skeletni sistem	S4	378,00	86,20	66,59	0,12	-	-	398,45	14,08
	S6	290,50	76,84	7,00	0,16	-	-	93,41	6,04
Masivni sistem	M7	228,00	87,60	83,11	0,27	-	-	120,76	11,19
	M6	283,50	83,84	60,89	0,21	-	-	143,63	11,12
Opeka	K	450,00	286,30	0,00	0,26	-	-	268,81	10,06

4.2.1 Prikaz primera rezultatov pridobljenih s programom TEDI



Spodaj (Preglednica 14) je prikaz rezultatov analize za izbran primer konstrukcijskega sklopa O18 (Slika 13) s programom TEDI [27]. Rezultati ostalih šestih KS so zbrani v prilogi A.

Preglednica 14: Konstrukcijski sklop O18

	TIP KS	Debelina	Masa KS	Delež lesa
O18		[mm]	[kg/m ²]	[%]
		305,00	85,65	7,47

Analiza je pokazala, da je vrednost toplotne prehodnosti KS O18 0,146 W/m²K (Slika 13), kar je manj od maksimalno dovoljene, ki znaša 0,28 W/m²K. Tako KS ustreza zahtevam slovenskega pravilnika. Ravno tako sem z analizo dobila grafe (Slika 16), ki so potrdili, da je KS primeren. Ker črtkana črta, ki predstavlja delni tlak vodne pare, ni v nobeni točki prišla nad premico, ki predstavlja nasičen tlak vodne pare, v KS ni prišlo do kondenzacije le-te. Tako tudi ni ogrožena trajnost in nosilnost gradbene konstrukcije.

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

 TEDI <small>Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in gozdarstvo, Katedra za strojništvo in konstrukcijsko dinamiko Program za računalniško toplotno prehodnost, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Prilozili o toplotni izolaciji in difuziji vodne pare v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 1025:2002</small>	
---	---

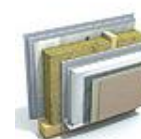
O18	
Vrsta konstrukcijskega sklopa po 9. členu Pravilnika	1. - Zunanje stene in stene proti neogrevanim prostorom, tla nad neogrevanim prostorom ali zunanjim zrakom
Vrsta stavbe po 9. členu Pravilnika	1. - Stavbe s temperaturo notranjega zraka pozimi nad 19°C ali poleti hlajene pod 26°C
Neklimatizirana / klimatizirana stavba	1. - Neklimatizirana stavba in stavba brez procesov z večjim nastajanjem vodne pare

Difuzijsko navlaževanje - zima - projektne vrednosti

Temperatura z unaj (°C)	-10,0	Računska temperatura z unaj (°C)	-5,0
Temperatura notri (°C)	20,0		
Relativna vlažnost z unaj (%)	90		
Relativna vlažnost notri (%)	65		

Difuzijsko sušenje - poletje - projektne vrednosti

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



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


Št. plasti	Šifra	Material	Debelina	Gostota	Specifična toplota	Toplotna prevodnost	Difuzijska upornost vodni pari	HI	Tip
			m	kg/m ³	J/kg K	W/m K	-		
1	46.1	mavčno karbnaste plošče - do 15 mm	0,0150	900	840	0,210	12,0		1
2	46.1	mavčno karbnaste plošče - do 15 mm	0,0100	900	840	0,210	12,0		1
3	81.0	polietilenske folije	0,0010	1.000	1.250	0,190	80000,0		1
4	113.0	mineralna in steklena volna	0,1800	200	840	0,041	1,0		1
5	46.1	mavčno karbnaste plošče - do 15 mm	0,0150	900	840	0,210	12,0		1
6	124.2	FRAGMAT EPS 70	0,1000	15	1.260	0,039	25,0		3
7	20.0	plemenita fasadna malta	0,0200	1.850	1.050	0,700	15,0	*	1

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

* - stoji med izbrano hidroizolacijo in zunanjim okrajem se pri računu toplotne prehodnosti in difuziji vodne pare ne upoštevajo


Slika 13: Pregled KS O18, ki sem ga analizirala s programom TEDI [27]

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



TEDI

Univerza na ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geotehniko, Viharni nasip 11, 1000 Ljubljana
Program za računalniško pomoč pri analizi toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi vodne KS po Preskrbi o toplotni izolaciji in zaščiti pred energijo v zgradbah, ZSTEN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 1025:2002



Gostota difuzijskega toka vodne pare

q_{m1}		kg/m ² h
q_{m2}		kg/m ² h

Izračun količine kondenzirane vodne pare

$q_{m'}$		kg/m ² h
$q_{mz'}$		kg/m ² h

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

X_r		%
X_{max}		%

X_{gr}		%
X_{sk}		%

Izsuševanje KS

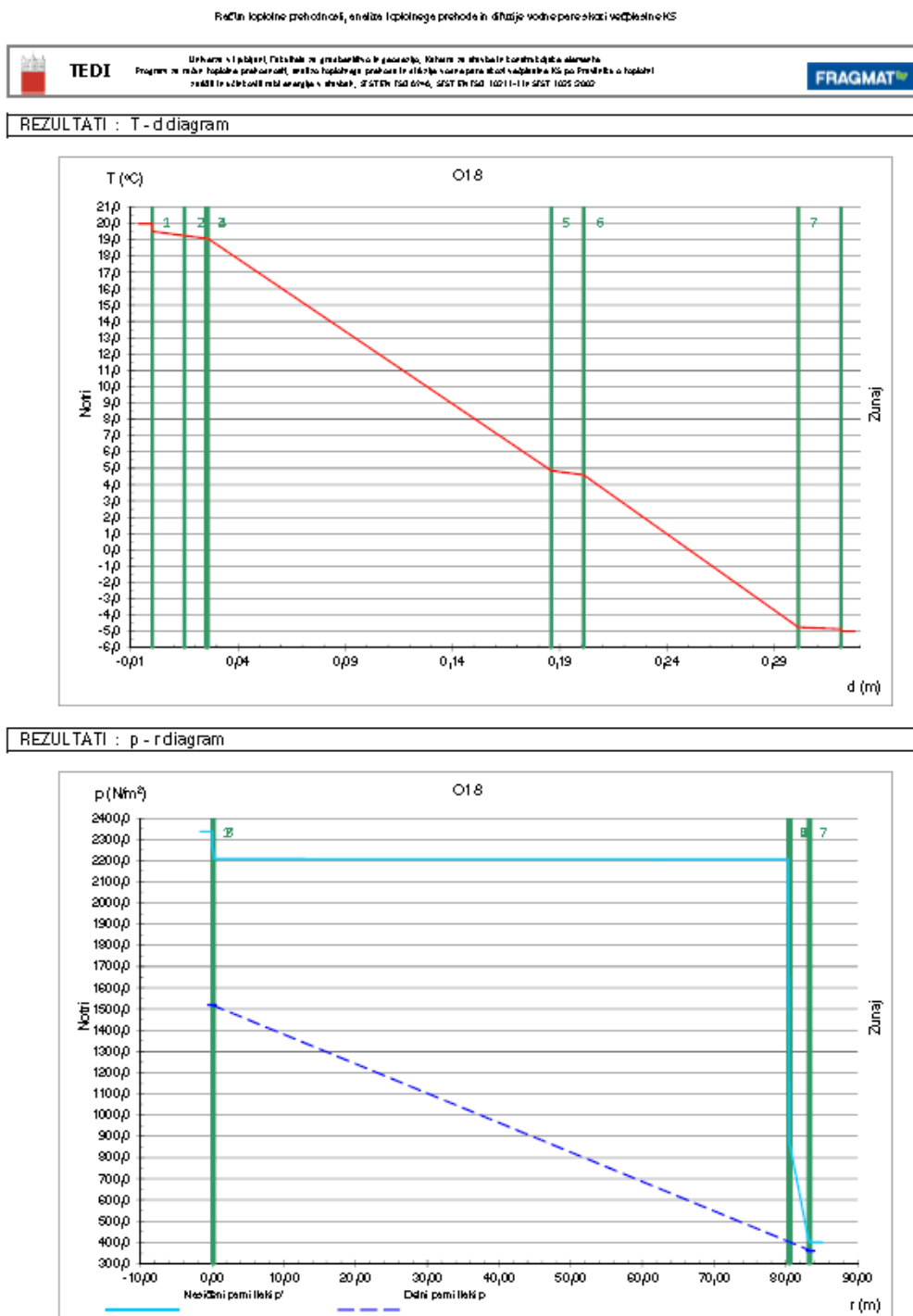
Čas potreben za izsušitev KS		dan
Dolžina obdobja izsuševanja		dan

KS ODGOVARJA

REZULTATI : TOPLOTNA STABILNOST

Temperaturno dušenje	107,64	
Temperaturna zakasnitev	6,35	ura

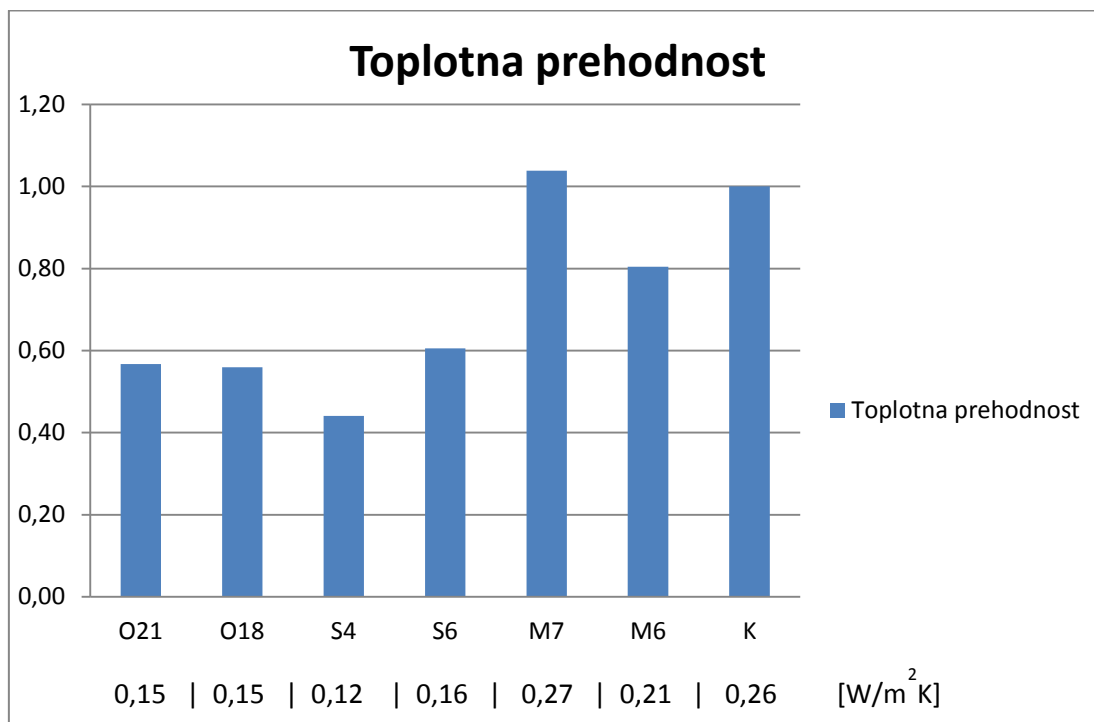
Slika 15: Rezultati analize KS O18: Difuzija vodne pare



Slika 16: Rezultati analize KS O18: Zgornji graf prikazuje stacionarni prenos toplote v KS (T-d) spodnji pa potek dejanskega in nasičenega tlaka v KS (p-r)

4.2.2 Primerjava rezultatov gradbeno-fizikalnih parametrov izbranih KS

Da sem lažje primerjala izračunane vrednosti KS med seboj, sem dobljene vrednosti vseh KS glede na posamezno lastnost normirala glede na izbrani konstrukcijski sklop K ter primerjavo prikazala v nadaljevanju prikazanih histogramih. Prvi KS z leve od vsake vrste sistema gradnje vsebuje največ lesa, drugi pa le za nosilno konstrukcijo.



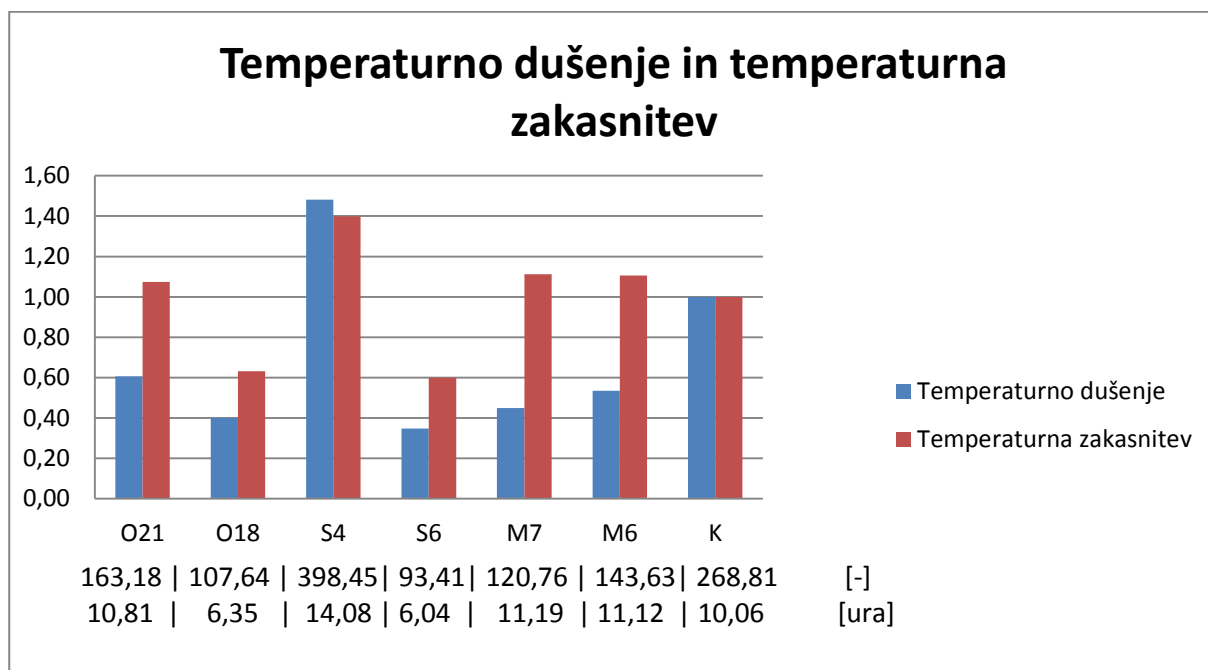
Graf 1 Prikaz normirane vrednosti toplotne prehodnosti KS glede na sklop K

Med O21 in O18 je razlika v toplotni prehodnosti zanemarljiva. Večja razlika se opazi v primerjavi s K. O21 ima 43,3 % manjši U faktor, O18 pa 44,1 %, kar v obeh primerih predstavlja okoli 0,114 W/m²K manjšo toplotno prehodnost od sklopa K.

Največja razlika med sklopoma, zaradi različne vsebnosti lesa, se pojavi pri skeletnem sistemu. S4, kot predstavnik z večjim deležem lesa, ima za 27,2 % manjšo toplotno prehodnosti kot S6. Pri skeletnem sistemu S4 je opazna tudi največja razlika glede na K, saj ima le-ta 55,9 % slabši U faktor, kar znaša 0,146 W/m²K, od sklopa S6 pa se razlikuje za 39,5 %.

Razlika med M6 in M7 tudi ni zanemarljiva in znaša 22,5 %. Na prvi pogled je videti presenetljivo, da ima M7, z večjim deležem lesa, večji U faktor kot pa sklop M6, ko pa pogledamo, kolikšna je debelina posameznega KS, vidimo, da je debelina M7 precej manjša. Manjša kot je debelina, manjši je toplotni upor R in večja je toplotna prehodnost U. Glede na sklop K ima M6 manjši faktor U za 19,5 %, M7 pa ima v tem primeru za 3,8 % večjo toplotno prehodnost od sklopa K. Razlog je isti kot prej - manjša debelina konstrukcijskega sklopa M7.

Vsi analizirani konstrukcijski sklopi izpolnjujejo minimalne zahteve za toplotne prehodnosti, določene po pravilniku PURES 2010, ki določa, da toplotna prehodnost zunanjih sten znaša <0,28 W/m²K [66].



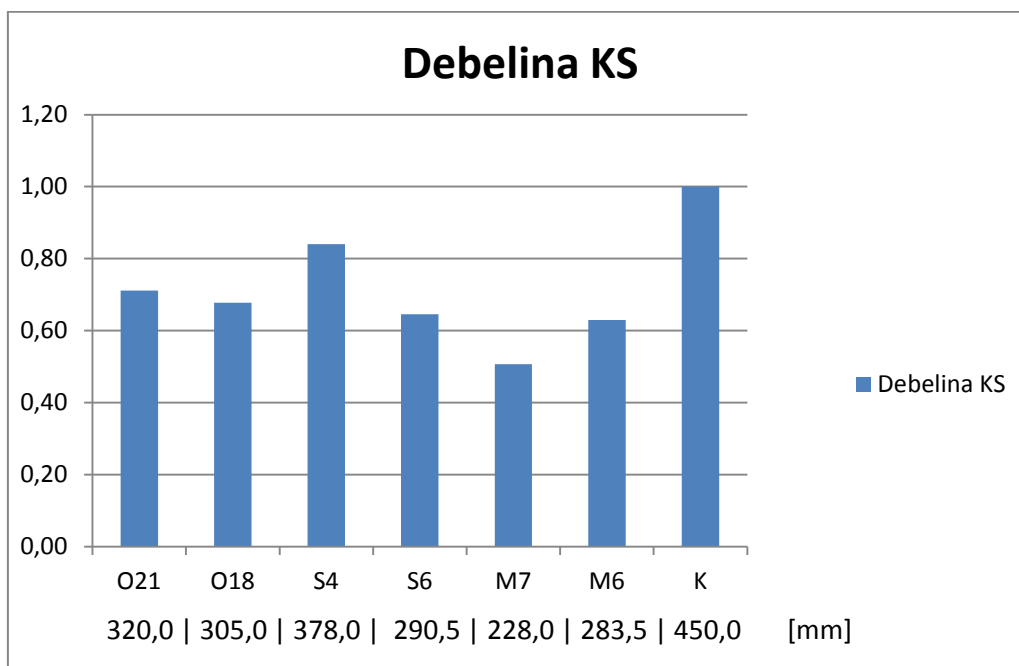
Graf 2: Prikaz normirane vrednosti toplotne stabilnosti - temperaturno dušenje in temperaturna zakasnitev glede na sklop K

Preverila sem tudi toplotno stabilnost posameznih KS, pri kateri nas zanimata vrednosti temperaturne zakasnitve in dušenja.

Opazimo, da imajo sistemi z več lesa (O21, S4, M7) daljšo temperaturno zakasnitev, saj imajo tudi večjo maso. O21 ima za 41,3 % daljšo temperaturno zakasnitev od O18, S4 se od S6 razlikuje za 57,1 %, razlika med M7 in M6 pa je zanemarljiva. Največja razlika je opazna med sklopoma S6 in K, saj ima slednji temperaturno zakasnitev daljšo za 40 %.

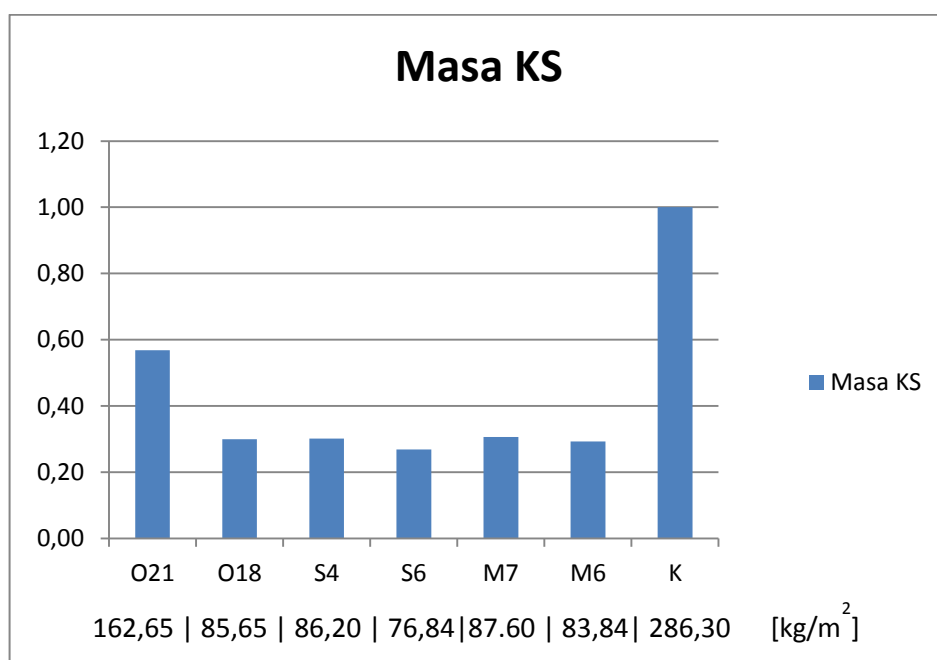
Razlika v temperaturnem dušenjem je med sklopoma O21 in O18 34 %, večja pa je razlika med O18 in K, ki znaša 60 %. Največja razlika se pojavi med sklopoma S4 in S6, ki znaša 76,6 %. S4 ima za 48,2 % večje temperaturno dušenje od K, S6 pa kar 65,3 % manjše. Razlika med sklopoma M6 in M7 ni tako velika kot pri ostalih sklopih, saj dosega 15,9 %. M7 ima 55,1 % manjše temperaturno dušenje od K, M6 pa 46,6 %. Večja kot je vrednost dušenja, boljši je KS. V tem primeru opazimo, da so vsi KS, razen S4, izrazito slabši od referenčnega KS K.

Ravno tako sem preverila, če je v analiziranih KS prišlo do pojava kondenzacije vodne pare, vendar se le-ta pojavi samo v sklopu O21, ker pa je dolžina časa potrebna za izsušitev manjša od dolžine obdobja izsuševanja, je KS primeren glede na zahteve slovenske zakonodaje. Primerjava z ostalimi KS ni smiselna. Tudi če je KS O21 primeren, je potrebna velika previdnost, saj kljub temu, da se nastali kondenz izsuši, obstaja možnost, da pride do trajnih poškodb vgrajenega lesa, ker je le-ta, kot organski material, dovzeten za propad ob prisotnosti vode.



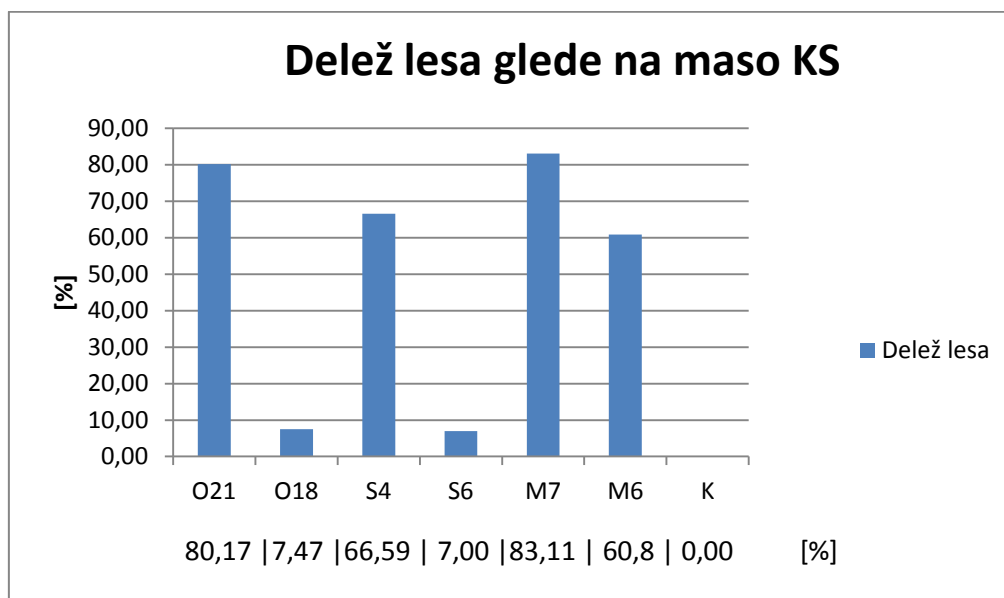
Graf 3: Prikaz normirane vrednosti debeline KS glede na sklop K

Med sklopoma iz okvirnega sistema ni bistvenih razlik v debelini celotnega KS. Razlika je opazna v primerjavi s sklopom K, in sicer je le-ta debelejši od O21 za 28,9 %, kar znaša 13 cm, od O18 pa 32,2 %, kar pomeni 14,5 cm. Razlika v debelini med skeletnima sklopoma znaša 23,2 % kar predstavlja 8,75 cm. Sklop S4 ima za 7,2 cm tanjšo steno od K, S6 pa 35,4 %, kar predstavlja 15,95 cm. Najmanjšo debelino ima sklop M7, ki je kar 22,2 cm (49,3 %) tanjša od K in 5,55 cm (19,6 %) tanjša od sklopa M6. Kot je bilo za pričakovati, ima največjo debelino KS zunanja stena konvencionalne slovenske hiše K.



Graf 4: Prikaz normirane vrednosti mase KS glede na sklop K

Razlika v masi med O21 in O18 znaša 47,3 %. O18, v katerem je uporabljen les samo za nosilno konstrukcijo je za 77 kg/m² lažji od O21 in za 200,65 kg/m² (70,7 %) lažji od sklopa K. O21 je za 123,65 kg/m² lažji od K. Razlika v masi med sklopoma skeletnega sistema je majhna, saj se razlikujeta le za 9,4 kg/m² (10,9 %). S4 je za 69,9 % lažji od K, kar predstavlja 200,1 kg/m², S6 pa kar za 73,2 %, kar predstavlja 209,5 kg/m². Razlika v masi med M6 in M7 je zanemarljiva, od sklopa K pa je M6 lažji 202,5 kg/m² (70,7 %), M7 pa 198,7 kg/m² (69,4 %). Največjo maso ima torej sklop K, sledi pa mu O21, zaradi velike vsebnosti lesa. Najmanjšo maso ima skeletni sistem S6, ki hkrati vsebuje tudi najmanjši delež lesa.



Graf 5: Prikaz deleža lesa glede na maso KS

Največ lesa glede na maso sklopa vsebuje masivni sistem M7 in sicer kar 83,1 %. Sledi pa mu O21 z 80,2 %. Sklopa z najmanjšim deležem lesa glede na maso sta O18 z 7,5 % in S6, ki vsebuje slabih 7 % lesa. Očitno je, da sklop K ne vsebuje lesa. Tak razpored deleža lesa sem predvidela, saj sem tudi namenoma tako izbirala konstrukcijske sklope.

Menim, da se je v vseh parametrih najboljši skeletni konstrukcijski sklop S4, sledita pa mu okvirna sistema O21 in O18. S4 se je izkazal za sklop z najboljšo toplotno prehodnostjo z $0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$, od O21 in O18 se razlikuje za 22,3 %, saj imata oba toplotno prehodnost $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$. KS masivnega sistema M7 bi lahko dosegel manjšo in s tem tudi boljšo toplotno prehodnost, če bi se povečala njegova debelina. Analiza je pokazala, da ima sklop S4 z vrednostjo 398,45 najboljše temperaturno dušenje, saj večja kot je vrednost, boljši je KS. Ravno tako ima s 14 urami najdaljši čas temperaturne zakasnitve, kar pomeni, da bi nas tak sklop zunanje stene poleti daljši čas ščitil pred pregrevanjem, pozimi pa pred ohladitvijo. Sledi mu sklop O21 z 10,81 urami, za več kot za polovico pa se od njega razlikuje KS O18. Vse dobre lastnosti sklopa S4 pa se negativno odražajo v veliki debelini te stene, ki se lahko primerja steni zidane stavbe z razliko le za 16 %. Zanimivo je, da je skeletni sistem S4, ki vsebuje 66,59 % lesa, še vseeno skoraj za polovico lažji od sklopa O21, ki ima 80,17 % lesa na 1m^2 in tehta kar 162,65 kg. Kljub svoji lahкости prevzame odlične gradbeno-fizikalne rezultate.

4.3 KORAK 3: Analiza izbranih okoljskih parametrov

V zadnjih 150-ih letih smo priča izredno hitrim podnebnim spremembam, ki se bodo predvidoma še nadaljevale. Z veliko verjetnostjo je za te spremembe kriv človek. Na to, kako izrazite bodo podnebne spremembe v prihodnosti, pa še vedno lahko vplivamo [67]. Glede na to, da večina industrijske dejavnosti in s tem tudi veliko spuščenih toplogrednih plinov predstavlja ravno gradbeništvo, velja zmanjšanje teh plinov za velik izziv.

Da bi čim bolj zmanjšali vpliv industrije na okolje, imamo na voljo različne metode, kot so na primer LCA, LCEA, LCCA, na vse pa se navezuje količina sproščenega ogljika. Študij, ki se ukvarjajo s področjem ocenjevanja gradbenih proizvodov (materialov) na okolje je veliko, vendar pa je področje ocenjevanja okoljskih vplivov KS iz lesa in njihovih primerjav s KS zidanih stavb slabše raziskano. Da bi bila take vrste analiza opravljena tudi v Sloveniji, nisem zasledila, sem pa našla nekaj primerov študij iz drugih držav, ki so dokazale ravno to, kar pri tej nalogi zanima mene - koliko ogljika sprosti v okolje proizvodnja KS zidane stavbe v primerjavi s KS iz lesa.

V nadaljevanju bom povzela glavne ugotovitve študij, ki so se ukvarjale s področjem:

- preučevanja okoljskih vidikov stavbe zgrajene iz lesa, pri čemer ima les funkcijo NK, v primerjavi s stavbami, zgrajenimi iz ostalih materialov, kot so beton, opeka, jeklo ter
- področjem preučevanja okoljskih vidikov lesa kot gradbenega proizvoda (materiala) v funkciji finalne obdelave, toplotne izolacije, hidroizolacije, ipd.

Cabeza in sodelavci [22] so izvedli pregledno študijo z naslovom »*Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review*«. Glavni okoljski kazalec v pregledanih študijah je bil ogljični odtis. Na podlagi pregledanega znanstvenega članka avtorjev Cabeza in sodelavcev [22], bom povzela glavne ugotovitve študij, ki so primerjale stavbe zgrajene z lesom ali pa so imele les uporabljen na kakršen koli drug način, z ostalimi drugače grajenimi stavbami. Ugotovitve pregleda študij [22] so prikazane v Preglednici 15.

Preglednica 15: Prikaz študij LCA, LCEA, LCCA, raven njihove obravnave, preučevano področje, preučevan okoljski kazalec, metoda, lokacija izvedbe študije in glavni rezultati [22]

Študija	Raven obravnave	Proučevano področje	Analizirana faza življenjskega cikla in preučevan okoljski kazalnik	Metoda	Lokacija	Rezultati
Jönsson s sodelavci, 1997 [22]	Gradbeni proizvod, funkcija finalne obloge (FO)	Finalne obloge iz linoleja, vinila in lesa	Proizvodna raba virov, poraba energije, emisije v zrak in emisije v vodo, količina odpadkov	LCA v gradbeni industriji	Švedska	Finalna obloga iz lesa okolju bolj prijazna, kot pa obloga iz linoleja in vinila
Asif s sodelavci, 2007 [22]	KS	Materiali uporabljeni v stanovanjskih konstrukcijah: les, aluminij, steklo, beton, opeka.	Uporabljena energija in emisija toplogrednih plinov v zrak	LCA v gradbeni industriji	Škotska, Velika Britanija	Prispevek betona je znašal 60 % celotne vgrajene energije.
Ximenes in Grant, 2013 [22]	Gradbeni proizvod, funkcija FO	Določitev emisij toplogrednih plinov v celotnem življenjskem ciklu izdelkov iz lesa v primerjavi z alternativnimi gradbenimi proizvodi	Analizirane faze: Pridobivanje, proizvodnja, transport, uporaba in gradnja, vzdrževanje in odstranjevanje	LCA v gradbeni industriji	Sydney, Avstralija	LCA analiza je prikazala najboljše rezultate, ko so bili prvotni materiali za finalno obdelavo tal zamenjani z lesom.
Kellenberger in Althaus, 2009 [22]	KS	Konstrukcijski sklopi: lesena stena, betonska streha	Analizirane faze: proizvodnja, transport, izgradnja gradbenega elementa, delovanje zgradbe, odstranitev	LCA v gradbeni industriji	Švica	Fazi izgradnja in rušenje lahko zanemarimo zaradi majhnega negativnega vpliva na okolje, medtem ko faza transporta prispeva velik delež.
Adalberth, 1997 [22]	Stavba kot celota	Izračun porabljene energije v različnih fazah življenjskega cikla lesene montažne stavbe	Analizirane faze: Proizvodnja, uporaba in rušenje stavbe	LCEA	Örebro, Švedska	Iv času uporabe se v okolje sprostijo od 70-90 % vse sproščene energije, ki jo povzroči gradnja stavbe
Mithraratne in Vale, 2004 [22]	Stavba kot celota	Opis postopka za LCA, ki temelji na vgrajeni in porabljeni energiji in LCC stavb iz lesa in betona	Celotni učinek stavbe od izdelave do uporabe, glede na porabljeno energijo in stroške	LCEA	Auckland, Nova Zelandija	Priporočata več toplotne izolacije v stavbi iz lesene konstrukcije, v primerjavi z betonom, z namenom varčevanja z energijo.
Winther in Hestnes, 1999 [22]	Stavba kot celota	Primerjava skupne porabljene energije v času življenjske dobe na 5 primerih lesenega stanovanja (različna debelina toplotne izolacije, način prezračevanja in različna učinkovitost mehanske opreme)	Vgrajena energija, porabljena energija in celotna energija	LCEA	Hamar, Norveška	Skrbno dimenzionirane nizko energijske hiše so z vidika porabe energije boljše kot pametne hiše (ang. smart house) z veliko vgrajenih tehničnih inštalacij

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 15

Študija	Raven obravnave	Proučevano področje	Analizirana faza življenjskega cikla in preučevan okoljski kazalnik	Metoda	Lokacija	Rezultati
Peupartier, 2001 [22]	Stavba kot celota	Uporaba LCA in LCEA v enodružinski hiši iz lesa	Vse faze življenjskega cikla stavbe	LCEA	Francija	Hiše iz lesa imajo dokazane pozitivne vplive na okolje, velik vpliv na to pa ima tudi zavedanje ljudi za čistejše okolje.
Marceau in VanGeem, 2006 [22]	Stavba kot celota	Primerjava okoljskih vplivov enodružinske hiše iz betona s hišam iz lesa	Porabljena energija pri pridobivanju in izdelavi materiala, izgradnji, uporabi ter vzdrževanju stavbe	LCEA	Miami, Phoenix, Seattle, Washington in Chicago, ZDA	V vseh primerih so kazalci porabljene energije in s tem sproščenega ogljika boljši za leseno hišo.
Gong s sodelavci, 2012 [22]	Stavba kot celota	Primerjava treh tipov stanovanjskih stavb: betonska, lesena, in jeklena	Cel življenjski cikel	LCEA	Peking, Kitajska	Porabljena energija pri betonski in jekleni konstrukciji je skoraj ista, od lesene pa višja za 30 %. Količina emisij CO ₂ betonske konstrukcije je 44 % večja od jeklene in 49 % večja od lesene. Pri transportu lesene konstrukcije je izpuščenih 8 % CO ₂ , pri betonski konstrukciji 12 %, pri jekleni pa 11 %.
Nässen s sodelavci, 2012 [22]	Stavba kot celota	Ocena stroškov in emisij CO ₂ v življenjski dobi stavbe z leseno in betonsko konstrukcijo	Energijski tokovi, CO ₂ , stroški	LCCA	Wälludden, Švedska	Ni jasno, če bodo z uporabo lesenih okvirjev ublažili višino sproščenega ogljika in da bi morale biti nadaljnje analize izvedene še preden bo predpisana uporaba določenih gradbenih materialov v gradbenem sektorju.

V študiji Monahana in Powela [68] z naslovom »An embodied carbon and energy analysis of modern methods of construction in housing: A case study using in lifecycle assessment framework«, so preučevali, koliko primarne energije za fazo izgradnje in emisij CO₂ sprostijo različno izdelane hiše. Raziskavo so opravili na hiši dvojček v Veliki Britaniji s 83 m² uporabne tlorisne površine, sestavljeni iz pritličja in 1. nadstropja. V 1. scenariju so za nosilno konstrukcijo uporabili prefabricirani leseni skeletni okvir. Konstrukcijski sklop stene so sestavljali: omet, PE folija, leseni stebri z vmesno izolacijo iz fenolne pene, dodatna izolacija iz poliizocianuratne pene (PIR), zračna plast in fasadna obloga iz macesnovih desk na lesenih legah. Temelje so izdelali na tradicionalni način, z armirano betonsko ploščo. V 2. scenariju je macesnovo oblogo in njene sestavne dele zamenjala opeka. Zaradi

zamenjave materialov se je povečala debelina stene. V 3. scenariju je lesena konstrukcija zamenjana s tradicionalno zidano konstrukcijo. Stena je sestavljena iz opeke, votline zapolnjene s fenolno peno in fasadna obloga je bila prav tako izdelana iz opeke. Zunanjo in notranjo opečno steno so povezovali jekleni elementi. Tudi v tem primeru se je povečala debelina stene [68].

Analiza LCA, ki je bila uporabljena v študiji [68], je potekala od »zibelke do groba«. V njej so avtorji študije sešteli emisije materialov in proizvodov, ki so bili uporabljeni v fazi izgradnje in fazi transporta le-teh, fazi odpadka ter transporta do odlagališča ter porabljene energije na gradbišču med samim izvajanjem del [68].

Rezultati analize so pokazali naslednje [68]:

- 1. Scenarij: Študija je pokazala, da je izgradnja hiše zahtevala skupno 519 GJ primarne energije, kar se enači z vgrajeno primarno energijo $5,7 \text{ GJ/m}^2$ tlorisne površine. Z izgradnjo takšne stavbe je bilo sproščenega $34,6 \text{ t CO}_2$, kar znaša $405 \text{ kg CO}_2/\text{m}^2$ uporabne tlorisne površine tal. Les, ki je bil ključni material konstrukcije, je bil odgovoren za 30 % celotnih emisij (obsega izdelavo prefabriciranih elementov in transport le-teh do gradbišča) [68].
- 2. Scenarij: V tem primeru je bilo sproščenega $45,6 \text{ t CO}_2$ (v primerjavi s 1. scenarijem se je količina emisij povečala za 32 %) in 656 GJ primarne energije (35 % več od 1. scenarija). Pri tem so bile stene odgovorne za 41 % celotnega sproščenega ogljika. Narastle so tudi emisije toplogrednih plinov med fazo transporta, ker se je povečala masa materialov (opeka, cement, pesek) [68].
- 3. Scenarij: Ugotovljeno je bilo, da je bilo sproščenega 52 t CO_2 , potrebne je bilo 700 GJ primarne energije. To pomeni $612 \text{ kg CO}_2/\text{m}^2$ in $8,2 \text{ GJ/m}^2$ primarne energije na uporabno površino stavbe. V primerjavi s 1. scenarijem je bilo sproščenega za 51% več CO_2 , uporabljene energije pa je bilo za 35% več. 67 % celotnega sproščenega ogljika je prispevala opečnata stena [68].

Študija je pokazala, da hiša, zgrajena iz skeletne lesene konstrukcije zmanjša, količino sproščenega CO_2 za 34 %, v primerjavi z enakovredno hišo, zgrajeno iz zidane nosilne konstrukcije. Uporaba lesenega okvirja doprinese k manjši teži konstrukcije v primerjavi z zidano. Lažja konstrukcija potrebuje manj podpore in manj materiala za temelje, betona in armature [68].

Avtor [68] navaja, da če želijo v Veliki Britaniji zgraditi 3 milijone novih domov s povprečno površino 91 m^2 , bi to zneslo 273 mio m^2 novih hiš. Posledice sproščenega ogljika pa bodo bistveno odvisne od tega, kako bodo te hiše zgrajene. Če bi bile hiše zgrajene po 1. scenariju, bi bilo sproščenega ogljika 405 kg CO_2 na m^2 , kar bi prineslo 110 Mt CO_2 na 3 milijone hiš, če pa bi bile hiše zgrajene po 3. scenariju, bi bilo sproščenega ogljika 167 Mt CO_2 , kar je za 34,1 % več [68].

Po zgornji študiji pridemo do ugotovitve, da z izgradnjo lesene stavbe, v primerjavi z zidano stavbo, manj onesnažujemo okolje, kar sem hotela prikazati s to diplomsko nalogo. Obenem je to tudi eden od ciljev trajnostne gradnje, h kateremu bo morala kmalu stremeti tudi vsa bodoča gradnja stavb, da se bodo s skladiščenjem ogljika s pomočjo naravnega materiala, lesa, postopoma zmanjšale podnebne spremembe.

5 ZAKLJUČEK

V nalogi sem se osredotočila na vprašanje, kakšna gradnja je boljša iz gradbeno-fizikalnega in okoljskega vidika: lesena ali zidana? Ob premisleku sem poznala pravi odgovor, vendar sem kasneje vse skupaj podkrepila še z dokazi analize in že opravljenih študij. Seveda sem opazovala gradnjo v Sloveniji. Tako sem, za potrebo analize, podatke konstrukcijskih sklopov zunanjih sten pridobila od slovenskih proizvajalcev, ki se ukvarjajo s proizvodnjo različnih sistemov lesene gradnje. Iz vseh podanih sklopov sem iz vsakega sistema gradnje, to so okvirni, masivni in skeletni sistem, izbrala po dva ter bila pozorna na to, da je eden izmed njiju vseboval les le za nosilno konstrukcijo, drugi pa še na vse druge možne načine, ter njihove lastnosti primerjala s KS zunanje stene konvencionalne slovenske gradnje, t.j. zidana stavba.

Za določitev gradbeno-fizikalnih lastnosti sem opravila analizo v programu TEDI. Tako sem prišla do rezultatov, ki pa niso bili presenetljivi.

Med okvirnima sistemoma O21, ki vsebuje največ lesa, in O18, ki vsebuje les le za nosilno konstrukcijo, je bila razlika v masi 47,3 %. Razlika v toplotni prehodnosti je bila zanemarljiva, kar oba KS pa sta imela za okoli 44 % boljšo toplotno prehodnost od zunanje stene zidane stavbe (KS K). O21 je imel za 41,3 % daljšo temperaturno zakasnitev od O18 zaradi večje mase, od zidane stavbe pa se je v tem primeru razlikoval samo sklop O18, in sicer je imel za 36,9 % krajšo temperaturno zakasnitev. Razlika v temperaturnem dušenju je bila med sklopoma okvirnega sistema 34 %, večja pa je bila razlika med O18 in K, ki je znašala 60 %. Ravno tako sem preverila, če je v analiziranih KS prišlo tudi do pojava kondenzacije vodne pare, vendar se le-ta pojavi samo v sklopu O21, kjer pa je zaradi daljšega časa, potrebnega za izsušitev, od obdobja izsuševanja, KS primeren.

Med KS skeletnega sistema S4 in S6 je bila razlika v masi majhna, glede na debelino pa sta se razlikovala za 8,75 cm. Razlika v toplotni prehodnosti je bila 27,2 %, pri KS S4 pa je bila opazna tudi največja razlika glede na sklop K, kar 55,9 %. S4 je imel za 57,1 % daljšo temperaturno zakasnitev od S6, največja razlika pa je bila opazna med sklopoma S6 in K, in sicer 40 %. Med skeletnima sklopoma se je ravno tako pojavila največja razlika pri temperaturnem dušenju, ki znaša 76,6 %. Sklop S4 je imel kar za 48,2 % večje temperaturno dušenje od K, S6 pa 65,3 % manjše.

Razlika v masi in debelini med masivnima sistemoma M6 in M7 je bila zanemarljiva, sta imela pa največjo razliko debeline stene v primerjavi s K. Tudi temperaturna zakasnitev med njima je bila zanemarljiva, temperaturno dušenje pa sta imela različno za 15,9 %, od K pa sta se razlikovala za okoli 50 %. Glede na toplotno prehodnost sta se razlikovala za 22,5 %, in sicer je imel sklop M7, ki je vseboval največ lesa, večjo toplotno prehodnost od sklopa M6, predvsem zaradi svoje majhne debeline.

Opazila sem, da so imeli sistemi z več lesa, sklopi (O21, S4 in M7) daljšo temperaturno zakasnitev, zaradi večje mase, ter da so vsi KS, razen S4, izrazito slabši od sklopa K, zaradi majhnega temperaturnega dušenja. Kot je bilo za pričakovati, je imel največjo debelino KS zunanje stene konvencionalne slovenske hiše K ter hkrati tudi največjo toplotno prehodnost.

Za primerjavo okoljskih vplivov lesene in zidane stavbe sem si pomagala z že opravljenimi študijami. Monahan in Powel [22] sta primerjala, kako imajo tri različno izdelane hiše, ki se razlikujejo le v različnih konstrukcijskih sistemih, različen vpliv na okolje. Izmed vseh kazalcev vpliva na okolje sem

se osredotočila na ogljični odtis. Študija je pokazala, da hiša, zgrajena s skeletno leseno konstrukcijo, za 34% zmanjša količino sproščenega CO₂ v atmosfero v primerjavi s hišo z zidano nosilno konstrukcijo. Do podobnih ugotovitev so prišle tudi študije Jönssona [22], Asifa [22], Ximenesa in Granta [68], Kellenbergerja in Althausa [22], Adelbertha [22], Mithraratneja in Valeja [22], Wintherja in Hestnesa [22], Peupartierja [22], Marceauja in VanGeema [22], Nassena [22] ter Gongga [22]. Ta je v svoji študiji ugotovil, da je energija, porabljena pri betonski konstrukciji, od lesene višja za 30 %. Količina emisij CO₂ betonske konstrukcije je bila 49 % večja od lesene, pri transportu lesene konstrukcije pa je bilo izpuščenih 8 % CO₂, pri betonski pa 12 % celotnih izpustov CO₂ v atmosfero.

Rezultati pregledanih študij dokazujejo, da je hiša iz lesene konstrukcije mnogo milejša do okolja v primerjavi z zidano hišo. To lahko izrabimo tudi pri boju s podnebnimi spremembami. Da bi zmanjšali količino CO₂ v atmosferi, je potrebno skladiščiti CO₂, to pa lahko naredimo le z uporabo lesa. Če bi gradili le lesene hiše, bi veliko bolj prizanesli okolju in pa tudi sebi, saj bi zaradi dobrih gradbeno-fizikalnih lastnosti lesene hiše na dolgi rok privarčevali veliko več, kot pa bi, če bi stanovali v zidani hiši.

Les je v Sloveniji več kot dovolj, zato bi lahko še nadalje stremeli h gradnji lesenih objektov, kar bi bil tudi dober pristop k reševanju problematike onesnaževanja okolja, vendar je zavedanje vsega tega zaenkrat še premajhno. Ravno zato bi bilo smiselno spodbuditi opravljanje tej podobnih raziskav, ki bi s svojimi dobljenimi rezultati lahko pripomogle k povečanju lesene gradnje pri nas.

VIRI

- [1] Gale, Š. 2011. Drevo, gozd, les. Ljubljana, Statistični urad Republike Slovenije: 10 str.
- [2] Obvladajmo spremembe - uporabimo les. Prevod Steblovnik Župan, Z., 2009. Ljubljana: Slovenska gozdno-lesna tehnološko platforma; Liberalna akademija; Ekološki forum LDS: Služba vlade Republike Slovenije za podnebne spremembe, Bruxelles: Zavezništvo liberalcev in demokratov za Evropo v Evropskem parlamentu: 8-11,14, 34, 44 str.
- [3] O podnebnih spremembah. 2014.
http://www.arhiv.svps.gov.si/si/podnebne_spremembe/o_podnebnih_spremembah/ (Pridobljeno 07. 07. 2014.)
- [4] Kitek Kuzman, M. 2008. Gradnja z lesom – izziv in priložnost za Slovenijo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 86-87, 221, 222, 91, 238, 240, 212-218, 153 str.
- [5] Kitek Kuzman, M. 2010. Les v sodobni slovenski arhitekturi. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Fakulteta za Arhitekturo: 29-32 str.
- [6] Dovjak, M., Krainer, A. 2013. A tool for the design of sustainable building concepts. V: Hauser, Gerd (ur.), Lützkendorf, Thomas (ur.), ESSIG, Natalie (ur.). *Implementing sustainability - barriers and chances : SB 13 Munich : book of full papers*. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag: 967-974 str.
- [7] Združenje lesne in pohištvene industrije – predstavitev panoge. 2009.
http://www.gzs.si/slo/panoge/zdruzenje_lesne_in_pohistvene_industrije/predstavitev_panoge (Pridobljeno 07.07. 2014)
- [8] Žarnić, R. 2005. Lastnosti gradiv. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za Gradbeništvo in Geodezijo, Katedra za preskušanje materialov in konstrukcij: 264-270 str.
- [9] Lopatič, J. 2012. Lesene konstrukcije B-UNI, študijsko gradivo. Ljubljana, univerza v Ljubljani, Fakulteta za Gradbeništvo in Geodezijo: 12, 10, 8,11, 12 str.
- [10] Kitek Kuzman, M. 2012. Lesene konstrukcije v stanovanjski in javni gradnji. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 41, 43, 48, 93, 55, 56, 58, 62, 87-91, 53-54, 79, 82 str.
- [11] Lameliran lepljen les. 2013.
http://www.pabst-holz.com/sl/izdelki/lameliran-lepljen-les_ (Pridobljeno: 29. 04. 2014.)
- [12] Vezane plošče Javor. 2012.
<http://www.javor.si/sl/proizvodi/vezane-plosce-javor> (Pridobljeno: 29. 04. 2014.)

- [13] Panelne plošče. 2014
<http://www.les3.si/panelne-plo%C5%A1%C4%8De> (Pridobljeno: 29. 04. 2014.)
- [14] OSB plošče. 2013.
<http://www.blazic.eu/programi/ploskovni-material/ostala-ponudba/osb-plosce> (Pridobljeno: 29. 04. 2014.)
- [15] Plošče iz križno lepljenega lameliranega lesa. 2013.
http://lesoteka-hise.si/downloads/lesoteka_clt_plo_V7txN.jpg (Pridobljeno: 29. 04. 2014.)
- [16] Vleknene plošče. 2014.
<http://www.slovenijales-trgovina.si/sl/Mizarstvo+in+Hobby+/Lesni+materiali/Vlakenne+plosce/id/915/izdelek/Surove+MDF+plosce> (Pridobljeno: 29. 04. 2014.)
- [17] Izolacija iz lesnih kosmičev. 2014.
<http://www.jaris.si/slo/koristne-informacije/izolacija/> (Pridobljeno: 29. 04. 2014.)
- [18] Ensvet - Energetsko svetovanje - Toplotna izolacija s celuloznimi kosmiči - vlakni za izolacijo stavb. 2013.
<http://www.zirovnica.si/povezava.aspx?pid=2758> (Pridobljeno: 29. 04. 2014.)
- [19] Riko: Tipi lesenih fasad. 2014.
http://www.riko-hise.si/si/files/default/Riko-hise/brosure/tehnicna_brosura_2011.pdf (Pridobljeno 07.07. 2014.)
- [20] Šestan, P., Kristl, Ž., Dovjak, M. 2013. Formaldehid v grajenem okolju in možen vpliv na zdravje ljudi. *Gradbeni vestnik*. 62, 191-203.
- [21] Sistemi lesene gradnje. 2010.
http://lesena-gradnja.si/html/img/pool/Sistemi_lesene_gradnje.pdf (Pridobljeno 06. 03. 2014.)
- [22] Cabeza L. F., Rincon L., Vilarino V., Perez G., Castell A. 2014. Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 29, 395-406.
- [23] Ogljični odtis (Carbon Footprint). 2014.
[http://www.slovenia.info/si/ps-zelene-definicije/OGLJI%C4%8CNI-ODTIS-\(Carbon-Footpri.htm?ps_zelene_definicije=2539&lng=1](http://www.slovenia.info/si/ps-zelene-definicije/OGLJI%C4%8CNI-ODTIS-(Carbon-Footpri.htm?ps_zelene_definicije=2539&lng=1) (Pridobljeno 07. 07. 2014.)
- [24] Kunič R. 2009. Mehanizem prehoda toplote skozi konstrukcijske sklope v stavbah (1. del). *Gradbenik*. 9, 30-31.
- [25] Kunič R., 2009. Mehanizem prehoda toplote skozi konstrukcijske sklope v stavbah (2. del). *Gradbenik*. 10, 18-19.

- [26] Zrim, G. 2009. Preizkus uvedbe novega nanotehnološkega toplotno izolacijskega materiala Spaceloft v gradbene konstrukcije. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo, Konstrukcijska smer: 118 str.
- [27] Perdan R., Krainer A. 2002. Uporabniški priročnik: Računalniški program TEDI: 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, SIS EN ISO 10211-1 in SIST 1025. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za Stavbe in Konstrukcijske Elemente. Ljubljana.
- [28] Baza ScienceDirect. 2014.
<http://www.sciencedirect.com/> (Pridobljeno 18. 08. 2014.)
- [29] Konstrukcijska rešitev Lumar: PASIV EKO. 2012.
http://www.lumar.si/konstrukcijski-sistemi_pasiv.html (Pridobljeno 06. 03. 2014.)
- [30] Konstrukcijska rešitev Jelovica: Pasiv. 2013.
<http://www.jelovica-hise.si/konstrukcijske-resitve.html> (Pridobljeno 06. 03. 2014.)
- [31] Konstrukcijska rešitev Marles: Pasiv, Mega plus Pasiv N14. 2014.
<http://www.marles.com/sl/konstrukcijski-sistemi> (Pridobljeno 06. 03. 2014.)
- [32] Konstrukcijska rešitev Riko: Pasivna plus stena. 2014.
<http://www.riko-hise.si/si/prerezi-zunanjih-sten> (Pridobljeno 06. 03. 2014.)
- [33] Konstrukcijska rešitev Rihter: Pasiv+, Pasiv. 2012.
<http://www.pasiv.si/2/SistemiGradnje.aspx> (Pridobljeno 06. 03. 2014.)
- [34] Konstrukcijska rešitev Lesoteka: LBN Premium. 2013.
<http://www.lesoteka-hise.si/sl/masivne-lesene-stene-brune/tehnologija-2> (Pridobljeno 12. 03. 2014.)
- [35] Konstrukcijska rešitev Jaris: Pasivna. 2014.
<http://www.jaris.si/slo/nasa-ponudba/variante-izvedbe/> (Pridobljeno 12. 03. 2014.)
- [36] Konstrukcijska rešitev Riko: Pasivna lesena. 2014.
<http://www.riko-hise.si/si/prerezi-zunanjih-sten> (Pridobljeno 06. 03. 2014.)
- [37] Konstrukcijska rešitev CI produkt: Eko pasiv. 2013.
<http://www.ciprodukt.si/eko-pasiv.html> (Pridobljeno 12. 03. 2014.)
- [38] Konstrukcijska rešitev Kager: Bio Pasiv. 2014.
<http://www.kager.si/tehnologija-kager-hise> (Pridobljeno 12. 03. 2014.)

- [39] Konstrukcijska rešitev Ekoprodukt: Stena pasivne hiše. 2013.
<http://www.ekoprodukt.si/sistemske-resitve-skeletne-lesene-stene.html#zd01skl> (Pridobljeno 12.3.2014.)
- [40] Konstrukcijska rešitev Jelovica: Termo +. 2013.
<http://www.jelovica-hise.si/konstrukcijske-resitve.html> (Pridobljeno 06. 03. 2014.)
- [41] Konstrukcijska rešitev Lumar: Super standard. 2012.
http://www.lumar.si/konstrukcijski-sistemi_standardplus.html (Pridobljeno 06. 03. 2014.)
- [42] Konstrukcijska rešitev Lumar: Prestige. 2012.
http://www.lumar.si/konstrukcijski-sistemi_prestige.html (Pridobljeno 06. 03. 2014.)
- [43] Konstrukcijska rešitev Marles: Mega plus N10. 2014.
<http://www.marles.com/sl/konstrukcijski-sistemi> (Pridobljeno 06. 03. 2014.)
- [44] Konstrukcijska rešitev Rihter: Optimal. 2012.
<http://www.rihter.si/files/rihter/userfiles/Sistemi/Rihter%202012-71%20WEB.pdf> (Pridobljeno 06. 03. 2014.)
- [45] Konstrukcijska rešitev Glin Hiše: Sistem Glin Plus. 2014.
<http://www.glin-hise.si/sistem-glin-plus/> (Pridobljeno 12. 03. 2014.)
- [46] Konstrukcijska rešitev Ekoprodukt: Stena dobre nizkoenergijske hiše. 2013.
<http://www.ekoprodukt.si/sistemske-resitve-skeletne-lesene-stene.html#zd01skl> (Pridobljeno 12. 03. 2014.)
- [47] Konstrukcijska rešitev Ekoprodukt: Masivna lesena stena z dobro zunanjo izolacijo. 2013.
<http://www.ekoprodukt.si/sistemske-resitve-masivne-lesene-stene.html> (Pridobljeno 12. 03. 2014.)
- [48] Konstrukcijska rešitev Jelovica: Optima, Optima +. 2013.
<http://www.jelovica-hise.si/konstrukcijske-resitve.html> (Pridobljeno 06. 03. 2014.)
- [49] Konstrukcijska rešitev Lumar: Standard. 2012.
http://www.lumar.si/konstrukcijski-sistemi_standard.html (Pridobljeno 06. 03. 2014.)
- [50] Konstrukcijska rešitev Marles: Basic N6. 2014.
<http://www.marles.com/sl/sistem-basic-n6> (Pridobljeno 12. 03. 2014.)
- [51] Konstrukcijska rešitev Riko: Plus stena. 2014.
<http://www.riko-hise.si/si/prerezi-zunanjih-sten> (Pridobljeno 06. 03. 2014.)
- [52] Konstrukcijska rešitev Rimahiše: BIO. 2013.
http://www.rimahise.si/sites/default/files/dokumenti/shema_prerez_objekta_z_opisi_rima_bio_0.pdf
(Pridobljeno 06. 03. 2014.)

- [53] Konstrukcijska rešitev Jaris: Prijazna, Varčna. 2014.
<http://www.jaris.si/slo/nasa-ponudba/variante-izvedbe/> (Pridobljeno 12. 03. 2014.)
- [54] Konstrukcijska rešitev Liris hiše. 2013.
<http://www.xn--liris-hie-s3b.si/slo/108/Zunanja%20stena> (Pridobljeno 12. 03. 2014.)
- [55] Konstrukcijska rešitev Glin hiše: Sistem Glin. 2014.
<http://www.glin-hise.si/sistem-glin/> (Pridobljeno 12. 03. 2014.)
- [56] Konstrukcijska rešitev Rihter: Standard. 2012.
<http://www.rihter.si/files/rihter/userfiles/Sistemi/Rihter%202012-70%20WEB.pdf> (Pridobljeno 06. 03. 2014.)
- [57] Konstrukcijska rešitev Rima hiše: Standard plus. 2013..
http://www.rimahise.si/sites/default/files/dokumenti/opis_konstrukcijskih_sklopov-rima_standard_plus_slo_zunanja_stena.pdf (Pridobljeno 06. 03. 2014.)
- [58] Konstrukcijska rešitev Ekoprodukt: Masivna lesena stena z zunanjo izolacijo. 2013.
<http://www.ekoprodukt.si/sistemske-resitve-masivne-lesene-stene.html> (Pridobljeno 12. 03. 2014.)
- [59] Konstrukcijska rešitev Ciproš: Bio hiša. 2013.
<http://www.cipros.si/sestava-bio-hie.html> (Pridobljeno 12. 03. 2014.)
- [60] Konstrukcijska rešitev Lesoteka: LBN Basic. 2013.
<http://www.lesoteka-hise.si/sl/masivne-lesene-stene-brune/tehnologija-2> (Pridobljeno 12. 03. 2014.)
- [61] Konstrukcijska rešitev Riko: Lesena stena. 2014.
<http://www.riko-hise.si/si/prerezi-zunanjih-sten> (Pridobljeno 06. 03. 2014.)
- [62] Konstrukcijska rešitev CI produkt: EKO klasik. 2013.
<http://www.ciprodukt.si/skeletne-hise.html> (Pridobljeno 12. 03. 2014.)
- [63] Konstrukcijska rešitev Kager: Optima. 2014.
<http://archive-si.com/page/1849292/2013-04-09/http://www.kager.si/tehnologija-kager-hise/sistem-optima/> (pridobljeno 26. 05. 2014.)
- [64] Konstrukcijska rešitev Kager: Doh. 2014.
<http://www.kager.si/tehnologija-kager-hise> (12. 03. 2014.)
- [65] Konstrukcijska rešitev Ekoprodukt: Stena nizko energijske hiše. 2013.
<http://ekoprodukt.si/sistemske-resitve-skeletne-lesene-stene.html> (Pridobljeno 12. 03. 2014.)

[66] Pravilnik o energetske učinkovitosti stavb. 2011.

<http://www.enforce-ee.eu/slo/pures-2010/pravilnik-o-energetski-ucinkovitosti-stavb> (Pridobljeno 08. 07. 2014.)

[67] Podnebje v prihodnosti – koliko vemo o njem?. 2008.

<http://www.arso.gov.si/podnebne%20spremembe/Podnebje%20v%20prihodnosti/Projekcije%20podnebja%20v%20prihodosti.pdf> (Pridobljeno: 24. 07. 2014.)



[68] Monahan J., Powell J. C. 2011. An embodied carbon and energy analysis of modern methods of construction in housing: A case study using a lifecycle assessment framework. *Energy and Buildings*. 43, 179-188.

SEZNAM PRILOG

PRILOGA A: Rezultati analize programa TEDI

- **Slika A.1: Rezultati analize konstrukcijskega sklopa O21**
- **Slika A.2: Rezultati analize konstrukcijskega sklopa S6**
- **Slika A.3: Rezultati analize konstrukcijskega sklopa S8**
- **Slika A.4: Rezultati analize konstrukcijskega sklopa M6**
- **Slika A.5: Rezultati analize konstrukcijskega sklopa M8**
- **Slika A.6: Rezultati analize konstrukcijskega sklopa K**

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

 TEDI Univerza na ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za strojne konstrukcije d.o.o. Program za magistrski študijski program inženirski strojništvo, smer strojništvo, predmet: Analiza toplotne prehodnosti in difuzije vodne pare skozi večplastno KS	
--	---

O21	
Vrsta konstrukcijskega sklopa po 9. členu Pravilnika	1. - Zunanje stene in stene proti neogrevanim prostorom, tla nad neogrevanim prostorom ali z zunanjim zrakom
Vrsta stavbe po 9. členu Pravilnika	1. - Stavbe s temperaturo notranjega zraka pozimi nad 19°C ali poleti hlajene pod 26°C
Neklimatizirana / klimatizirana stavba	1. - Neklimatizirana stavba in stavba brez procesov z večjim nastajanjem vodne pare

Difuzijsko navzdrževanje - 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 (%)	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 ² K/W)	0,13
Notranja površinska upornost R_{si} (m ² K/W)	0,04



Št. plasti	Šifra	Material	Debelina	Gostota	Specifična toplota	Toplotna prevodnost	Difuzijska upornost vodni pari	HI	Tip
			m	kg/m ³	J/kg K	W/m K	-		
1	46.1	mavčno karbonaste plošče - do 15 mm	0,0150	900	840	0,210	12,0		1
2	46.1	mavčno karbonaste plošče - do 15 mm	0,0100	900	840	0,210	12,0		1
3	113.0	mineralna in steklena volna	0,0600	200	840	0,041	1,0		1
4	66.1	iveke - trde	0,0150	1.000	1.880	0,120	17,0		1
5	81.0	polietilenske folije	0,0005	1.000	1.250	0,190	80000,0		1
6	113.0	mineralna in steklena volna	0,1400	200	840	0,041	1,0		1
7	66.1	iveke - trde	0,0150	1.000	1.880	0,120	17,0		1
8	140.0	vlaknaste lesne plošče	0,0600	190	2.000	0,045	10,0		1
9	20.0	plemenita fasadna malta	0,0050	1.850	1.050	0,700	15,0	*	1

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 oklajem se pri računu toplotne prehodnosti in difuziji vodne pare ne upoštevajo

Slika A.1: Rezultati analize konstrukcijskega sklopa O21

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

 TEDI	Univerza na Primorskem, Fakulteta za gradbeništvo in gozdarstvo, Razred za difuzijo toplotnega in vodne pare Program in način toplotne prehodnosti, analize toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Priloki A o toplotni prehodnosti v skladu s SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 1025:2002	
---	--	---

Gostota difuzijskega toka vodne pare

q_{m1}		kg/m ² h
q_{m2}		kg/m ² h

Izračun količine kondenzirane vodne pare

q_{m1}'		kg/m ² h
q_{m2}'		kg/m ² h

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

X_r		%
X_{max}		%

X_{gr}		%
X_{sk}		%

Izsuševanje KS

Čas potreben za izsušitev KS		dan
Dolžina obdobja izsuševanja		dan

KS ODGOVARJA

REZULTATI : TOPLOTNA STABILNOST

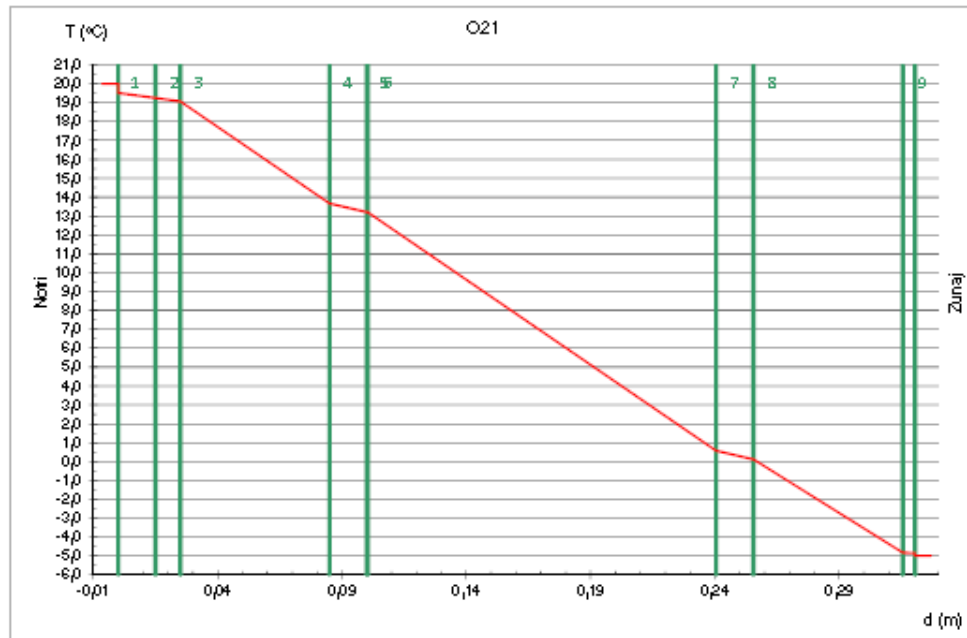
Temperaturno dušenje	163,18	
Temperaturna zakasnitev	10,81	ura

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

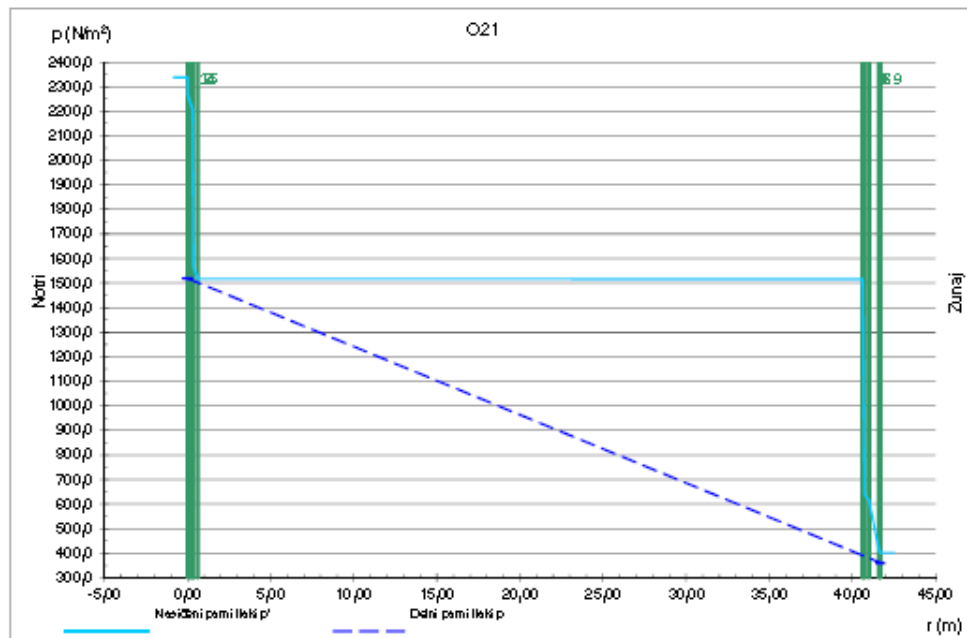
TEDI Univerza na Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Inštitut za strojno konstrukcijsko inženjirstvo
 Program za računalniško toplotno prehodnost in difuzijo vodne pare skozi večplastne KS po Priloki B o toplotni prehodnosti in difuziji vodne pare skozi večplastne KS, SIST EN ISO 6789, SIST EN ISO 10211-1 in SIST ISO 2008

FRAGMAT



REZULTATI : T - d diagram



REZULTATI : p - r diagram



Račun toplotne prehodnosti, analiza toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi vodne paroizolacijske sisteme

 TEDI Univerza na Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in gozdarstvo, Katedra za strojne konstrukcije dnevne Program za računalniško toplotno prehodnost, strojno toplotno prehodnost in difuzijo vodne pare skladno s predpisi o toploti TEDI je vključeni v redno analizo skladnosti s SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 1025:2002	
---	---

S6

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 19°C ali poleti hlajene pod 26°C
Neklimatizirana / klimatizirana stavba	1. - Neklimatizirana stavba in stavba brez procesov z večjim nastajanjem vodne pare

Difuzijsko navlaževanje - zima - projektne vrednosti

Temperatura zunanaj (°C)	-10,0	Računska temperatura zunanaj (°C)	-5,0
Temperatura notri (°C)	20,0		
Relativna vlažnost zunanaj (%)	90		
Relativna vlažnost notri (%)	65		

Difuzijsko sušenje - poletje - projektne vrednosti

Temperatura zunanaj (°C)	18,0
Temperatura notri (°C)	18,0
Relativna vlažnost zunanaj (%)	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
				ρ	C	λ	μ		
			m	kg/m ³	J/kg K	W/m K	-		
1	46.1	mavčno kartonaste plošče - do 15 mm	0,0125	900	840	0,210	12,0		1
2	46.1	mavčno kartonaste plošče - do 15 mm	0,0150	900	840	0,210	12,0		1
3	81.0	polietilenske folije	0,0005	1.000	1.250	0,190	80000,0		1
4	113.0	mineralna in steklena volna	0,1600	200	840	0,041	1,0		1
5	46.1	mavčno kartonaste plošče - do 15 mm	0,0150	900	840	0,210	12,0		1
6	124.2	FRAGMAT EPS 70	0,0900	15	1.260	0,039	25,0		3
7	20.0	plemenita fasadna malta	0,0200	1.850	1.050	0,700	15,0	*	1

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 okldjem se pri računu toplotne prehodnosti in difuziji vodne pare ne upoštevajo

Slika A.2: Rezultati analize konstrukcijskega sklopa S6

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

 TEDI Uršnikova ulica 10, 1000 Ljubljana, Slovenija Programi za računalniško pomoč pri gradbeništvu in geodetstvu, Računalniški inženiring inženirski študijski programi Programi za računalniško pomoč pri gradbeništvu in geodetstvu, Računalniški inženiring inženirski študijski programi Programi za računalniško pomoč pri gradbeništvu in geodetstvu, Računalniški inženiring inženirski študijski programi	
--	---

REZULTATI : TOPLOTNA PREHODNOST

Temperature na stikih plasti v °C

Številka plasti	Notri	Zunaj
1	19,5	19,3
2	19,3	19,0
3	19,0	19,0
4	19,0	3,6
5	3,6	3,3
6	3,3	-4,7
7	-4,7	-4,8

$U_{\text{predlojeni}} =$	0,157	(W/m ² K)	<	$U_{\text{max}} =$	0,280	(W/m ² 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	2.263,9	2.231,2
2	2.231,2	2.192,4
3	2.192,4	2.191,0
4	2.191,0	791,7
5	791,7	776,3
6	776,3	410,2
7	410,2	406,4
Zunanji zrak	401,0	

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

Notranji zrak	1.519,1
Zunanji zrak	360,9

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

	Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in gozdarstvo, Katedra za strojne inženirski študijski smeri Program za računalniško pomoč pri analizi toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Priloki A.2 računalniško pomoč pri analizi toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS	
---	--	---

Gostota difuzijskega toka vodne pare

q_{m1}		kg/m ² h
q_{m2}		kg/m ² h

Izračun količine kondenzirane vodne pare

$q_{m'}$		kg/m ² h
q_{m2}'		kg/m ² h

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

X_r		%
X_{max}		%

X_{dZ}		%
X_{sk}		%

Izsuševanje KS

Čas potreben za izsušitev KS		dan
Dolžina obdobja izsuševanja		dan

KS ODGOVARJA

REZULTATI : TOPLOTNA STABILNOST

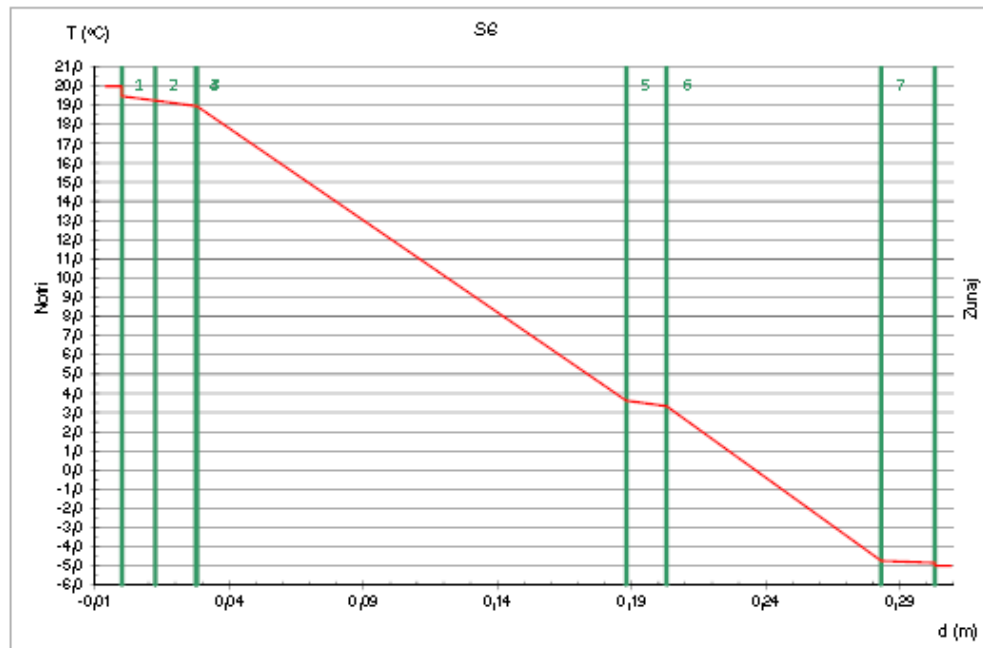
Temperaturno dušenje	93,41	
Temperaturna zakasnitev	6,04	ura

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

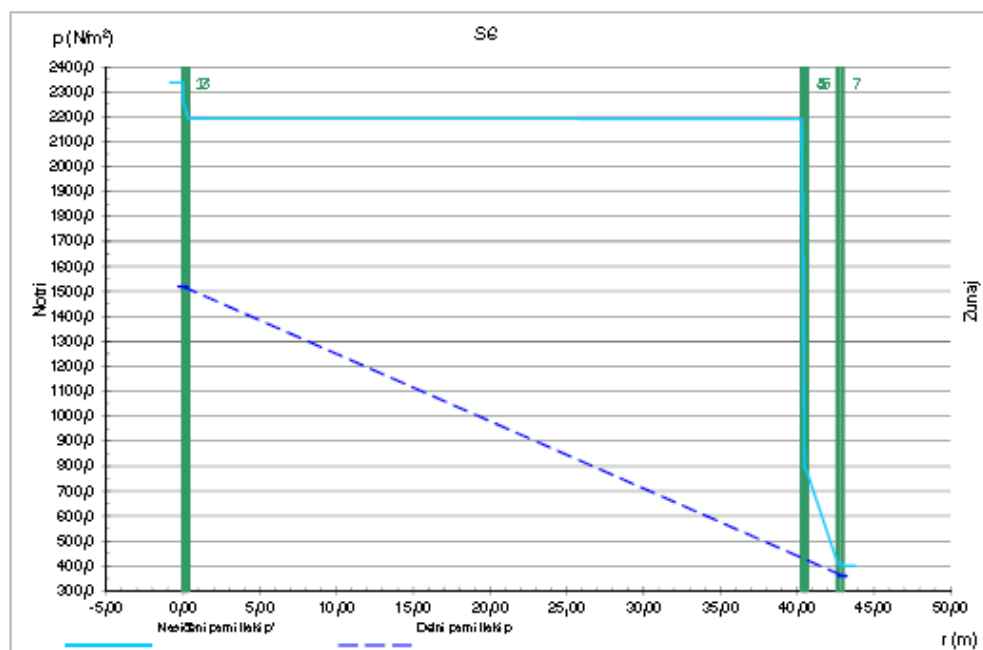
TEDI Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Inštitut za strukturne konstrukcijske elemente
 Program za računalniško toplotno prehodnost, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Preskrbi o toploti
 2008 in v skladu s temi analizami v skladu s SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 1025:2002

FRAGMAT



REZULTATI : T - d diagram



REZULTATI : p - r diagram





Račun toplotne prehodnosti, analiza toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi učilnice S8

 TEDI Delovna Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in gozdarstvo, Katedra za strojne konstrukcije dnevne Program za računalniško in strojno toplotno prehodnost in difuzijo vodne pare skladno s predpisi o toplotni izolaciji in ustreznih normativih: SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 1025:2002									
skeletna ekoprojekt									
Vista konstrukcijskega sklopa po 9. členu Pravilnika	1. - Zunanje stene in stene proti neogrevanim prostorom, tla nad neogrevanim prostorom ali zunanjim zrakom								
Vista stavbe po 9. členu Pravilnika	1. - Stavbe s temperaturo notranjega zraka pozimi nad 19oC ali poleti hlajene pod 25oC								
Neklimatizirana / klimatizirana stavba	1. - Neklimatizirana stavba in stavba brez procesov z večjim nastajanjem vodne pare								
<i>Difuzijsko vlaževanje - zima - projektne vrednosti</i>									
Temperatura zunaj (°C)	10,0	Računska temperatura zunaj (°C)	5,0						
Temperatura notri (°C)	20,0								
Relativna vlažnost zunaj (%)	90								
Relativna vlažnost notri (%)	60								
<i>Difuzijsko sušenje - poletje - projektne vrednosti</i>									
Temperatura zunaj (°C)	18,0								
Temperatura notri (°C)	18,0								
Relativna vlažnost zunaj (%)	65								
Relativna vlažnost notri (%)	65								
Zunanja površinska upornost R_{se} (m ² K/W)	0,13								
Notranja površinska upornost R_{si} (m ² K/W)	0,04								
Št. plasti	Šifra	Material	Debelina	Gostota	Specifična toplota	Toplotna prevodnost	Difuzijska upornost vodni pari	HI	Tip
			m	ρ kg/m ³	C J/kg K	λ W/m K	μ -		
1	46.1	mavčno kartonaste plošče - do 15 mm	0.0150	900	840	0.210	12.0		1
2	143.0	celulozna vlakna	0.1000	85	1.800	0.040	1.0		1
3	81.0	polietilenske folije	0.0005	1.000	1.250	0.190	80000.0		1
4	66.1	iverke - trde	0.0150	1.000	1.880	0.120	17.0		1
5	143.0	celulozna vlakna	0.1800	85	1.800	0.040	1.0		1
6	140.0	vlaknaste lesne plošče	0.0600	190	2.000	0.045	10.0		1
7	20.0	plemenita fasadna malta	0.0080	1.850	1.050	0.700	15.0	*	1

Tip: 1 - material po pravilniku, 2 - material po standardu, 3 - material iz tabele o skladnosti, 4 - material s sistemskim certifikatom ETA, 5 - material brez 1-4
* - stoji med izbrano hidroizolacijo in zunanjim okoljem se pri računu toplotne prehodnosti in difuziji vodne pare ne upoštevajo

Slika A.3: Rezultati analize konstrukcijskega sklopa S8

Rečun toplotne prehodnosti II, analiza toplotne ga prehode in difuzije vodne pare skozi večplastne KS

 TEDI	Uprava za izobraževalni, raziskovalni in gradbeniški inštitut, ki deluje na področju konstruktivne arhitekture Program za raziskovalne projekte, analizo toplotnega prečnega preseka in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Predpisu o toplotni zaščiti in zaščiti od vlage v zgradbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 1025:2002	
---	---	---

REZULTATI : TOPLOTNA PREHODNOST

Temperature na stikih plasti v °C

Številka plasti	Notri	Zunaj
1	19.8	19.7
2	19.7	15.3
3	15.3	15.3
4	15.3	15.1
5	15.1	7.4
6	7.4	5.1
7	5.1	5.1

$U_{\text{brežinani}} =$	0.115	(W/m ² K)	<	$U_{\text{maxi}} =$	0.280	(W/m ² 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	2,304.8	2,287.2
2	2,287.2	1,742.7
3	1,742.7	1,742.2
4	1,742.2	1,718.3
5	1,718.3	1,027.7
6	1,027.7	877.4
7	877.4	876.2
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 s koeficientne KS

 TEDI	Univerza na Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in gozdarstvo, Katedra za strojne konstrukcije aluminija Program za računalniško pomoč pri analizi toplotnega prehoda in difuzije vodne pare s koeficientne KS po PrEN12526 o toplotni zaščiti in učinkovitosti analize v strojih, SIST EN ISO 6786, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 10252:2002	
---	--	---

Gostota difuzijskega toka vodne pare

q_{mi}		kg/m^2h
q_{me}		kg/m^2h

Izračun količine kondenzirane vodne pare

$q_{m'}$		kg/m^2h
$q_{m'e}$		kg/m^2h

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

X_v		%
X_{max}		%

X_{dir}		%
X_{sk}		%

Izsuševanje KS

Čas potreben za izsušitev KS		dan
Dolžina obdobja izsuševanja		dan

KS ODGOVARJA

REZULTATI : TOPLITNA STABILNOST

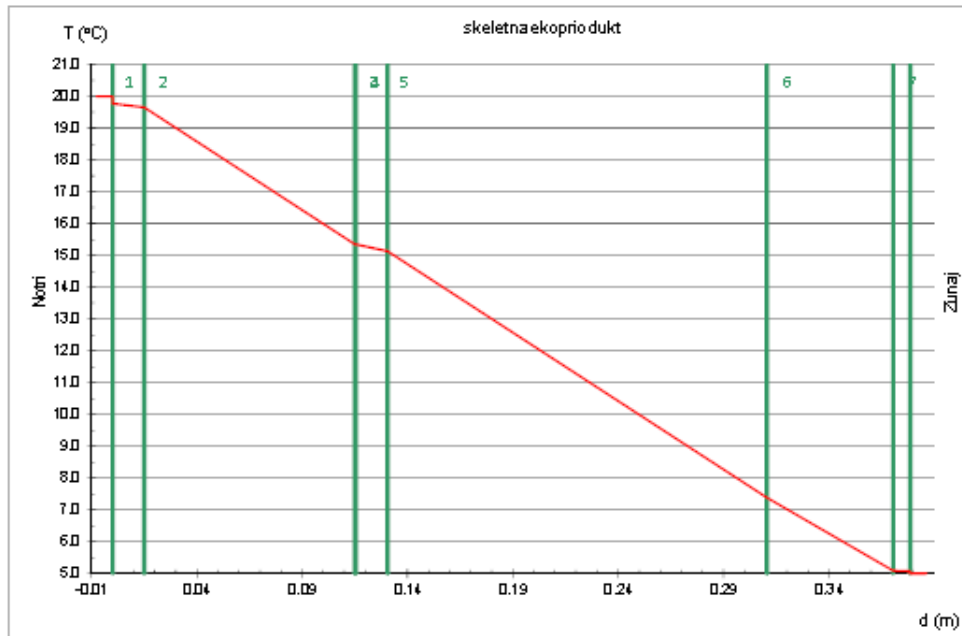
Temperaturno dušenje	398,46	
Temperaturna zakasnitev	14,08	ura

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

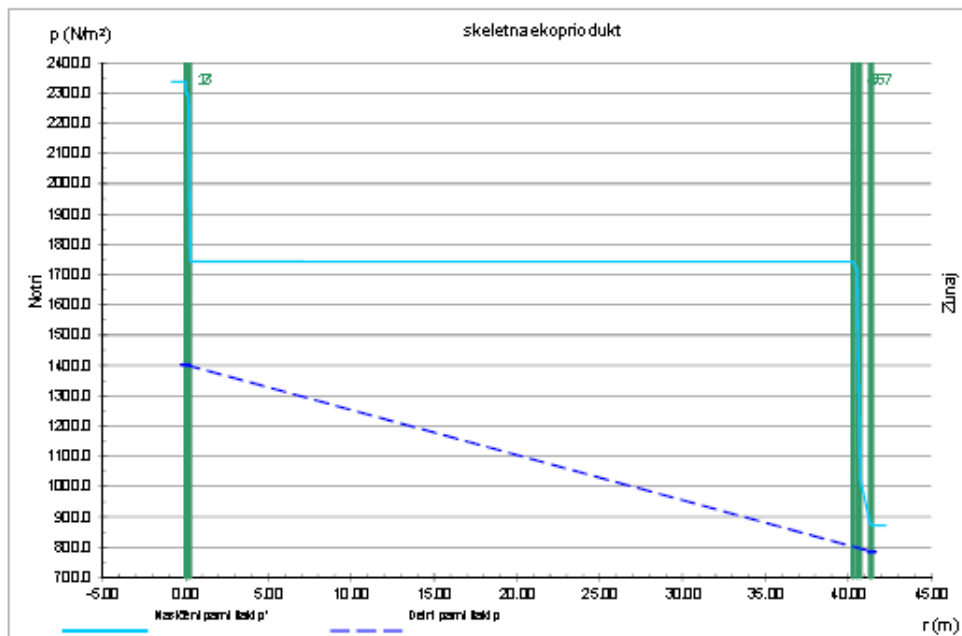
TEDI Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Inštitut za strukturne konstrukcije akademika
 Program za računalniško analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Preskrbi o toplotni
 zaščiti in učiteljski inženirski strokovni skupini, ZŠSTEN ISO 6946, ZŠSTEN ISO 10211-1 in ZŠSTEN ISO 10259:2002

FRAGMAT

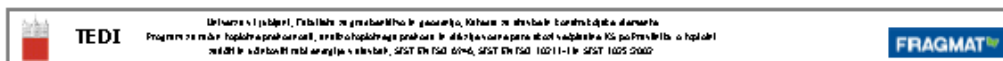
REZULTATI : T - d diagram



REZULTATI : p - r diagram



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



M6	
Vrsta konstrukcijskega sklopa, po 9. členu Pravilnika	1. - Zunanje stene in stene proti neogrevanim prostorom, tla nad neogrevanim prostorom ali z zunanjim zrakom
Vrsta stavbe, po 9. členu Pravilnika	1. - Stavbe s temperaturo notranjega zraka pozimi nad 19°C ali poleti hlajene pod 26°C
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 (%)	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
				ρ	C	λ	μ		
			m	kg/m ³	J/kg K	W/m K	-		
1	63.2	les - smreka, bor	0,0900	500	2.090	0,140	70,0		1
2	81.0	polietilenske folije	0,0002	1.000	1.250	0,190	80000,0		1
3	113.0	mineralna in steklena volna	0,1600	200	840	0,041	1,0		1
4	81.0	polietilenske folije	0,0002	1.000	1.250	0,190	80000,0		1
5	45.1	azbestno cementne plošče - nestisnjene	0,0125	1.800	960	0,350	20,0		1
6	20.0	plemenita fasadna malta	0,0006	1.850	1.050	0,700	15,0	*	1

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 okldjem se pri računu toplotne prehodnosti in difuziji vodne pare ne upoštevajo

Slika A.4: Rezultati analize konstrukcijskega sklopa M6

Rečun toplotne prehodnosti, analize toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi vodoplatno KS

 TEDI	Univerza na Primorskem, Fakulteta za gradbeništvo in geotehniko, Katedra za strojarstvo in konstrukcijska inženjirstva Program za računalniško pomoč pri gradbeništvu, analize toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi vodoplatno KS po Preskrbi o toplotni zaščiti in zaščiti pred aranjejo v zgradbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 1025:2002	
---	--	---

REZULTATI : TOPLOTNA PREHODNOST

Temperature na stikih plasti v °C

Stevilka plasti	Notri	Zunaj
1	19,3	15,9
2	15,9	15,9
3	15,9	-4,6
4	-4,6	-4,6
5	-4,6	-4,8
6	-4,8	-4,8

U_{mednena} =	0,210	(W/m ² K)	<	U_{max} =	0,280	(W/m ² 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	2.239,7	1.809,5
2	1.809,5	1.808,9
3	1.808,9	415,0
4	415,0	414,9
5	414,9	408,4
6	408,4	408,2
Zunanji zrak	401,0	

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

Notranji zrak	1.519,1
Zunanji zrak	360,9

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

 TEDI	Univerza na Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geotehniko, Inštitut za strojne inženiringe Program za računalniško pomoč pri gradbeni inženiringu, smer: toplotna prehodnost in difuzija vodne pare skozi večplastne KS po Predpisu o toplotni izolaciji in zaščiti pred vlago v zgradbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 1025:2002	
---	--	---

Gostota difuzijskega toka vodne pare

q_{m1}	3,072140E-05	kg/m ² h
q_{m2}	2,081372E-06	kg/m ² h

Izračun količine kondenzirane vodne pare

q_m'	2,864003E-05	kg/m ² h
q_{m2}'	4,124165E-02	kg/m ² h

Kondenz nastaja v 3. sloju, material mineralna in steklena volna

X_r	5,00	%
X_{max}	10,00	%

X_{dR}	0,29	%
X_{sR}	5,29	%

Izsuševanje KS

Čas potreben za izsušitev KS	47	dan
Dolžina obdobja izsuševanja	60	dan

KS ODGOVARJA

REZULTATI : TOPLOTNA STABILNOST

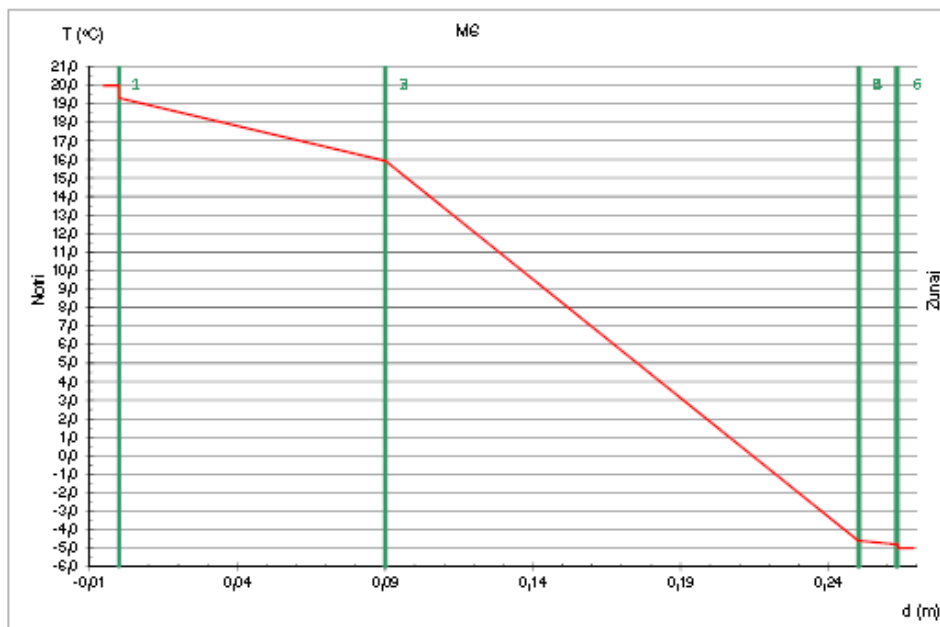
Temperaturno dušenje	143,63	
Temperaturna zakasnitev	11,12	ura

Rečun toplotne prehodnosti, analize toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi vsplodne KS

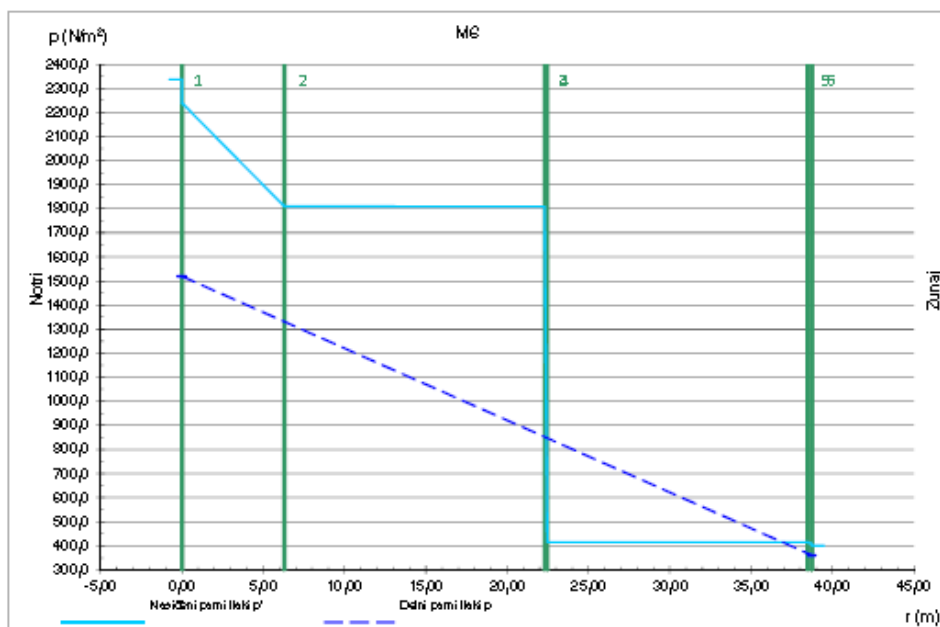
TEDI Univerza na ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geotehniko, Višnja in strojna konstrukcijska smereta
 Program za računalniško toplotno prehodnost in difuzijo vodne pare skozi vsplodne KS po predpisih o toplotni
 zaščiti in zračnosti zidov in strešnih konstrukcij. SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 1025:2002

FRAGMAT



REZULTATI : T - d diagram



REZULTATI : p - r diagram



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

 TEDI Inštitut za inženjerske, fizične in gradbeniške študije, laboratorij za strojne konstrukcijske sklope Program za računalniško in strojno opremljeno analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Prilogi A.5 k Prilogi A.5 ul. Dr. Josipa Tuma 2, SI-1000 Ljubljana, SI, tel: +386 (0)1 4780 1111, fax: +386 (0)1 4780 2000	
--	---

M8	
Vrsta konstrukcijskega sklopa po 9. členu Pravilnika	1. - Zunanje stene in stene proti neogrevanim prostorom, tla nad neogrevanim prostorom ali z zunanjim zrakom
Vrsta stavbe po 9. členu Pravilnika	1. - Stavbe s temperaturo notranjega zraka pozimi nad 19°C ali poleti hlajene pod 26°C
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 (%)	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 ² K/W)	0,13
Notranja površinska upornost R_{si} (m ² K/W)	0,04



Št. plasti	Šifra	Material	Debelina	Gostota	Specifična toplota	Toplotna prevodnost	Difuzijska upornost vodni pari	HI	Tip
				ρ	C				
			m	kg/m ³	J/kg K	W/m K	-		
1	63.2	les - smreka, bor	0,1000	500	2.090	0,140	70,0		1
2	113.0	mineralna in steklena volna	0,0600	200	840	0,041	1,0		1
3	140.0	vlaknaste lesne plošče	0,0600	190	2.000	0,045	10,0		1
4	20.0	plemenita fasadna malta	0,0080	1.850	1.050	0,700	15,0	*	1

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 ocdjem se pri računu toplotne prehodnosti in difuziji vodne pare ne upoštevajo

Slika A.5: Rezultati analize konstrukcijskega sklopa M8

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

 TEDI	Univerza na ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in gozdarstvo, Vedni in strokovni center za konstrukcijske sklope Program za računalniško pomoč pri analizi toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Priloki A o toplotni prehodnosti in difuziji vodne pare v skladu s SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 14011-1 in SIST ISO 2002	
---	---	---

REZULTATI : TOPLOTNA PREHODNOST

Temperature na stikih plasti v °C

Številka plasti	Notri	Zunaj
1	19,1	14,3
2	14,3	4,4
3	4,4	-4,7
4	-4,7	-4,7

$U_{\text{izračunani}} = 0,271 \text{ (W/m}^2\text{K)}$ < $U_{\text{max}} = 0,280 \text{ (W/m}^2\text{K)}$

KS ODGOVARJA

REZULTATI : DIFUZIJA VODNE PARE

Temperaturam pripadajoči tlaki nasičenja vodne pare p' (Pa)

Notranji zrak	2.337,0	
<i>Na stikih plasti</i>		
Številka plasti	Notri	Zunaj
1	2.212,5	1.627,6
2	1.627,6	834,7
3	834,7	413,0
4	413,0	410,3
Zunanji zrak	401,0	

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

Notranji zrak	1.519,1
Zunanji zrak	360,9

Gostota difuzijskega toka vodne pare

q_{m1}	kg/m ² h
q_{m2}	kg/m ² h

Izračun količine kondenzirane vodne pare

q_{m1}'	kg/m ² h
q_{m2}'	kg/m ² h

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

X_r	%
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	120,76	
Temperaturna zakasnitev	11,19	ura

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

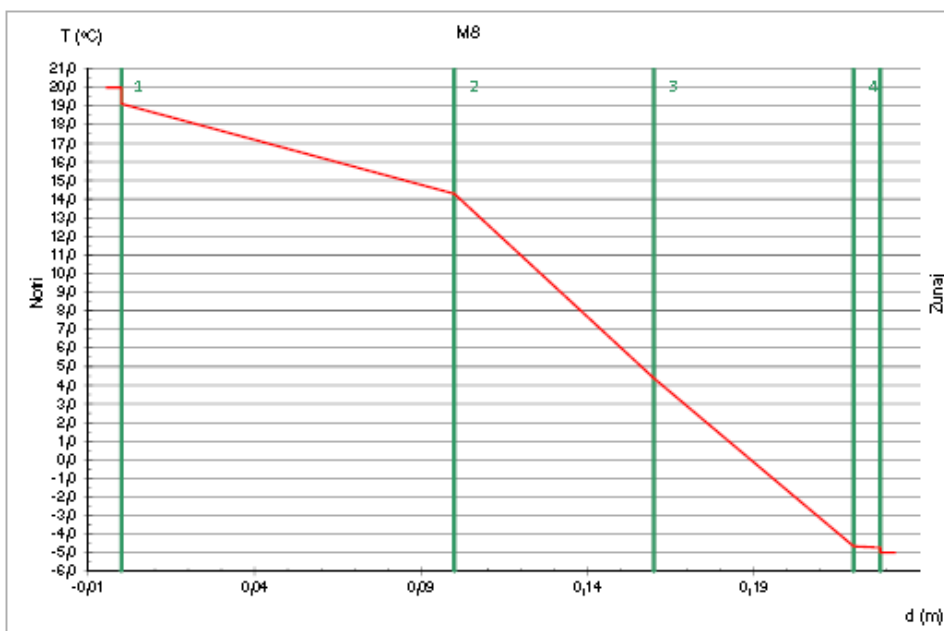


TEDI

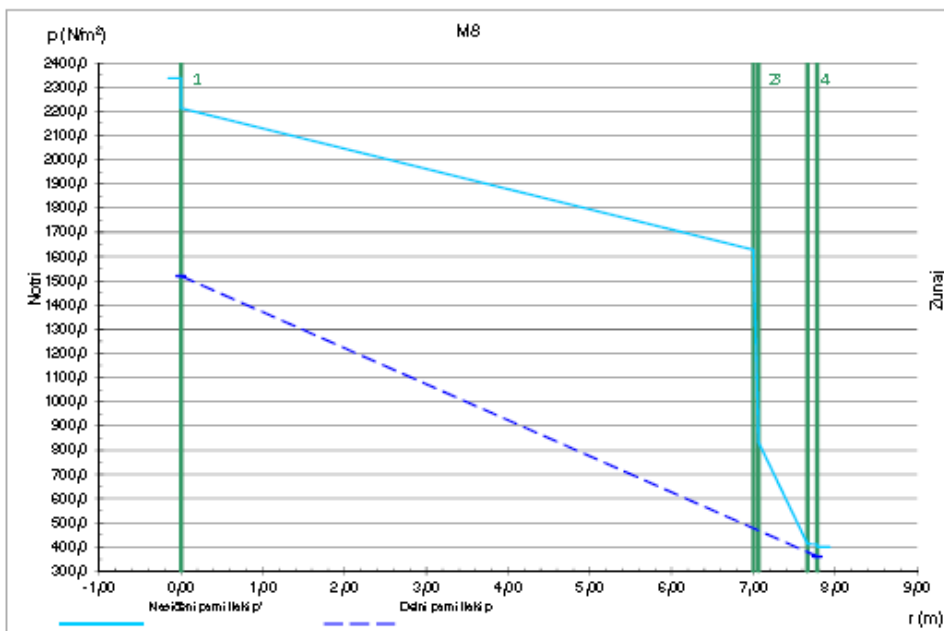
Uršičeva 4 | Ljubljana | 1000
 Program za računalniško analizo toplotne prehodnosti in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Priloki A.5
 TEDI in slični računalniški programi, SISTEN ISO 6946, SISTEN EN ISO 10211-1 in SISTEN ISO 10292



REZULTATI : T - d diagram



REZULTATI : p - r diagram



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

TEDI	Ustvarja in izdaja, distribucija in gradbeniško in gaseniško, kišarno in strešno konstrukcijska dela Program za računalniško toplotno prehodnost, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastna KS po Prilozbi o toplotni izolaciji in vodni pari v stavbah, SIST EN ISO 6789, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 1025 2002	FRAGMAT
-------------	--	----------------

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

Difuzijsko navlaževanje - zima - projektne vrednosti

Temperatura zunanaj (°C)	-10,0	Računska temperatura zunanaj (°C)	-5,0
Temperatura notri (°C)	20,0		
Relativna vlažnost zunanaj (%)	90		
Relativna vlažnost notri (%)	65		

Difuzijsko sušenje - poletje - projektne vrednosti

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

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



Št. plasti	Šifra	Material	Debelina	Gostota	Specifična toplota	Toplotna prevodnost	Difuzijska upornost vodni pari	HI	Tip
				ρ	C				
			m	kg/m ³	J/kg K	W/m K	-		
1	17.0	apnena malta	0,0100	1.600	1.050	0,810	10,0		1
2	7.2	silikatna opeka z votlinami (gostota opeke z votlinami)	0,3000	1.200	920	0,560	4,0		1
3	81.0	polietilenske folije	0,0005	1.000	1.250	0,190	80000,0		1
4	124.2	FRAGMAT EPS 70	0,1200	15	1.260	0,039	25,0		3
5	20.0	plemenita fasadna malta	0,0200	1.850	1.050	0,700	15,0	*	1

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

* - stoji med izbrano hidroizolacijo in zunanjim okldjem se pri računu toplotne prehodnosti in difuziji vodne pare ne upoštevajo

Slika A.6: Rezultati analize konstrukcijskega sklopa K

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

 TEDI Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in gozdarstvo, Inštitut za strojno konstrukcijsko inženirstvo Program za računalniško pomoč pri analizi toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi vodne KS po Priloki A o toplotni prehodnosti in o difuziji vodne pare skozi vodne KS, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST ISO 5052	
---	---

REZULTATI : TOPLOTNA PREHODNOST

Temperature na stikih plasti v °C

Številka plasti	Notri	Zunaj
1	19,2	19,1
2	19,1	15,6
3	15,6	15,6
4	15,6	-4,6
5	-4,6	-4,7

 $U_{\text{izračunani}} = 0,261 \text{ (W/m}^2\text{K)} < U_{\text{max}} = 0,280 \text{ (W/m}^2\text{K)}$

KS ODGOVARJA



REZULTATI : DIFUZIJA VODNE PARETemperaturam pripadajoči tlaki nasičenja vodne pare p' (Pa)

Notranji zrak		
	2.337,0	
Na stikih plasti		
Številka plasti	Notri	Zunaj
1	2.216,7	2.205,6
2	2.205,6	1.767,5
3	1.767,5	1.765,6
4	1.765,6	416,4
5	416,4	410,0
Zunanji zrak		
	401,0	

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

Notranji zrak	1.519,1
Zunanji zrak	360,9

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

	Univerza na Primorskem, Fakulteta za gradbeništvo in gozdarstvo, Inštitut za strojno konstrukcijsko inženjstvo Program za računalniško pomoč pri projektiranju in analizi toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi vodoparno KS po Prilogi A o toplotni prehodnosti in o toplotni izolaciji v stavbah, SIST EN ISO 6789, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 1025:2002	
---	---	---

Gostota difuzijskega toka vodne pare

q_{m1}		kg/m ² h
q_{m2}		kg/m ² h

Izračun količine kondenzirane vodne pare

$q_{m'}$		kg/m ² h
$q_{mz'}$		kg/m ² h

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

X_r		%
X_{max}		%

X_{dZ}		%
X_{sk}		%

Izsuševanje KS

Čas potreben za izsušitev KS		dan
Dolžina obdobja izsuševanja		dan

KS ODGOVARJA

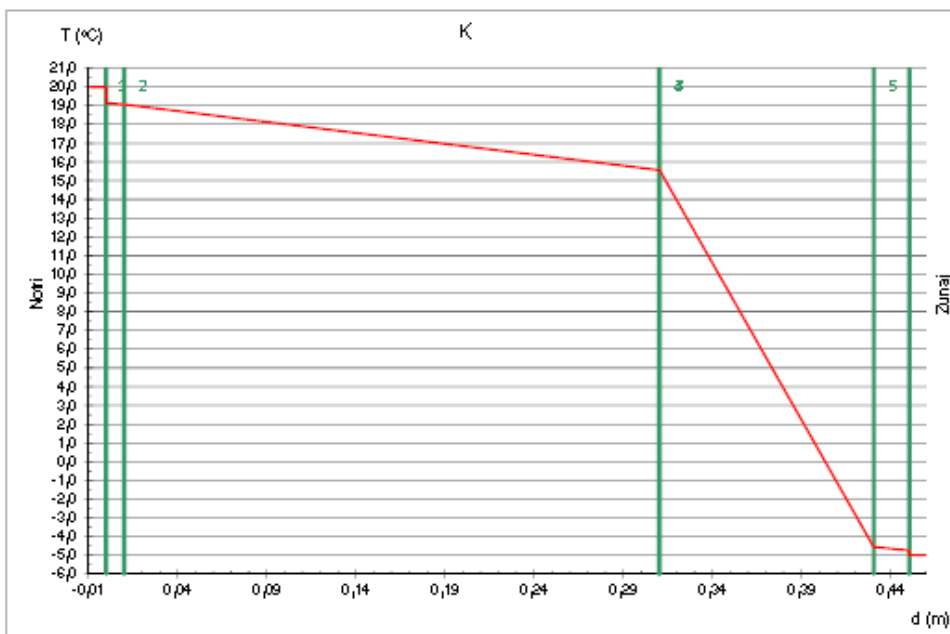
REZULTATI : TOPLOTNA STABILNOST

Temperaturno dušenje	268,81	
Temperaturna zakasnitev	10,06	ura

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

TEDI Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geotehniko, Inštitut za strojno konstrukcijsko inženjirstvo
 Program za računalniško toplotno prehodnost, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Priloki A.6 po EN ISO 10291 in EN ISO 10292
FRAGMAT

REZULTATI : T - d diagram



REZULTATI : p - r diagram

