

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA LESARSTVO

Dražen JURČEVIČ

**UPORABA IZOLACIJSKIH PLOŠČ IZ LESNIH  
VLAKEN V GRADBENIŠTVU**

DIPLOMSKO DELO  
Univerzitetni študij

Ljubljana, 2010

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA LESARSTVO

Dražen JURČEVIČ

**UPORABA IZOLACIJSKIH PLOŠČ IZ LESNIH VLAKEN V  
GRADBENIŠTVU**

DIPLOMSKO DELO  
Univerzitetni študij

**WOOD FIBRE BOARDS USED AS ISOLATOR IN CIVIL  
INGEENEERING**

GRADUATIN THESIS  
University studies

Ljubljana, 2010

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študija lesarstva. Opravljeno je bilo na Katedri za žagarstvo in lesna tvoriva Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo je odobril naslov diplomskega dela in je za mentorja imenoval doc. dr. Sergeja Medveda in za recenzenta izr. prof. dr. Željka Goriška.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Delo je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Dražen Jurčević

## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

- ŠD Dn
- DK UDK 630\*862.1
- KG izolativnost/lesna vlakna/toplotna zaščita/prevajanje toplote/difuzija vodne pare/toplotna prehodnost/toplotni tok
- AV JURČEVIČ, Dražen
- SA MEDVED, Sergej (mentor)/GORIŠEK, Željko (recenzent)
- KZ SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c.VIII/34
- ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
- LI 2010
- IN UPORABA IZOLACIJSKIH PLOŠČ IZ LESNIH VLAKEN V GRADBENIŠTVU
- TD Diplomsko delo (univerzitetni študij)
- OP IX, 48 str., 8 pregl., 21 sl., 8 vir.
- IJ sl
- JI sl/en
- AI Pri toplotni zaščiti zgradb imajo pomembno vlogo toplotnoizolacijski materiali, ki morajo imeti predvsem pozitivne izolacijske lastnosti. Toplotnoizolacijski materiali zmanjšujejo toplotne izgube in posredno stroške energije, porabljene za ogrevanje; ščitijo nosilne konstrukcije pred zunanjimi vremenskimi vplivi in njihovimi posledicami; izboljšujejo bivalno ugodje v prostoru. Za izolacijski material uporabljamo vrsto različnih materialov: stiropor, steklena volna, kamena volna. Lahko pa uporabimo tudi nekatere alternativne materiale: lesne kosmiče, slamo, izolacijske plošče iz lesnih vlaken. S pomočjo programa gradbene fizike smo sestavili 3 tipe prerezov sten z različnimi izolacijskimi materiali in izračunali toplotno prehodnost konstrukcij. Na osnovi pridobljenih izračunov smo primerjali kameno volno z izolacijsko ploščo iz lesnih vlaken. Želeli smo izpostaviti predvsem prednosti izolacijskih plošč iz lesnih vlaken pred klasičnim izolacijskim materialom, kameno volno.

## KEY WORDS DOCUMENTATION

- DN Dn
- DC UDC 630\*862.1
- CX insulation/wood fibres/thermal protection/heat conduction/diffusion of water vapour/heat transfer/heat flow
- AU JURČEVIČ, Dražen
- AA MEDVED, Sergej (supervisor)/GORIŠEK, Željko (co-advisor)
- PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
- PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
- PY 2010
- TI WOOD FIBRE BOARDS USED AS ISOLATOR IN CIVIL INGEENEERING
- DT Graduation Thesis (University studies)
- NO IX, 48p., 8 tab., 21 fig., 8 ref.
- LA sl
- AL sl/en
- AB Thermal insulation materials play an important role in thermal protection of buildings; they predominantly should have positive insulation properties. The tasks of thermal insulation materials is to reduce heat loss and indirectly reduce the cost of energy consumed for heating, protection of construction against external weather, its consequences, so as to improve the comfort in living areas. Variety of different insulation materials can be used in house building: polystyrene, glass wool, rock wool. Some alternative materials such as wood flakes, straw, and insulation panels made of wood fibre can also be used. Using calculations and the results obtained by the program of building physics, 3 types of walls with different insulation materials having various characteristics were assembled, and thermal transition of structure calculated. Based on calculations, the materials were compared to each other through rock wool insulation and the panel of wood fibres. We tried to highlight the particular advantages of the insulating panels of wood fibres from conventional insulating material namely rock wool.

## KAZALO VSEBINE

<b>KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA .....</b>	<b>IV</b>
<b>KEY WORDS DOCUMENTATION .....</b>	<b>V</b>
<b>KAZALO VSEBINE .....</b>	<b>VI</b>
<b>KAZALO PREGLEDNIC .....</b>	<b>VI</b>
<b>KAZALO SLIK .....</b>	<b>IX</b>

<b>1 UVOD .....</b>	<b>- 1 -</b>
1.1 UVODNA OBRAZLOŽITEV .....	- 1 -
1.2 OPREDELITEV PROBLEMA .....	- 3 -
<b>2 PREGLED OBJAV .....</b>	<b>- 3 -</b>
2.1 TOPLOTNA ZAŠČITA V GRADBENIŠTVU .....	- 3 -
<b>2.1.1 Bivalno ugodje .....</b>	<b>- 3 -</b>
2.1.1.1 Parametri toplotnega okolja .....	- 4 -
2.1.1.2 Vrednotenje toplotnega okolja .....	- 7 -
2.1.1.2.1 Napovedana srednja ocena PMV in delež nezadovoljnih PPD .....	- 7 -
2.1.1.2.2 Diagram toplotnega ugodja .....	- 7 -
2.1.1.2.3 Občutena temperatura .....	- 8 -
<b>2.1.2 Prenos toplote v gradbenih konstrukcijah .....</b>	<b>- 9 -</b>
2.1.2.1 Osnove prenosa toplote v gradbenih konstrukcijah .....	- 9 -
2.1.2.1.1 Prevajanje toplote .....	- 10 -
2.1.2.1.2 Prestopanje toplote .....	- 10 -
2.1.2.1.3 Prenos toplote s sevanjem .....	- 10 -
2.1.2.1.4 Prehod toplote v gradbenih konstrukcijah .....	- 11 -
2.1.2.2 Zahteve o toplotni zaščiti zgradb .....	- 12 -
2.1.2.3 Določitev toplotnih prehodnosti gradbenih konstrukcij .....	- 13 -
2.1.2.3.1 Toplotna prehodnost homogenih konstrukcij .....	- 13 -
2.1.2.3.2 Toplotna prehodnost enostavno nehomogenih konstrukcij .....	- 13 -
<b>2.1.3 Vdor vode in prenos vodne pare v konstrukcijah .....</b>	<b>- 14 -</b>
2.1.3.1 Napake v izvedbi toplotne izolacije .....	- 14 -
2.1.3.1.1 Vidne napake slabe toplotne izolacije .....	- 14 -
2.1.3.1.2 Nevidne, indirektno napake slabe toplotne izolacije .....	- 15 -
2.1.3.2 Osnove navlaževanja gradbenih konstrukcij .....	- 15 -
2.1.3.2.1 Preprečevanje kapilarnega vdora vode v gradbenih konstrukcijah .....	- 16 -
2.1.3.2.2 Osnove difuzijskega prehoda vodne pare .....	- 16 -
2.1.3.3 Zahteve zaradi difuzije vodne pare skozi gradbene konstrukcije .....	- 17 -
2.1.3.4 Difuzija vodne pare in večplastne konstrukcije .....	- 18 -
2.1.3.5 Vpliv položaja toplotne izolacije .....	- 19 -
2.1.3.5.1 Toplotna izolacija zunaj .....	- 20 -
2.1.3.5.2 Toplotna izolacija v jedru .....	- 20 -
2.1.3.5.3 Toplotna izolacija notri .....	- 21 -
2.1.3.5.4 Obojestranska toplotna izolacija .....	- 21 -
2.2 MATERIALI .....	- 22 -
<b>2.2.1 Konstrukcijski materiali .....</b>	<b>- 22 -</b>
2.2.1.1 Iverna plošča .....	- 22 -

2.2.1.2	Vlaknena plošča .....	- 23 -
2.2.1.3	Duo lepljen les.....	- 23 -
<b>2.2.2</b>	<b>Toplotnoizolacijski materiali.....</b>	<b>- 24 -</b>
2.2.2.1	Klasični toplotnoizolacijski materiali.....	- 24 -
2.2.2.1.1	Tervol DP-5.....	- 24 -
2.2.2.1.2	Tervol FP-PL.....	- 25 -
2.2.2.2	Ekološki oz. alternativni toplotnoizolacijski materiali.....	- 26 -
2.2.2.2.1	GUTEX-Thermoflex .....	- 27 -
2.2.2.2.2	GUTEX-Thermowall/-gf.....	- 28 -
<b>3</b>	<b>MATERIALI IN METODE .....</b>	<b>- 29 -</b>
3.1	PREDSTAVITEV PREREZOV STEN IN UPORABLJENIH MATERIALOV ...	- 29 -
3.1.1	Zidana stena.....	- 29 -
3.1.2	Montažna stena I.....	- 31 -
3.1.3	Montažna stena II.....	- 32 -
3.2	METODE .....	- 33 -
3.2.1	Izračun.....	- 33 -
3.2.2	Preizkus merjenja prehoda toplote pri različnih vlažnostih materiala....	- 33 -
<b>4</b>	<b>REZULTATI .....</b>	<b>- 35 -</b>
4.1	DEJANSKE TOPLOTNE PREVODNOSTI TOPLOTNOIZOLACIJSKIH MATERIALOV	- 35 -
4.2	TOPLOTNE PREHODNOSTI KONSTRUKCIJ .....	- 36 -
4.2.1	Toplotna prehodnost zidane stene .....	- 37 -
4.2.2	Toplotna prehodnost montažne stene I (Tervol) .....	- 38 -
4.2.3	Toplotna prehodnost montažne stene II (Gutex).....	- 39 -
4.3	VPLIV VLAŽNOSTI MATERIALA NA TOPLOTNE LASTNOSTI KONSTRUKCIJE .....	- 40 -
<b>5</b>	<b>RAZPRAVA IN SKLEPI .....</b>	<b>- 43 -</b>
5.1	RAZPRAVA .....	- 43 -
5.2	SKLEPI .....	- 44 -
<b>6</b>	<b>POVZETEK.....</b>	<b>- 46 -</b>
<b>7</b>	<b>VIRI.....</b>	

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Odvisnost različnih aktivnosti in metov po standardu ISO 8996.....	- 4 -
Preglednica 2: Število clo v odvisnosti od oblečenosti osebe.....	- 5 -
Preglednica 3: Primerna temperatura tal (Medved, 1997). .....	- 7 -
Preglednica 4: Računske temperature in relativne vlažnosti okoliškega zraka v odvisnosti od klimatskega področja v zimskem času (doba navlaževanja).....	- 18 -
Preglednica 5: Potek slojev in debelina slojev v zidani steni.....	- 30 -
Preglednica 6: Potek slojev in debelina slojev v montažni steni I. ....	- 31 -
Preglednica 7: Potek slojev in debelina slojev v montažni steni II.....	- 32 -
Preglednica 8: Primerjava toplotnih prevodnosti toplotnoizolacijskih materialov. ....	- 36 -



## KAZALO SLIK

Slika 1: Diagrami toplotnega ugodja. (Medved, 1997).....	- 8 -
Slika 2: Optimalne občutene temperature. Graf prikazuje optimalne občutene temperature v odvisnosti od oblečenosti in aktivnosti npr. pri 2 met-ih aktivnosti in oblečenosti 1 clo bo optimalna občutena temperatura 26 °C (Medved, 1997). .....	- 9 -
Slika 3: Meje vrednosti absolutne vlažnosti zraka pri različnih temperaturah in količina vode, ki se pri ohlajevanju zraka izloči. (Medved, 1997) .....	- 17 -
Slika 4: Iverna plošča. ....	- 23 -
Slika 5: Vlaknena plošča (DWD plošča). ....	- 23 -
Slika 6: DUO lepljen les. ....	- 24 -
Slika 7: TERVOL DP-5. ....	- 25 -
Slika 8: TERVOL FP-PL. ....	- 26 -
Slika 9: GUTEX-Thermoflex .....	- 27 -
Slika 10: GUTEX-Thermowall/-gf .....	- 28 -
Slika 11: Prerez zidane stene .....	- 30 -
Slika 12: Prerez montažne stene I .....	- 32 -
Slika 13: Prerez montažne stene II .....	- 33 -
Slika 14: Shema eksperimenta merjenja prehoda toplote skozi izolacijsko ploščo .....	- 35 -
Slika 15: Projektni pogoji pri izračunu toplotne prehodnosti (Termoenciklopedija 2, januar 2005). ....	- 37 -
Slika 16: Grafični prikaz temperatur na površini in notranjosti konstrukcije pri računskih in projektnih pogojih in podatki preračuna toplotne prehodnosti za zidano steno. (Termoenciklopedija 2, januar 2005). ....	- 37 -
Slika 17: Grafični prikaz temperatur na površini in notranjosti konstrukcije pri računskih in projektnih pogojih in podatki preračuna toplotne prehodnosti za montažno steno I (Termoenciklopedija 2, januar 2005). ....	- 38 -
Slika 18: Grafični prikaz temperatur na površini in notranjosti konstrukcije pri računskih in projektnih pogojih in podatki preračuna toplotne prehodnosti za montažno steno II (Termoenciklopedija 2, januar 2005). ....	- 39 -
Slika 19: Graf primerjave temperature suhe izolacijske plošče iz lesnih vlaken na površini in v sredici, glede na čas segrevanja.....	- 40 -
Slika 20: Graf primerjave temperature 20-30% vlažne izolacijske plošče iz lesnih vlaken na površini in v sredici, glede na čas segrevanja .....	- 41 -
Slika 21: Graf primerjave temperature 100% vlažne izolacijske plošče iz lesnih vlaken na površini in v sredici, glede na čas segrevanja .....	- 42 -

## 1 UVOD

### 1.1 UVODNA OBRAZLOŽITEV

Skozi zgodovino, se je na področju gradbeništvu uporabilo veliko število različnih materialov, ki so zagotavljali potrebno nosilnost konstrukcije ne pa tudi potrebno toplotno izolativnost. Zato imajo pri toplotni zaščiti zgradb pomembno vlogo materiali, ki imajo predvsem pozitivne izolativne lastnosti. Naloga toplotnoizolacijskih materialov je zmanjšanje toplotnih izgub in posredno zmanjšanje stroškov za energijo, kar se je skozi zgodovino, predvsem danes, pokazalo kot zelo pomembna lastnost, saj težimo k čim manjši porabi energentov za ogrevanje, katerih cena zaradi številnih svetovnih kriz narašča. Druge naloge toplotnoizolacijskih materialov pa so tudi zaščita nosilne konstrukcije pred zunanjimi vremenskimi vplivi in njihovimi posledicami kot so zamakanje konstrukcije, pregrevanje... Izboljšana toplotna zaščita ovoja zgradbe ima tudi neposreden vpliv na človekovo počutje v bivalnem prostoru (bivalno ugodje), saj so tako notranje površine sten toplejše, kar prispeva k toplotnemu ugodju v sami zgradbi (Moric, 1975).

Pri izboru izolacijskega materiala je potrebno upoštevati še druge kriterije, kot so tlačna trdnost, difuzijska prepustnost, trajnost materiala, protipožarna odpornost, občutljivost na navlaževanje. Vedno bolj so pomembne tudi karakteristike kot so vsebnost škodljivih snovi, ekološka neoporečnost proizvodnje, razpoložljivost surovin, primernost za ponovno uporabo in razgradnjo ter na koncu tudi cena.

Izolacijske materiale glede na uporabljeno surovino za njihovo izdelavo, delimo na klasične in alternativne toplotno izolacijske materiale. Najbolj pogosto uporabljen predstavnik klasičnih materialov so materiali iz mineralnih vlaken, kot so kamena in steklena volna, ki sta kemijsko nevtralni, ne trohnita in se ne starata in sta obstojna pri visoki temperaturi. Mineralno volno proizvajajo v obliki plošč, zvitkov in jo kaširajo na različne nosilce. Toplotna prevodnost je v območju med 0,03 in 0,045 W/mK, kar jo uvršča med najboljše toplotne izolatorje. Slabost je hitro naraščanje toplotne prevodnosti pri navlaževanju. Z ekološkega vidika predstavlja slabost sorazmerno veliko energije potrebne pri proizvodnji,

okoli 460 kWh na kubični meter. Ker mineralna volna dosega majhno toplotno prehodnost, je potrebna vgrajena energija na enoto toplotne upornosti toplotno izolacijske plasti srednja (kamena volna) do majhna (steklena volna). Razgradljivost materiala je slaba, zato si stroka že prizadeva za uvajanje postopkov recikliranja. Mineralna volna je široko uporaben in cenovno ugoden material.

Naziv stiropor je postal sinonim za ekspanzirani polistiren (skrajšano EPS), njegovi začetki segajo v leto 1954, ko je bil v tovarni kemičnega koncerna BASF v ZR Nemčiji prvič izdelan ekspanzirani polistiren pod zaščitenim imenom Styropor. Njegova toplotna prehodnost se giblje med 0.035 in 0.04 W/mK. Pravilno vgrajen je obstojen, nestrupen, odporen na anorganske kisline in soli, ne pa na organska topila ter na UV sevanje in na temperature preko 80°C. Dodatki zmanjšujejo gorljivost, tako da se plamen po njem ne širi. Sveže izdelan material je dimenzijsko nestabilen in mora pred uporabo odležati. Vodovpojnost je majhna, razen v primerih, ko je izpostavljen dolgotrajnemu delovanju vodne pare pri spreminjanju temperature in tlaka. Z ekološkega vidika je potrebno upoštevati, da je surovina naftni derivat. Novejši proizvodni postopki ekspanziranja ne temeljijo več na okolju škodljivih plinih (CFC, HCFC), pač pa na pentanu. Ekspanzirane granule povezujejo ob prisotnosti nasičene pare pri 110 - 120°C v bloke. Recikliranje za zdaj še ni vpeljana. Za proizvodnjo kubičnega metra materiala je potrebno od 400 do 1000 kWh energije. Prednost materiala je njegova nizka cena.

Sodobni trendi kažejo, da graditelji ne želijo le zmanjšati rabe energije v zgradbi in tako manj obremenjevati okolje, temveč želijo tudi vgrajevati okolju prijazne materiale. Tako so na trgu na voljo različni toplotnoizolacijski materiali iz naravnih surovin in recikliranih izdelkov. Pri teh izdelkih je poleg nekaterih izpostavljenih okoljskih prednosti potrebno vzeti v zakup tudi določene slabosti v primerjavi s klasično uporabljenimi materiali. Toplotna izolacija iz celuloze, starega papirja, lesnih odpadkov, ekspanzirane gline, perlita, vermikulita, trstike, lanu, slame, kokosa, plute, bombaža ali ovčje volne ima v povprečju nekoliko slabšo toplotno prevodnost kot klasični materiali. Prav tako še ni zanesljivih podatkov o trajnosti vseh teh materialov. Pri nekaterih, posebno organskih materialih, so potrebni dodatki za izboljšanje protipožarne odpornosti, vendar kljub temu ti materiali ne dosegajo protipožarne odpornosti klasičnih izolacijskih materialov. Praviloma je cena alternativnih materialov višja kot pri uveljavljenih proizvodih ([www.slonep.net](http://www.slonep.net)).

## 1.2 OPREDELITEV PROBLEMA

V diplomski nalogi, ki bo temeljila predvsem na primerjavi različnih prerezov sten in materialov, bi s pomočjo izračunov želel dokazati in pokazati prednost uporabe naravnih (lesenih) elementov tako s konstrukcijske, kot tudi izolacijske plati.

Med seboj bom primerjal dva izolacijska materiala, in sicer kameno volno in izolacijski material iz lesnih vlaken. Primerjal bi predvsem dejanske toplotne prevodnosti materialov, ki nam povedo kakšen toplotni prevodnik je material in pa toplotne prehodnosti konstrukcije.

## 2 PREGLED OBJAV

### 2.1 TOPLOTNA ZAŠČITA V GRADBENIŠTVU

- Toplotna zaščita v gradbeništvu je potrebna zato, da ljudem zagotovi ugodnost in udobnost bivanja, zaščito pred zunanjimi klimatskimi spremembami, potrebna pa je tudi zaradi higienskih in zdravstvenih razlogov. Prav zaradi teh razlogov je pomembno, da ima okolje v katerem prebivamo ugodno temperaturo, prav tako pa je potrebno zagotoviti primerno temperaturo v prostorih za skladiščenje blaga. Cilj toplotne zaščite je doseči optimalno bivalno ugodje ob najmanjši porabi energije (Medved, 1997).

#### 2.1.1 Bivalno ugodje

Osnovni cilj vseh snovalcev zgradb je zagotoviti optimalno bivalno ugodje za ljudi, ki živijo v njih. Pojem bivalnega ugodja opredelimo s tremi sklopi, ki vplivajo na ugodje v prostorih:

- toplotno okolje v prostoru,
- kakovost zraka v okolju,
- šumnost v prostoru.

Vsi trije sklopi so približno enako pomembni in med seboj vplivajo na bivalno ugodje (Medved, 1997).

### 2.1.1.1 Parametri toplotnega okolja

Človek je toplokrvno bitje s konstantno temperaturo v notranjosti telesa (približno 37°C). Izgube toplote na okolico pokrivamo z osnovnim presnavljanjem, pri tem se presnavljanje uravnava tako, da je telo v toplotnem ravnotežju z okolico. Toplotni tokovi, ki se sprožijo med človekom in okolico pa so:

- absorbirano sončno sevanje,
- sproščanje toplote v telesu,
- konvektivni tokovi (dovod ali odvod),
- sevanje telesa proti okolici,
- sevanje okolice na telo,
- prevod toplote (dovod ali odvod),
- oddaja toplote z izparevanjem.

#### 2.1.1.1.1 Aktivnost ljudi

Človeško telo pretvarja zaužito hrano v toploto in mehansko delo. Intenzivnost presnavljanja je odvisna v veliki meri od aktivnosti. Popišemo jo z enoto *met*, ki je enaka 58 W/m<sup>2</sup> površine telesa (za odrasle ljudi velja približen podatek, da je površina telesa enaka 1,8 m<sup>2</sup>). Pri različnih aktivnostih je tudi različno število metov:

Preglednica 1: Odvisnost različnih aktivnosti in metov po standardu ISO 8996.

sedenje	1,0 - 1,2 met	58 - 70 W/m <sup>2</sup>
hišna opravila	2,0 - 3,4 met	116 - 198 W/m <sup>2</sup>
hoja	2,0 - 4,6 met	116 - 267 W/m <sup>2</sup>
ples	2,4 - 4,4 met	140 - 256 W/m <sup>2</sup>

#### 2.1.1.1.2 Obleka

Obleka nudi ljudem toplotno zaščito pred okolico. Kot je to v navadi za gradbene konstrukcije, tudi za obleko navajamo njeno toplotno upornost z oznako *clo*.

Preglednica 2: Število *clo* v odvisnosti od oblečenosti osebe.

nago telo	0 <i>clo</i>
lahka oblačila	0,3 <i>clo</i>
poslovna oblačila	1 <i>clo</i>
zimsko oblačila	1,5 <i>clo</i>

#### 2.1.1.1.3 Fizikalni parametri

Med najpomembnejše fizikalne parametre toplotnega okolja v prostoru uvrščamo:

- temperaturo zraka v prostoru ( $T_i$ ):

ki je najbolj nazoren pokazatelj ustreznosti toplotnega stanja v prostoru. Načeloma velja, da mora biti temperatura višja pri manjši aktivnosti in lažji obleki. Kot za vse druge parametre toplotnega okolja v prostoru, se tudi temperatura zraka v prostoru ugotavlja v t.i. coni bivanja, ki je del prostora med tlemi in višino 1,8 m in v oddaljenosti 0,6 m oddaljen od obodnih površin, ki omejujejo prostor.

- srednjo sevalno temperaturo obodnih površin prostora ( $T_{ms}$ ):

ki je povprečna temperatura površin, ki omejujejo bivalni prostor. Srednja sevalna temperatura obodnih površin prostora ima velik vpliv na ugodje, saj neposredno vpliva na sevalno izmenjavo toplote med ljudmi in površino prostora. Pri slabo toplotno izoliranih zgradbah, so površinske temperature nizke, zato je oddaja toplote s sevanjem in moramo precej bolj segreti zrak v prostoru, da se ugodno počutimo. Nesimetričnost sevalne temperature ( $\Delta T_s$ ) je opredeljena kot razlika med sevalno temperaturo dveh nasproti si ležečih ploskev na majhen element, ki je nameščen med njiju. Okvirno velja, da naj bo nesimetričnost sevalne temperature, ki jo povzroča okno ali kaka druga hladna navpična površina manjša od 10°C. Nesimetričnost sevalne temperature, ki jo povzroča topel (ogrevan) strop pa nižja kot 5°C.

- hitrost zraka v prostoru ( $v$ ):

ki vpliva na konvektivne toplotne izgube in izparevanje vode, ki jo izločamo skozi kožo. Hitrosti do 0,15 m/s pri aktivnosti nad 1,3 met nimajo vpliva na ugodje. Načeloma velja da nam je hladno, če je temperatura zraka:

- pod 20°C in je hitrost zraka nad 0,15 m/s,
- pod 20°C in je hitrost zraka nad 0,65 m/s.

Pri naravno prezračevanih zgradbah lahko gibanje zraka povzroči lokalno neugodje ob netesnih oknih ali zelo hladnih površinah, še posebej pa je hitrost gibanja zraka lahko moteča pri klimatiziranih in mehansko prezračevanih zgradbah.

- vlago zraka v prostoru ( $\varphi$ ):

ki jo lahko navedemo kot *stopnjo vlažnosti*  $x$ , ki jo opredeljuje razmerje mase vodne pare (kg), ki je dodana masi enega kg suhega zraka (tipična vrednost  $x = 0,01$  do  $0,02$  kg/kg), (Medved, 1997). Lahko jo navajamo kot *relativno vlažnost*  $\varphi$ , ki ponazarja procentni delež vodne pare v zraku med mejnima vrednostima (0% v suhem zraku in 100% v zraku, ki je nasičen z vodno paro). Lahko jo navajamo tudi kot *delni tlak vodne pare v zraku*  $p_{dej}$  (tipična vrednost 1,5 do 2 kPa).

Vlažnost zraka ne vpliva na ugodje, če je pri temperaturi zraka med 20 - 26°C relativna zračna vlažnost v mejah med 30% in 70%. Velja, da mora biti vlažnost v toplejših prostorih nižja, da telo lahko oddaja toploto z izparevanjem.

- spreminjanje temperature zraka po višini prostora – gradient ( $\Delta T_i$ ):

Ogrevanje zraka ima za posledico temperaturno razslojevanje, ki povzroči da se topel zrak zaradi nižje gostote zadržuje pod stropom, hladen pa zaradi višje gostote pri tleh. Ugotovljeno je, da je toplotno okolje moteče, če je pri sedeči osebi razlika temperature zraka v nivoju nog (višina 0,1 m) in glave (višina 1,1 m) večja od 3°C.

- temperatura tal ( $T_{tal}$ ):

Neposredni stik, običajno nog in tal, lahko v določenih primerih povzroči lokalno neugodje. Lokalno neugodje je pojav, ko s čutili na delu telesa zaznamo prevroče ali prehladno stanje.

Preglednica 3: Primerna temperatura tal (Medved, 1997).

bosi	21°C (pod, prekrit s tekstilno preprogo), 29°C (marmornata tla)
obuti	23°C do 25°C (prekritost tal nepomembna)

### 2.1.1.2 Vrednotenje toplotnega okolja

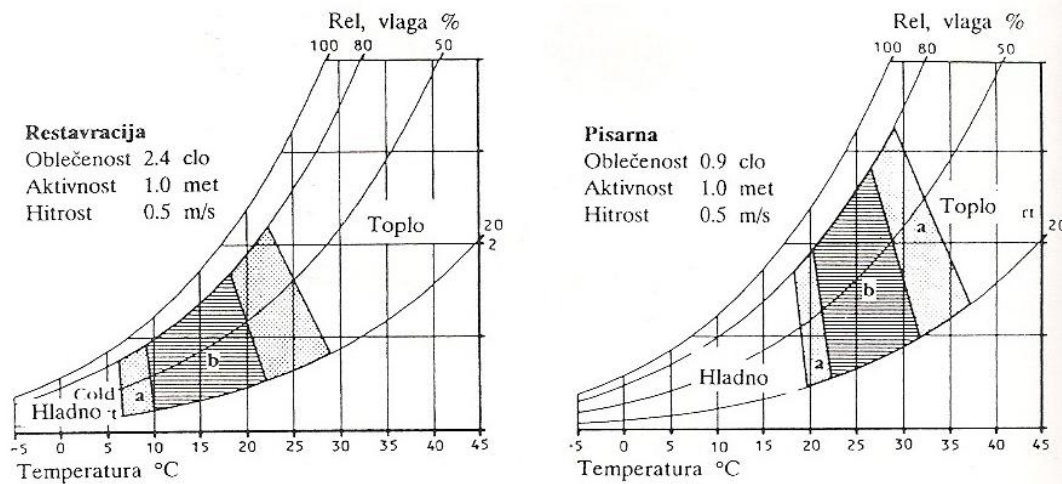
#### 2.1.1.2.1 Napovedana srednja ocena PMV in delež nezadovoljnih PPD

Napovedane srednje ocene (*PMV* – predicted mean vote) toplotnega okolja predstavljajo relativno oceno kot skupek vplivov parametrov toplotnega okolja na človeka. Vrednosti *PMV* so med -3 (mrzlo) in +3 (vroče), vrednost 0 predstavlja nevtralno območje. *PMV* vrednost v prostoru lahko določimo z matematičnim izrazom v primeru, ko poznamo vrednosti parametrov ali pa jo določimo z merilnimi instrumenti, ki s senzorji zaznavajo osnovne parametre (temperaturo zraka, srednjo sevalno temperaturo, vlažnost in hitrost zraka). Ko imamo določeno *PMV* lahko določimo procent nezadovoljnih ljudi, ki se v danem okolju ne počutijo prijetno. To vrednost imenujemo predviden delež nezadovoljnih (*PPD* – predicted percentage of dissatisfied). *PPD* se izraža v procentih (npr.: pri *PMV* -1 ali +1 → *PPD*=26%)

#### 2.1.1.2.2 Diagram toplotnega ugodja

Diagrami toplotnega ugodja povezujejo fizikalne parametre toplotnega ugodja. To so psihrometrični diagrami z vrisanimi področji parametrov, pri katerih se določen procent ljudi počuti ugodno.





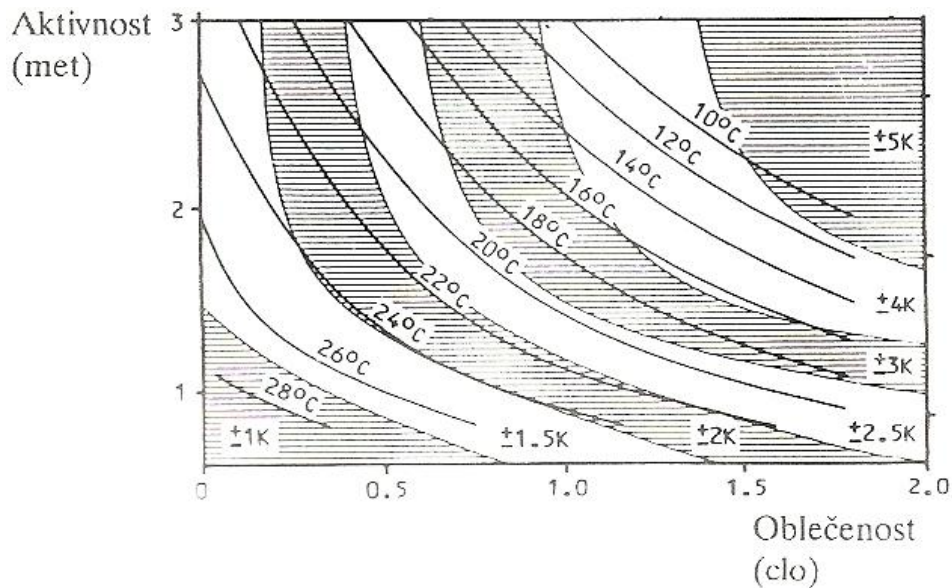
Slika 1: Diagrami toplotnega ugodja. (Medved, 1997)

Razlika med diagramoma toplotnega ugodja nastane predvsem zaradi oblečenosti posameznikov, ki je odvisna od toplotne upornosti obleke, katere vrednosti merimo v *clo*-jih. Iz grafov je razvidno, da je v primeru, ko je oblečenost večja (restavracija; oblečenost 2,4 *clo*), tudi temperatura toplotnega ugodja nižja med 10 in 22°C, ko pa je oblečenost višja pa se temperatura toplotnega ugodja zviša na 22 do 32°C (pisarna; oblečenost 0,9 *clo*)

### 2.1.1.2.3 Občutena temperatura

Občutena temperatura je temperatura, ki jo človek v prostoru zazna s svojimi čutili. Četudi je odvisna od vseh parametrov toplotnega ugodja, jo lahko aproksimiramo (pri hitrosti zraka manjši od 0,2 m/s) z izrazom:

$$T_{\text{občutena}} = 0,5 T_{\text{zraka}} + 0,5 T_{\text{sevalna}}$$



Slika 2: Optimalne občutene temperature. Graf prikazuje optimalne občutene temperature v odvisnosti od oblečenosti in aktivnosti npr. pri 2 met-ih aktivnosti in oblečenosti 1 clo bo optimalna občutena temperatura 26 °C (Medved, 1997).

### 2.1.2 Prenos toplote v gradbenih konstrukcijah

Termodinamika je veda, ki popisuje zakonitosti pri prenosu toplote. Zasnovana je na naravnih zakonih:

- ničti zakon termodinamike,
- prvi zakon termodinamike,
- drugi zakon termodinamike,
- tretji zakon termodinamike.

#### 2.1.2.1 Osnove prenosa toplote v gradbenih konstrukcijah

Znotraj omejitev, ki jih opredeljujejo zakoni termodinamike lahko popišemo prenos toplote na tri osnovne načine:

- s prevodom,
- s konvekcijo,
- s sevanjem.

#### 2.1.2.1.1 Prevajanje toplote

Prevajanje toplote je predajanje energije od molekul do molekul snovi, ki so lahko trdne, tekoče ali plinaste, zaradi razlike temperatur na različnih lokacijah. V primeru enodimenzijskega in časovno ustaljenega prevoda toplote lahko toplotni tok zapišemo z izrazom:

$$\Phi = -\lambda A \frac{dT}{dx} \text{ [W]} \quad \dots(1)$$

Kjer velja, da je:

$\lambda$ ... toplotna prevodnost (snovna lastnost materiala, ugotovljena z meritvami po standardiziranih postopkih; je zelo odvisna od količine vlage v materialu),

A... površina,

$\frac{dT}{dx}$  ... sprememba temperature v smeri normale na opazovano ploskev.

Negativni predznak v navedenem izrazu, ki ga imenujemo tudi *Fourier-jev* zakon, pogojuje drugi zakon termodinamike, ki opredeljuje smer toplotnega toka.

#### 2.1.2.1.2 Prestopanje toplote

Na stiku med trdnim telesom in fluidom z različnima temperaturama prestopa toplota zaradi različnih hitrosti gibanja molekul na stični ploskvi. Toplotni tok prestopanja opredelimo z izrazom:

$$\Phi = \alpha A (T_t - T_\infty) \text{ [W]} \quad \dots(2)$$

Kjer velja, da je:

$\alpha$ ... toplotna prestopnost, ki jo določimo s kriterijskimi enačbami za posamezne primere (npr. za prestop toplote na vertikalni ali horizontalni površini, v ceveh, ...) in so običajno eksperimentalno preverjene; toplotna prestopnost je odvisna od hitrosti fluida in temperaturne razlike,

A... površina,

$T_t$ ... temperatura površine trdnega telesa, ki je v stiku s fluidom,

$T_\infty$ ... temperatura fluida izven mejne plasti.

#### 2.1.2.1.3 Prenos toplote s sevanjem

Prenos toplote s sevanjem predstavlja tretji način prenosa toplote. Toplotno sevanje je elektromagnetno valovanje z valovno dolžino med 0,78 in + 1000  $\mu\text{m}$ , ki lahko potuje v

vakuumu ali za to valovanje prosojnih snoveh. V tem se ta način prenosa toplote razlikuje od ostalih dveh. Druga specifičnost je, da sevalni toplotni tok narašča s četrto potenco absolutne temperature in ne linearno s temperaturno razliko, kot je to primer pri prevajanju in prestopanju toplote. Sevalni tok površine 1 na površino 2 določimo z izrazom:

$$\Phi_{1-2} = \varepsilon_1 \varepsilon_2 \sigma A_1 F_{1-2} (T_{a1}^4 - T_{a2}^4) \text{ [W]} \quad \dots (3)$$

Kjer velja, da je:

$\varepsilon_1, \varepsilon_2 \dots$  emisivnost površin, ki sevata toploto; emisivnost je razmerje med sevalnim tokom realnega in absolutno »črnega telesa«; to je lastnost površine telesa ,

$\sigma \dots$  Stefan-Boltzmannova sevalna konstanta,

$A_1 \dots$  površina,

$F_{1-2} \dots$  geometrijski sevalni faktor,

$T_{a1}, T_{a2} \dots$  absolutni temperaturi površin ploskev.

#### 2.1.2.1.4 Prehod toplote v gradbenih konstrukcijah

Prehod toplote v gradbenih konstrukcijah je sestavljen iz vseh treh naštetih načinov prenosa toplote in poteka zaradi temperaturne razlike med dvema prostoroma ali notranjim in okoliškim zrakom. Tople stene sevajo na hladne. Zato se površinska temperatura enih zniža, drugih pa poveča. Iz toplega zraka prestopa toplota na površino zidu. Ker je notranja površina zidu toplejša se toplota prevaja po zidu proti zunanji, hladnejši površini in tu prestopa na zrak. Ker je stena toplejša od okolice, seva tudi del toplote v okolico. Pri majhnih temperaturnih razlikah, ki nastopajo pri prehodu toplote v zgradbah (do 50°C) lahko zaradi enostavnosti izračuna združimo prenos toplote s sevanjem in prestopom v zunanjo in notranjo toplotno prestopnost. Celoten prehod lahko izračunamo po enačbi:

$$\Phi = k A (T_i - T_e) \text{ [W]} \quad \dots (4)$$

Kjer velja, da je:

$k \dots$  toplotna prehodnost,

$A \dots$  površina,

$T_i - T_e \dots$  temperaturna razlika.

Toplotno prehodnost, ki združuje vse oblike prenosa toplote lahko zapišemo z enačbo:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_e}} \text{ [W/m}^2\text{K]} \quad \dots(5)$$

Kjer velja, da je:

- $\alpha_i$ ... notranja toplotna prestopnost v prostoru,
- $d$ ... debelina homogene stene skozi katero se prevaja toplota,
- $\lambda$ ... toplotna prevodnost,
- $\alpha_e$ ... zunanja toplotna prestopnost na zunanji strani konstrukcije.

Toplotni tok pa lahko zapišemo tudi z upori prehodu toplote:

$$\Phi = \frac{A}{R} (T_i - T_e) \text{ [W]} \quad \dots(6)$$

Kjer velja, da je:

- $A$ ... površina,
- $R$ ... toplotni upor prehodu toplote skozi gradbeno konstrukcijo,
- $T_i - T_e$ ... temperaturna razlika.

Toplotni upor prehodu toplote skozi gradbeno konstrukcijo pa določimo z izrazom:

$$R = \frac{1}{k} = R_i + R_k + R_e = R_i + \frac{d}{\lambda} + R_e \text{ [m}^2\text{K/W]} \quad \dots(7)$$

Kjer velja, da je:

- $R_i$ ... upor konvektivnemu in sevalnemu prestopu toplote znotraj prostora,
- $R_k$ ... upor prevodu toplote homogene konstrukcije,
- $R_e$ ... upor konvektivnemu in sevalnemu prestopu toplote na zunanji strani konstrukcije (Medved, 1997).

#### 2.1.2.2 Zahteve o toplotni zaščiti zgradb

Toplotna zaščita zgradb je predpisana s standardi SIST 1025. Zahteve o toplotni zaščiti zgradb lahko razdelimo v dva osnovna kriterija:

- Kriterij največjih dovoljenih toplotnih prehodnosti za vse obodne površine prostorov. Dovoljene toplotne prehodnosti so izbrane tako, da se prepreči kondenzacija vodne pare na notranjih površinah zunanjih sten ogrevane zgradbe.

- Kriterij dovoljenih specifičnih toplotnih izgub zgradb, ki so omejene glede na faktor oblike zgradbe  $f_0$ . Ta predstavlja razmerje med površino skozi katero odhaja toplota iz ogrevanih prostorov zgradbe in volumna, ki ga ta površina zajema

Potrebno je poudariti, da je kriterij dovoljenih specifičnih izgub zgradb občutno strožji, tako, da morajo glede na izkušnje, biti dejanske toplotne prehodnosti približno polovico nižje od dovoljenih vrednosti.

### 2.1.2.3 Določitev toplotnih prehodnosti gradbenih konstrukcij

#### 2.1.2.3.1 Toplotna prehodnost homogenih konstrukcij

Homogene gradbene konstrukcije so konstrukcije, pri katerih:

- so sloji v obravnavanem preseku paralelni in homogeni
- pri katerih se toplotni tok širi le pravokotno na mejne površine

Zaradi enostavnosti izračuna, predpostavimo, da so konstrukcije v večini primerov homogene. Tako na primer pri opečnem zidu, ki ga sestavljajo opečni zidaki in malta, zanemarimo sloj vezne malte in upoštevamo, da je zid sestavljen iz homogene opeke. Toplotno prehodnost večslojne homogene konstrukcije določimo z izrazi:

$$R = R_i + \sum R_j + R_e \quad \text{in} \quad k = \frac{1}{R} \quad \text{ali} \quad k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{d_j}{\lambda_j} + \frac{1}{\alpha_e}} \quad \dots(8)$$

Kjer velja, da je:

$\sum_j \square 1 \dots n \dots$  število homogenih plasti.

#### 2.1.2.3.2 Toplotna prehodnost enostavno nehomogenih konstrukcij

Enostavno nehomogene konstrukcije so sestavljene iz dveh ali več homogenih konstrukcij, ki so nameščene paralelno v zidu. Toplotni tok teče sicer različno intenzivno preko posamezne konstrukcije, vendar le v smeri pravokotno na površino konstrukcije. Bočnih toplotnih tokov torej ni. Srednjo toplotno prehodnost določimo kot povprečno vrednost toplotnih prehodnosti posameznih homogenih konstrukcij z odgovarjajočimi površinami z izrazom:

$$k = \frac{\sum k_j A_j}{\sum A_j} \quad \dots(9)$$

Za enostavno nehomogeno konstrukcijo z dvema homogenima deloma je skupna toplotna prehodnost enaka:

$$k = \frac{k_A A_A + k_B A_B}{A_A + A_B} \quad \dots(10)$$

Tako izračunana toplotna prehodnost mora biti manjša od dovoljene vrednosti predpisane po standardu (Medved, 1997).

### **2.1.3 Vdor vode in prenos vodne pare v konstrukcijah**

Zgradbe predstavljajo ljudem zaščito pred naravnim okoljem. Poleg prehoda toplote, se v zunanjih gradbenih konstrukcijah pojavlja tudi prehod vodne pare in vdor vode v konstrukcijo. Tako prihaja do navlaževanja gradbenih konstrukcij, kar ima vrsto negativnih učinkov.

#### **2.1.3.1 Napake v izvedbi toplotne izolacije**

Slaba ali neprimerna toplotna izolacija ovoja stavbe je najpogosteje rezultat uporabe neprimernih izolacijskih materialov, napačna uporaba samih izolacijskih materialov, neprimerna debelina materialov in neprimerna razporeditev izolacijskega materiala glede na sloj v konstrukciji. To so tudi najpogostejši vzroki za pojavljanje napak na gradbeni konstrukciji, bodisi vidnih bodisi nevidnih, saj je 80 % napak v gradbeništvu povezano prav s slabo izvedbo toplotno izolacijskega sloja.

##### **2.1.3.1.1 Vidne napake slabe toplotne izolacije**

Vidne napake, ki nastanejo zaradi slabe izvedbe toplotne izolacije, povzročajo poleg nehiigienskih in zdravju škodljivih bivalnih razmer tudi krajšo življenjsko dobo zgradb poleg tega pa tudi krajšo življenjsko dobo posameznih konstrukcijskih elementov.

Zato se skušamo izogniti napakam, ki privedejo do naslednjih vidnih napak:

- napad plesni in spor,
- večja je možnost kondenzacije na hladnih površinah,

- navlažitev gradbenih elementov in materiala znotraj gradbene konstrukcije,
- poškodbe ometa in ostalih oblog,
- korozija,
- trohnenje,
- poškodbe ob znižanju temperature (zmrzal),
- pokanje ometa zaradi naglih temperaturnih sprememb.

#### 2.1.3.1.2 Nevidne, indirektno napake slabe toplotne izolacije

Poleg vidnih napak zaradi slabe toplotne izolacije, pa obstajajo tudi nevidne oziroma indirektno napake, ki vplivajo predvsem na slabo počutje ljudi in pa tudi živali v samem prostoru.

Nevidne oziroma indirektno napake slabe toplotne izolacije so:

- zdravstvene težave tako pri ljudeh, kot tudi pri živalih, ki so posledica nezdravih in nehygieničnih bivalnih razmer,
- neprijetno počutje,
- padec delovne sposobnosti in delovne vneme,
- zvišanje stroškov zaradi neracionalne porabe energije za gretje prostorov.

Zaradi zgoraj naštetih vidnih in nevidnih napak, ki so posledica slabe toplotne izolacije je še toliko bolj pomembno posvetiti veliko truda za pravilno in kvalitetno izvedbo toplotnoizolacijskega sloja v gradbeni konstrukciji (Moric, 1975).

#### 2.1.3.2 Osnove navlaževanja gradbenih konstrukcij

Gradbene konstrukcije se lahko navlažijo s prodiranjem atmosferske in talne vode ali zaradi kondenzacije vodne pare v gradbeni konstrukciji. Glavna mehanizma vdora vode in prehoda vodne pare sta:

- *kapilarni prenos vode v tekoči fazi*, ki ga povzročijo kapilarne sile; ta transport je možen le, če je presežena kritična vsebnost vlage v materialu,
- *difuzni prenos vodne pare*, ki nastopi zaradi razlike v delnih tlakih vodne pare v zraku v prostoru in v okolici.



#### 2.1.3.2.1 Preprečevanje kapilarnega vdora vode v gradbenih konstrukcijah

Kapilarni prenos vode v gradbenih konstrukcijah preprečimo z različnimi postopki:

- s preprečitvijo dostopa vode do in v gradbeno konstrukcijo s pravilno in tehnično popolno gradnjo streh, obloženih fasad, hidroizolacijskih slojev, ter površinsko obdelavo konstrukcij s končnimi sloji, ki zadržujejo vodo, a istočasno omogočajo difuzijsko sušenje konstrukcije,
- s preprečitvijo kapilarnih poti v konstrukciji; najpogosteje se uporabljata mehanski poseg in kemični postopki. Pri mehanskem postopku prerežemo zid in vstavimo sloj vodonepropustne plasti (bitumen, pločevina); to je najučinkovitejši, a najtežje izvedljiv postopek. S kemičnimi postopki pa povečamo površinsko napetost sten kapilar s čemer znižamo višino kapilarnega dviga.

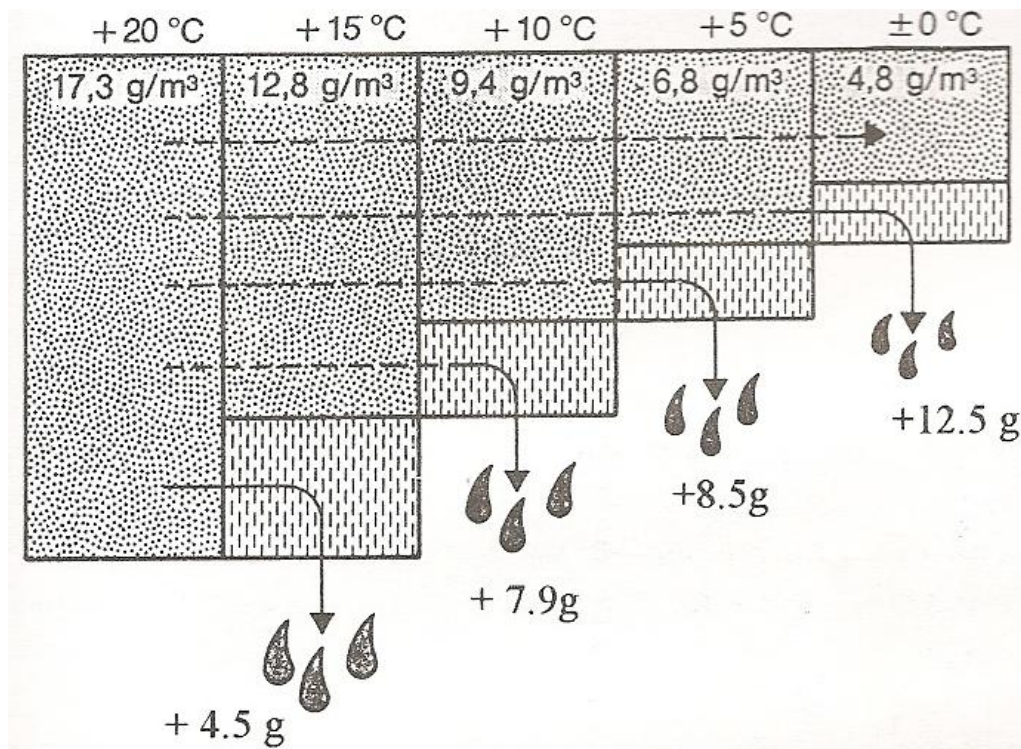
V standardih s področja gradbene fizike sta opredeljena dva parametra, ki ju mora izpolnjevati zaključni sloj na zunanji gradbeni konstrukciji SIST 1025:

- kapilarna vpojnost zaključnega sloja A mora biti enaka ali manjša od  $2 \text{ kg/m}^2\text{h}^{0,5}$ ,
- paroprepustnost  $r_A$  mora biti enaka ali manjša od  $1 \text{ kg/mh}^{0,5}$ .

#### 2.1.3.2.2 Osnove difuzijskega prehoda vodne pare

Delež vodne pare v zraku navajamo z različnimi veličinami. Ena od veličin je *relativna vlažnost*  $\varphi$ . Opredeljuje jo odstotkovno razmerje dejanskega delnega tlaka vodne pare in največjega možnega delnega tlaka vodne pare v zraku pri določeni temperaturi. Prav temperatura zraka močno vpliva na vrednost relativne vlažnosti zraka. Zrak je suh, če je njegova relativna vlažnost 0% in najbolj ovlažen (nasičen), če je njegova relativna vlažnost 100%.

Za primerno bivalno okolje naj ima zrak v prostoru relativno vlažnost med 30 in 70%. Pri ohlajanju zraka se njegova vlažnost povečuje dokler ne doseže mejne vrednosti (100% rzv.). Pri nadaljnjem ohlajanju ostaja zrak 100% vlažen, presežek vodne pare pa se izloči v obliki kondenzata



Slika 3: Mejne vrednosti absolutne vlažnosti zraka pri različnih temperaturah in količina vode, ki se pri ohlajevanju zraka izloči. (Medved, 1997)

Notranjost prostora in okolica z različnima temperaturama in vlažnostjo imata različna delna tlaka vodne pare in delujeta kot vezni posodi. Delna tlaka vodne pare se skušata izenačiti, zato se vzpostavi prenos – difuzija vodne pare v smeri od višjega k nižjemu delnemu tlaku vodne pare. Ker se temperatura konstrukcije v zimskem času, ko je difuzija vodne pare v smeri iz notranjosti navzven največja, znižuje, lahko vlažnost naraste do mejne vrednosti. Pri nadaljnjem ohlajevanju doseže para tlak nasičenja in se prične izločati kot voda (Medved, 1997).

### 2.1.3.3 Zahteve zaradi difuzije vodne pare skozi gradbene konstrukcije

Osnovne zahteve za zasnovano gradbenih konstrukcij z ozirom na difuzijo vodne pare so zbrane v JUS U.J5. 600. Opredeljene so z naslednjimi zahtevami:

- Gradbena konstrukcija mora biti zasnovana tako, da pri računskih temperaturah  $T_{e,r}$  in vlagi  $\varphi_{e,r}$  vodna para, ki prodira skozi gradbeno konstrukcijo ne kondenzira; računski parametri so za vsa tri klimatska področja opredeljeni v tabeli:

Preglednica 4: Računske temperature in relativne vlažnosti okoliškega zraka v odvisnosti od klimatskega področja v zimskem času (doba navlaževanja).

Klimatsko področje	$T_{e,r}$ (°C)	$\varphi_{e,r}$ (%)	<i>dvlaženja</i> (dni)
I	5	90	60
II	-5	90	60
III	-10	90	60

- Zasnova gradbene konstrukcije mora biti taka, da pri projektnih pogojih (ki so enaki kot pri izračunu toplotnih izgub) ne pride do kondenzacije vodne pare na notranji in zunanji površini zidu.
- Zaključni sloj mora dobro prepuščati vodno paro, ki prehaja skozi konstrukcijo; upor prehodu vodne pare  $r$  tega sloja mora biti manjši od 2m.

Zahteve iz prve navedene točke so nekoliko oblažene, saj je kondenzacija dovoljena, če sta izpolnjeni naslednji dve zahtevi:

- Če skupna masna vlažnost  $X_{celotno}$  sloja v katerem je prišlo do kondenzacije, po dobi navlaževanja ni večja od največje dovoljene; skupna masna vlažnost je vsota osnovne vlažnosti materiala, saj noben material ni popolnoma suh in povečane vlažnosti zaradi kondenzacije vodne pare v sloju:

$$X_{celotno} = X_{osnovno} + X_{dif} \leq X_{dovoljeno}$$

Za materiale, za katere niso navedene vrednosti  $X_{osnovno}$  in  $X_{dovoljeno}$  ne sme priti do kondenzacije vodne pare.

- Če se lahko skupna količina vode, ki je kot kondenzat ostala v konstrukciji po dobi navlaževanja, v dobi sušenja osuši, tako da je  $X_{celotno} = X_{osnovno}$  (Medved, 1997).

#### 2.1.3.4 Difuzija vodne pare in večplastne konstrukcije

Prekomerni kondenzaciji vodne pare se izognemo z ustreznim načrtovanjem sestave stene in računskim preverjanjem difuznega toka vodne pare. Zahteve narekujejo tako sestavo sklopa, da ali:

- v zimskem obdobju v sklopu ne pride do kondenzacije vodne pare;

- če v zimskem obdobju pride do kondenzacije vodne pare, potem se mora ta v poletnem obdobju izsušiti in količina zimskega kondenzata mora biti v dovoljenih mejah.

Homogene zunanje gradbene konstrukcije pri manjših debelinah niso problematične glede difuzije vodne pare, težave lahko nastopijo pri velikih debelinah, ko nastopi kondenzacija v osrednjem delu stene. Homogene masivne konstrukcije so danes redke.

Pogostejša kondenzacija vodne pare v sklopu je pri večplastnih enostavno nehomogenih konstrukcijah, kjer je koristno pri načrtovanju upoštevati naslednje pravilo glede izbire materialov in zaporedja plasti. Osnovno pravilo za neoviran prehod difuzivnega toka vodne pare skozi zunanji ovoj stavbe je:

- plasti z večjim toplotnim uporom  $R$ , namestimo na zunanjo stran sklopa,
- plasti na zunanji strani sklopa naj imajo čim manjšo relativno difuzijsko upornost vodni pari,  $r$ .

Pri tako sestavljenem sklopu bo difuzni tok vodne pare neovirano prehajal v zimskem obdobju iz bivalnega prostora v zunanje okolje, ne da bi na kateremkoli mestu v sklopu prišlo do kondenzacije.

#### 2.1.3.5 Vpliv položaja toplotne izolacije

Večplastne konstrukcije glede na položaj toplotnoizolacijskega materiala delimo na sklope s toplotno izolacijo:

- zunaj,
- notri,
- v jedru,
- obojestransko.

Možnost kondenzacije difuznega toka vodne pare nam nakazuje položaj toplotne izolacije v sklopu in zunanji zaključni sloj sklopa. Čim bolj je zunanji zaključni sloj paropropusten toliko manjše so možnosti za kondenzacijo vodne pare v steni.

#### 2.1.3.5.1 Toplotna izolacija zunaj

Sklop z zunanjo toplotno izolacijo je v gradbenofizikalnem smislu najugodnejša izvedba, saj se je kondenzaciji vodne pare najlažje izogniti. Pri zunanji toplotni izolaciji je pomembna izbira zunanje zaključne plasti. Najugodnejša je prezračevana fasada, kjer difuzni tok vodne pare pozimi neovirano prehaja navzven in vodna para ne kondenzira v sklopu. Pri izvedbi dobro prezračevanih fasad z vlaknastimi toplotnoizolacijskimi materiali je koristno na zunanjo stran toplotne izolacije vgraditi protiveterno zaporo, ki mora biti iz paropropustne snovi. Pri izvedbah sten z zunanjim zaključnim ometom je možna kondenzacija na stiku toplotne izolacije z zunanjim ometom. Kondenzirana vodna para se pri takih konstrukcijah poleti navadno izsuši. Čim bolj paropropusten je omet, toliko manj je možnosti za kondenzacijo vodne pare. Predpisi narekujejo, da mora biti relativna difuzijska upornost vodni pari  $r$  ( $r = m \cdot d$ ) manjša od 2 m. Le v izjemnih primerih, pri slabo paropropustnem zunanjem sloju, je količina zimskega kondenzata v sklopu prevelika in je zato zaradi dodatnega navlaževanja presežena stopnja največjega dovoljenega navlaževanja sloja  $X_{max}$  (%). Kljub morebitni izsušitvi v poletnem času je prekomerno navlaževanje sloja (pogosto sloj toplotne izolacije) nedopustno zaradi poslabšanja toplotne prevodnosti navlaženega materiala. Pozornost moramo posvetiti sklopom, ki imajo notranjo masivno plast iz materialov z majhno difuzijsko upornostjo vodni pari, vstopni difuzni tok vodne pare je večji in tako tudi navlaževanje sklopa s kondenzirano vodno paro.

#### 2.1.3.5.2 Toplotna izolacija v jedru

Pri sklopih s toplotno izolacijo v jedru in z zunanjo in notranjo masivno plastjo, sta kondenzacija vodne pare pri prehodu skozi steno in prekomerno navlaževanje toplotnoizolacijske plasti odvisna od paropropustnosti notranje in zunanje plasti. Navadno so take sestave izvedene brez parne ovire, če gre za masivno nosilno konstrukcijo. Slabo paropropustna zunanja plast lahko privede do prekomerne kondenzacije. Če jo računsko ugotovimo, je potrebno namestiti parno oviro na notranjo, toplo stran toplotnoizolacijske plasti. Med konstrukcije z izolacijo v jedru lahko upoštevamo tudi lahke stenske konstrukcije z neprezračevano fasadno oblogo, pri katerih je potrebno na notranji strani preprečiti vstop difuznega toka vodne pare v konstrukcijo. Ker za zunanjo oblogo navadno uporabljamo parozaporne materiale, lahko pri neprimerno izbrani parni zapori prihaja do močnega izločanja kondenzirane vodne pare v toplotni izolaciji. Ob načrtovanju parne

zapore poskrbimo tudi za zrakotesnost lahkih konstrukcij in tako preprečimo kondenzacijo zaradi lokalnega vdora zraka.

#### 2.1.3.5.3 Toplotna izolacija notri

Položaj toplotne izolacije na notranji strani stene pogojuje močno kondenzacijo vodne pare v sklopu. Če parne zapore ni, nastopi kondenzacija na stiku med nosilno konstrukcijo in toplotno izolacijo ali v coni, ki zajema še celotno nosilno konstrukcijo. Količina kondenzata je v takih primerih velika in tudi paropropusten zunanji sloj je ne more bistveno zmanjšati. Namestiti moramo parno zaporo na notranji strani sklopa in tako preprečiti v stop vodni pari v konstrukcijo. Notranja toplotna izolacija sten je nezaželjena rešitev tudi zaradi toplotnih mostov, ki nastajajo na stikih s horizontalnimi elementi. Na mestih stikanja sten z notranjo toplotno izolacijo in medetažne konstrukcije (navadno betonske) ima notranja površina vokalov nižjo temperaturo, kot bi jo imela, če toplotne izolacije sploh nebi namestili. Temperature so nižje od temperature rosišča, zato se pojavi površinska kondenzacija in poškodbe, katerih reševanje je zapleteno in drago. Poleg tega s toplotno izolacijo na notranji strani izključimo večji del toplotne akumulativnosti zunanjih sten, zgradba se hitro odziva na dovedeno toploto, zato so temperaturna nihanja prostorov velika.

#### 2.1.3.5.4 Obojestranska toplotna izolacija

Čim večja je debelina toplotne izolacije na notranji strani, toliko močnejša je kondenzacija vodne pare v sklopu. Tudi paropropusten zunanji sloj ne more bistveno zmanjšati količine kondenzata. Pogosto se pojavi kondenzacija na obeh stikih toplotne izolacije z nosilno konstrukcijo, posebej kadar ima material za nosilno konstrukcijo visoko toplotno prehodnost. Tudi v takih primerih je potrebno namestiti parno oviro ali zaporo vedno pred ravnino kondenzacije oziroma na topli strani toplotne izolacije. Le v primerih, ko delež izolacije na notranji strani ne presega 20% skupne debeline, še lahko računamo na izvedbo brez parne ovire (Šijanec Zavrl; 1998).

## 2.2 MATERIALI

Toplotnoizolacijske materiale lahko razdelimo glede na kemijsko sestavo in strukturo. Tako anorganski kot organski materiali imajo predstavnika v skupini najbolj uporabljenih klasičnih toplotnoizolacijskih materialov. Med anorganskimi materiali prevladuje steklena in kamena volna, med organskimi materiali pa so penjeni materiali (penjeni poliuretan).

Glede na fizikalno-kemijske lastnosti lahko razdelimo materiale na vlaknaste in porozne materiale. Vlaknasti so materiali iz mineralnih, rastlinskih in živalskih vlaken, porozni pa so materiali iz anorganskih snovi, naravne organske in sintetične organske snovi.

Materiale delimo tudi na »tradicionalne« in »ekološke« ali »alternativne« materiale. Tradicionalni ali klasični toplotnoizolacijski materiali so materiali, ki so v praksi najdalj in najpogosteje uporabljeni, kot npr. mineralna vlakna (kamena in steklena volna), poliuretanska pene, ekstrudiran polistiren. Z oznako ekološki toplotnoizolacijski material pa označujemo material oziroma izdelek, ki se odlikuje po tem, da v celotnem življenjskem krogu, od proizvodnje preko uporabe do odstranitve kar najmanj obremenjuje okolje.

### 2.2.1 Konstrukcijski materiali

#### 2.2.1.1 Iverna plošča

Iverna plošča je izdelana iz lignoceluloznih materialov, ponavadi iz iveri v kombinaciji z sintetičnimi ali drugimi polimernimi vezivi. Med seboj so povezani s pomočjo visoke temperature in visokega tlaka. Celotna vez med delci je tako vzpostavljena s pomočjo dodanega veziva. Kot vezivno sredstvo se uporabljajo predvsem urea in fenol-formaldehidna lepila, uporabijo pa se lahko tudi rezorcinska, izocianatna in razna druga modificirana lepila (gradivo za predmet VILT, Medved).



Slika 4: Iverna plošča.

#### 2.2.1.2 Vlakenena plošča

Vlakeninska lesna tvoriva so tvoriva, ki so debelejša od 1,5 mm, so različnih prostorninskih mas, in so narejena iz lignoceluloznih vlaken, pri čemer so vlakna med seboj povezana predvsem z lastnim, naravnim vezivom. Dodana so lahko vezivna sredstva ali drugi dodatki s ciljem izboljšanja lastnosti kot so trdnost, odpornost proti vlagi, ognju, glivam in insektom.



Slika 5: Vlakenena plošča (DWD plošča).

#### 2.2.1.3 Duo lepljen les

Gre za dvoslojni ali troslojni dolžinsko spojen lepljen les, ki je tehnično sušen, ima kvalitetno površino in vlažnost 15%. Za DUO lepljen les je značilno tudi, da ima skobljano površino in posnete robove. Lepilni spoj je barvno nevtralen, najpomembnejša značilnost DUO lepljenega lesa pa je njegova izjemna dimenzijska stabilnost. Vrsta lesa, ki se uporablja za DUO les pa je smrekovina.





Slika 6: DUO lepljen les.

## 2.2.2 Toplotnoizolacijski materiali

Toplotnoizolacijske materiale, ki bodo uporabljeni v diplomski nalogi lahko na grobo razdelimo na klasične toplotnoizolacijske materiale in na alternativne toplotnoizolacijske materiale. Klasični toplotnoizolacijski materiali, ki jih bomo uporabili pri izračunu bodo produkti podjetja Termo d.d. in sicer TERVOL DP-5 in TERVOL FP-PL. Alternativni toplotnoizolacijski materiali pa bodo produkti podjetja GUTEX Holzfaserplattenwerk GmbH in sicer GUTEX-Thermoflex in GUTEX-Thermowall/-gf.

### 2.2.2.1 Klasični toplotnoizolacijski materiali

Izolacija iz mineralnih vlaken je kemijsko nevtralna, ne trohni, se ne stara in je obstojna pri visokih temperaturah. Kameno volno proizvajajo iz bazalta in diabaza z dodanim koksom pri temperaturi taljenja okoli 1600°C. Z razpihovanjem nastajajo vlakna, ki jih povežejo z dodajanjem veziva. Toplotna prevodnost mineralne volne je v območju med 0,03 in 0,045 W/mK. Težavo predstavlja hitro naraščanje toplotne prevodnosti pri navlaževanju, zato je potrebno posebno pozornost posvetiti skladiščenju, kakovostni izvedbi parnih ovir in zapor in preprečiti vstop vode v konstrukcijo ovoja stavbe.

#### 2.2.2.1.1 Tervol DP-5

TERVOL DP-5 je plošča iz kamene volne, ki se zaradi svojih lastnosti uporabljajo največ za toplotno, zvočno in protipožarno izolacijo predelnih sten ter toplotno in zvočno izolacijo zunanjih sten.

Lastnosti:

- negorljivost,
- toplotna izolativnost,
- zvočna izolativnost,

- paroprepustnost,
- vodoodbojnost,
- zdravstvena in ekološka neoporečnost,
- trajna dimenzijska obstojnost,
- odpornost na mikroorganizme in kemijska nevtralnost.

Prednosti:

- odlična absorpcija zvoka in upornost zračnemu toku,
- protipožarna zaščita,
- skupina toplotne prevodnosti 035,
- obstojnost oblike v konstrukciji,
- možnost izdelave posebnih dimenzij glede na konstrukcijo.



Slika 7: Tervol DP-5.

#### 2.2.2.1.2 Tervol FP-PL

TERVOL FP-PL je nosilni element fasade, na katerega se kot zunanja zaščita nanese sloj gradbenega lepila in zaključni sloj. Tervol FP-PL se uporablja pri novogradnjah zidanih iz različnih gradbenih materialov. Značilno za Tervol FP-PL je pravokotna orientacija vlaken na zidno površino, kar daje izolaciji bistveno boljše mehanske lastnosti.

Lastnosti:

- negorljivost,
- toplotna izolativnost,

- zvočna izolativnost,
- paroprepustnost,
- vodoodbojnost,
- zdravstvena in ekološka neoporečnost,
- trajna dimenzijska obstojnost,
- odpornost na mikroorganizme in kemijska nevtralnost.

Prednosti:

- visoka razplastna trdnost,
- preprosta izvedba,
- omogočen je prehod vodne pare,
- protipožarna zaščita,
- primerno za novogradnje, kot tudi sanacije.



Slika 8: Tervol FP-PL.

#### 2.2.2.2 Ekološki oz. alternativni toplotnoizolacijski materiali

Sodobni trendi kažejo, da graditelji ne želijo le zmanjšati rabe energije v zgradbi in tako manj obremenjevati okolje, temveč želijo tudi vgrajevati okolju prijazne materiale. Pri teh izdelkih je poleg nekaterih izpostavljenih okoljskih prednosti potrebno vzeti v zakup tudi določene slabosti v primerjavi s klasičnimi materiali.

Toplotnoizolacijski materiali iz lesnih vlaken so izdelani tako, da s pomočjo mineralnih veziv oblikujemo lesna vlakna v lesne plošče. Kljub nekaj slabši toplotni prevodnosti imajo ti izdelki visoko trdnost, so negorljivi, lahko jih ometavamo in imajo zato širok spekter uporabe.

#### 2.2.2.2.1 GUTEX-Thermoflex

GUTEX-Thermoflex je plošča iz lesnih vlaken, ki se zaradi svojih lastnosti uporablja predvsem kot toplotnoizolacijski material pri skeletni montažni gradnji. Zaradi njenih lastnosti je uporabna tudi kot zvočni izolator.

Lastnosti:

- toplotna izolativnost,
- negorljivost,
- zvočna izolativnost,
- omogočen je prehod vodne pare,
- zdravstvena in ekološka neoporečnost (natureplus©seal of quality),
- izboljšana dimenzijska stabilnost,

Prednosti:

- zaradi inovativnega, suhega procesa proizvodnje lesnih plošč, se porabi 40% manj energije kot pri mokrem procesu proizvodnje istih plošč,
- manjša prisotnost raznih aditivov,
- homogenost strukture tudi do 20 cm debeline plošče,
- enostavnost uporabe in preprosta izvedba,
- izjemna toplotna učinkovitost tako poleti kot pozimi ( $C_p=2100\text{J/kgK}$ ),
- les je naraven in obnovljiv naravni vir.



Slika 9: GUTEX-Thermoflex

#### 2.2.2.2.2 GUTEX-Thermowall/-gf

Prav tako, kot TERVOL FP-PL, je tudi GUTEX-Thermowall/-gf nosilni element fasade na katerega se kot zunanja zaščita nanese sloj gradbenega lepila in zaključni fasadni sloj. Prednost GUTEX-Thermowall/-gf plošče pa je v tem, da je izdelana iz lesnih vlaken z minimalno uporabo dodatkov. Uporablja se tako za novogradnje, kot za adaptacije.

Lastnosti:

- toplotna izolativnost,
- negorljivost,
- zvočna izolativnost,
- omogočen je prehod vodne pare,
- zdravstvena in ekološka neoporečnost (natureplus©seal of quality),
- izboljšana dimenzijska stabilnost,

Prednosti:

- manjša prisotnost raznih aditivov,
- enostavnost uporabe in preprosta izvedba,
- izjemna toplotna učinkovitost tako poleti kot pozimi ( $C_p=2100\text{J/kgK}$ ),
- les je naraven in obnovljiv naravni vir.



Slika 10: GUTEX-Thermowall/-gf

### 3 MATERIALI IN METODE

Za izdelavo diplomske naloge in izračuna je bilo potrebno zbrati nekaj podatkov, ki so zelo pomembni za primerjavo med prerezi sten in za primerjavo izračunov. Najprej sem izbral tri tipe zunanjih sten, ki sem jih želel primerjati med seboj. Za prvi tip stene sem izbral zidano steno, ki je po nekaterih statistikah, najbolj pogosta izbira za katero se odločajo Slovenci. Za drugi dve steni pa sem izbral alternativo zidani steni, ki je v mojem primeru montažna stena, saj proizvodnja montažnih hiš v zadnjem obdobju v Sloveniji narašča, vseeno pa smo še vedno daleč pod povprečjem zahodne Evrope (Nemčija, Avstrija...), kjer se delež montažne gradnje giblje med 20 in 30 odstotki. Da pa bi lahko primerjal različne termoizolacijske materiale med seboj pa sem pri montažnih stenah uporabil dva različna materiala in sicer pri montažni steni I kameno volno, pri montažni steni II pa izolacijsko ploščo iz lesnih vlaken.

Potem ko sem si izbral tri tipe zunanjih sten pa je začelo zbiranje podatkov za izračun s pomočjo računalniškega programa Termo enciklopedija 2. Najbolj pomembne podatke, ki sem jih potreboval za izračun, kot npr. toplotna prevodnost posameznih materialov sem pridobil s pomočjo raznih katalogov proizvajalcev, ki so dostopni tako v tiskani kot v virtualni obliki na Internetu.

#### 3.1 PREDSTAVITEV PREREZOV STEN IN UPORABLJENIH MATERIALOV

Diplomska naloga temelji predvsem na primerjavi različnih prerezov sten v katerih uporabljamo različne gradbene in termoizolacijske materiale. Tri vrste sten, ki jih bom med seboj primerjal, imajo nanizanih več različnih slojev teh materialov.

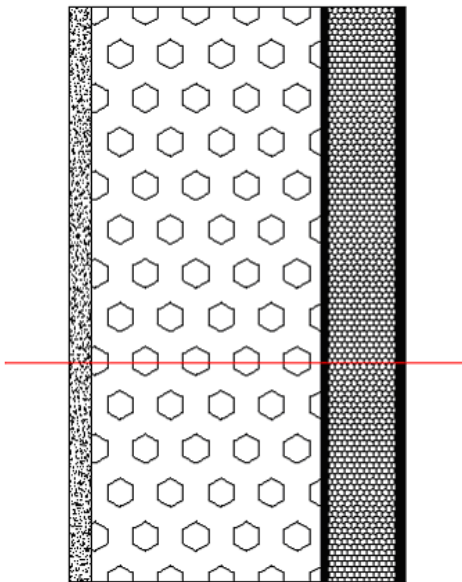
Med seboj bom primerjal zidano steno, montažno steno I in montažno steno II. S primerjavo želim ugotoviti razlike v toplotni prehodnosti konstrukcije in ugotoviti kateri material se bolj obnese kot toplotni izolator.

##### 3.1.1 Zidana stena

Osnovni gradbeni material pri zidani steni je mrežasta votla opeka (1400) debeline 20 cm. Sloji v zidani steni si od znotraj navzven sledijo v naslednjem vrstnem redu:

Preglednica 5: Potek slojev in debelina slojev v zidani steni.

Št.	Material	Debelina (cm)	Toplotna prevodnost materiala (W/mK)
1	Silikatni omet	2	0,7
2	Mrežasta votla opeka (1400)	20	0,61
3	Lepilo in izravnalna masa	0,5	1
4	TERVOL FP-PL	6	0,039
5	Lepilo in izravnalna masa	0,5	1
6	Tankoslojni zaključni silikatni omet	0,3	1



Sloji prereza zidane stene si sledijo od leve proti desni v enakem vrstnem redu, kot so opisani v preglednici 5.

Slika 11: Prerez zidane stene

### 3.1.2 Montažna stena I

Za razliko od zidane stene, kjer je osnovni gradbeni material opeka, od katere je odvisna tudi sama nosilnost in trdnost konstrukcije, pa imamo pri montažni steni več pomembnejših gradbenih materialov, ki vplivajo tako na stabilnost in nosilnost konstrukcije kot tudi na druge parametre, kot so toplotna stabilnost, fazni zamik...

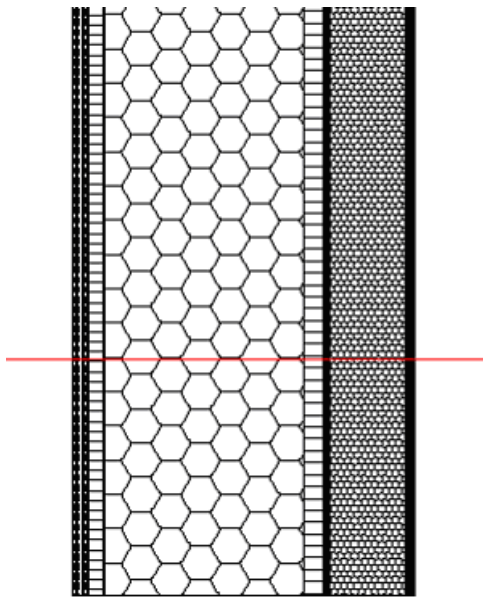
Najpomembnejši gradbeni material v primeru montažne stene je lesno tvorivo v obliki trdih iverk in DWD plošč in pa DUO lepljen les, ki ima to prednost, da je bistveno boljši od navadnega lesa, saj je lepljen tako, da se deformacije lesa med seboj izničijo.

Sloji si v montažni steni I sledijo v naslednjem vrstnem redu:

Preglednica 6: Potek slojev in debelina slojev v montažni steni I.

Št.	Material	Debelina (cm)	Toplotna prevodnost materiala (W/mK)
1	Mavčno kart. plošča	1,25	0,21
2	Iverka-trda	1,2	0,12
3	EKO-NATUR	0,1	0,1
4	DUO lepljena lesena konstrukcija 160 mm z vmesno izolacijo iz kamene volne Tervol DP-5	16	0,035
5	DWD plošča	1,6	0,09
6	Lepilo in izravnalna masa	0,5	1
7	TERVOL FP-PL	6	0,039
8	Lepilo in izravnalna masa	0,5	1
9	Tankoslojni zaključni silikatni omet	0,3	1





Sloji prereza Montažne stene I si sledijo od leve proti desni v enakem vrstnem redu, kot so opisani v preglednici 6.

Slika 12: Prerez montažne stene I

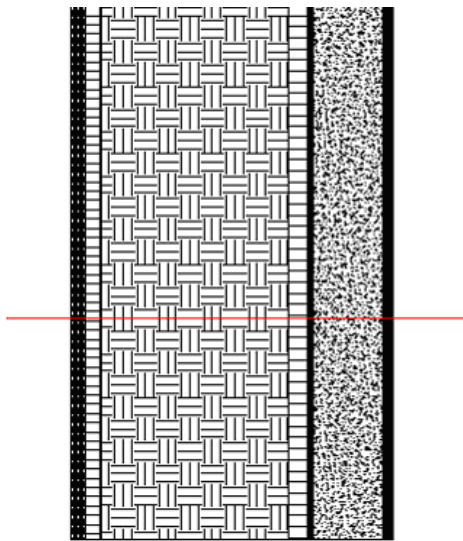
### 3.1.3 Montažna stena II

Razlika med montažno steno I in montažno steno II je le v termoizolacijskem materialu in sicer pri montažni steni II je uporabljen kot izolacijski material GUTEX-ov Thermoflex.

Sloji pa si sledijo v naslednjem vrstnem redu:

Preglednica 7: Potek slojev in debelina slojev v montažni steni II.

Št.	Material	Debelina (cm)	Toplotna prevodnost materiala (W/mK)
1	Mavčno kartonska plošča	1,25	0,21
2	Iverka-trda	1,2	0,12
3	EKO-NATUR	0,1	0,1
4	DUO lepljena lesena konstrukcija 160 mm z vmesno izolacijo iz lesne volne, GUTEX-Thermoflex	16	0,038
5	DWD plošča	1,6	0,09
6	Lepilo in izravnalna masa	0,5	1
7	GUTEX-Thermowall/-gf	6	0,043
8	Lepilo in izravnalna masa	0,5	1
9	Tankoslojni zaključni silikatni omet	0,3	1



Slika 13: Prerez montažne stene II

Sloji prereza Montažne stene II si sledijo od leve proti desni v enakem vrstnem redu, kot so opisani v preglednici 7.

## 3.2 METODE

### 3.2.1 Izračun

Za izračun prehoda toplote skozi gradbeno konstrukcijo sem si pomagal s programom Termo enciklopedija 2, ki je program namenjen izračunu gradbene fizike. Delo s programom poteka tako, da program najprej namestimo na osebni računalnik. Po namestitvi programske opreme lahko iz mape Termo enciklopedija 2 nadaljujemo delo s programom Termo enciklopedija, ki je namenjen izračunu toplotnih prehodnosti in difuzije vodne pare v gradbenih konstrukcijah. S pomočjo poglavja INŽENIR sledi nadaljnji izračun. Po vnosu podatkov o projektantu in lokaciji vnesemo tudi podatke o nazivu konstrukcije ter temperaturi zraka in relativni vlažnosti prostora. Nato določimo tip gradbene konstrukcije (v mojem primeru zunanja stena), temu pa sledi izbira standardnih materialov, materialov znanih proizvajalcev, fasadnih sistemov ali materialov, ki sem jih opredelil sam. S pomočjo prej naštetih materialov sledi sestavitev po slojih gradbene konstrukcije. Po končanem vnosu slojev sledi analiza konstrukcije.

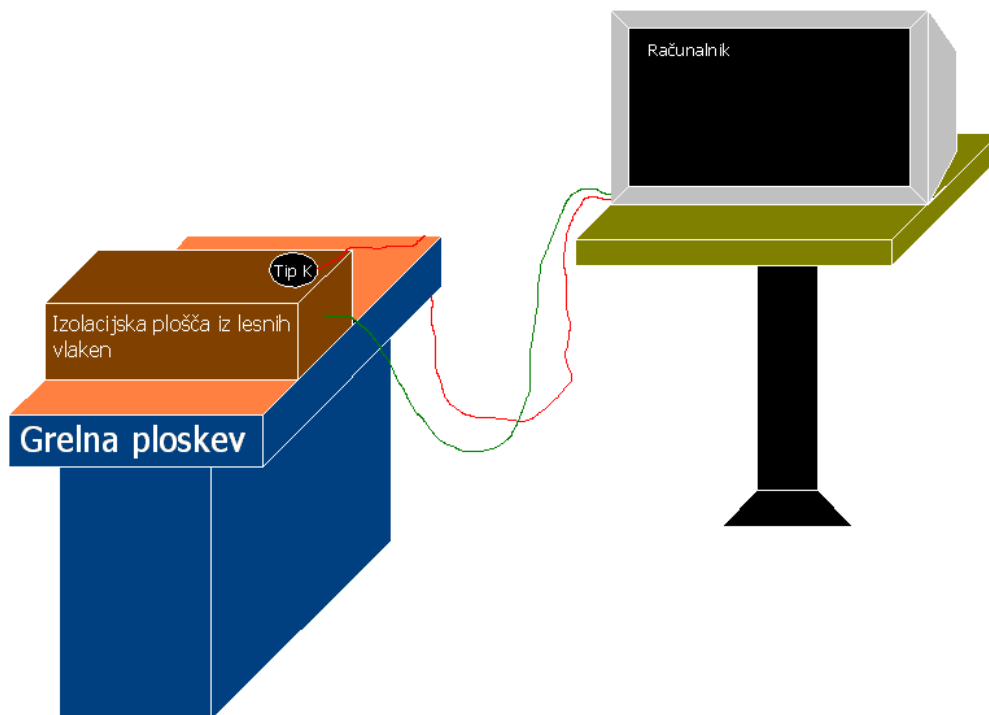
### 3.2.2 Preizkus merjenja prehoda toplote pri različnih vlažnostih materiala

Želeli smo ugotoviti odvisnost prehoda toplote od vlažnosti izolacijskega materiala. Ker je v programu gradbene fizike Termo enciklopedija 2 mogoče spreminjati le projektne pogoje, ne pa vlažnosti posameznega materiala v montažni steni, sem s pomočjo laboratorijskih meritev prišel do naslednjih rezultatov, ki so prikazani v točki 4.3.

Vzeli smo tri enake kose izolacijske plošče iz lesnih vlaken AGEPAN THD plošče debeline 40 mm in gostote  $230 \text{ kg/m}^3$ . Tri vzorce smo izpostavili različnim vlažnostim, tako da smo na koncu imeli 100% vlažen vzorec, 25-30% vlažen vzorec in vzorec suhe izolacijske plošče iz lesnih vlaken. Vzorci so bili uravnovešeni pri  $20^\circ\text{C}$  in 65% relativne zračne vlažnosti. Na treh različno vlažnih vzorcih smo morali ugotoviti vpliv vlažnosti materiala na prenos toplote skozi material.

Eksperiment je potekal tako, da smo na grelno ploskev, ki je imela po približno šestih minutah konstantno temperaturo, položili vzorec izolacijske plošče iz lesnih vlaken in v eno in pol urnem časovnem intervalu merili naraščanje temperature v sredici in na površini vzorca. Postopek smo ponovili pri vseh treh vzorcih.

Temperaturo smo merili z napravo AGILENT 34970A Data acquisition/switch unit (slika 14). Temperaturo smo merili s termočleni. Merjenje temperature s termočleni je ena najpomembnejših električnih metod merjenja temperature. Uporabljamo jih za merjenje temperature v zelo širokem območju, od kriogenih temperatur z nekaj K pa vse do temperature  $26000\text{C}$ . Glavna pomanjkljivost termočlenov pa je relativno šibek izhodni signal. V našem primeru smo uporabljali termočlen tipa " K ", ki je sestavljen iz železa (Fe) in konstantana (Cu60Ni40). Na začetku smo z nožem prerezali skupno vlaknasto oblogo in ločili oba vodnika. Iz posameznih vodnikov smo odstranili izolacijo ter vodnika zvili v navoj tako, da smo dobili točko sklenitve. Navoj smo ovili z lepilnim trakom, in ga vstavili v izolacijsko ploščo iz lesnih vlaken. Termočleni so bili povezani preko Data acquisition / switch unit (AGILENT 34970A), ki je v časovnem zaporedju ene sekunde izmeril dejansko temperaturo ter shranil podatke v program VEE PRO 7.0. Podatke smo po končani meritvi obdelali in dobili graf temperature v odvisnosti od časa. Uporabljali smo dva termočlena, ki smo jih vstavili v sredico in na površino izolacijske plošče iz lesnih vlaken.



Slika 14: Shema eksperimenta merjenja prehoda toplote skozi izolacijsko ploščo

## 4 REZULTATI

Z izračunom, pri katerem nam je bil v veliko pomoč računalniški program Termo enciklopedija 2, ki je program za izračun gradbene fizike, sem pridobil rezultate parametrov, ki so pomembni pri načrtovanju termoizolacijskega ovoja stavbe. Ti podatki so dejanske toplotne prevodnosti materialov, ki nam povedo kakšen toplotni prevodnik je material (manjša kot je toplotna prevodnost, boljši toplotni izolator je material) in pa toplotne prehodnosti konstrukcije, ki pove, koliko energije prehaja skozi konstrukcijo (čim manjša je toplotna prehodnost konstrukcije, tem manjše bodo energijske izgube skozi tak element ovoja stavbe).

### 4.1 DEJANSKE TOPLOTNE PREVODNOSTI TOPLOTNOIZOLACIJSKIH MATERIALOV

Kot toplotnoizolacijski material sem primerjal dva materiala in sicer kameno in lesno volno.

Preglednica 8: Primerjava toplotnih prevodnosti toplotnoizolacijskih materialov.

kamena volna	Toplotna prevodnost (W/mK)	lesna volna	Toplotna prevodnost (W/mK)
TERVOL DP-5	0,035	GUTEX Thermoflex	0,038
TERVOL FP-PL	0,038	GUTEX Thermowall/-gf	0,043

Iz preglednice je razvidno kakšne so vrednosti toplotne prevodnosti toplotnoizolacijskih materialov. Ugotovimo lahko da imata materiala TERVOL DP-5 in TERVOL FP-PL, manjše vrednosti kot pa GUTEX Thermoflex in GUTEX Thermowall/-gf, iz tega pa lahko sklepamo da sta TERVOL DP-5 in TERVOL FP-PL boljša toplotna izolatorja od GUTEX Thermoflex in GUTEX Thermowall/-gf.

#### 4.2 TOPLOTNE PREHODNOSTI KONSTRUKCIJ

Toplotna prehodnosti konstrukcije nam pove, koliko energije prehaja skozi konstrukcijo, čim manjša je toplotna prehodnost konstrukcije, tem manjše bodo energijske izgube skozi tak element ovoja stavbe.

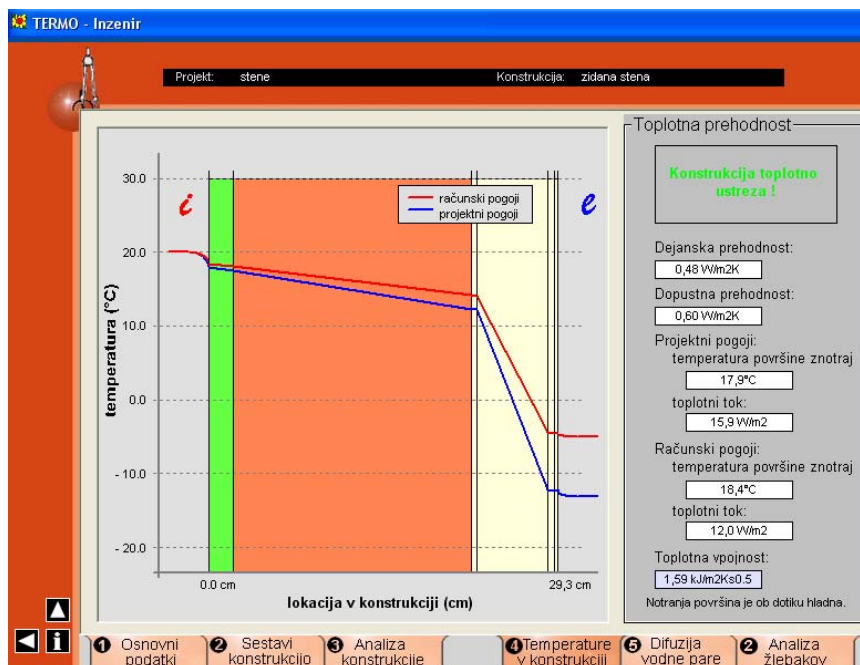
Za primerjavo sem izbral tri različne konstrukcije. Prva je zidana stena s fasadno izolacijo TERVOL FP-PL, druga je montažna stena s toplotno izolacijo TERVOL DP-5 in TERVOL FP-PL, tretja pa je montažna stena z izolacijo GUTEX Thermoflex in GUTEX Thermowall/-gf.

#### 4.2.1 Toplotna prehodnost zidane stene

Rezultat je glede na projektne pogoje, ki so:

Slika 15: Projektni pogoji pri izračunu toplotne prehodnosti (Termoenciklopedija 2, januar 2005).

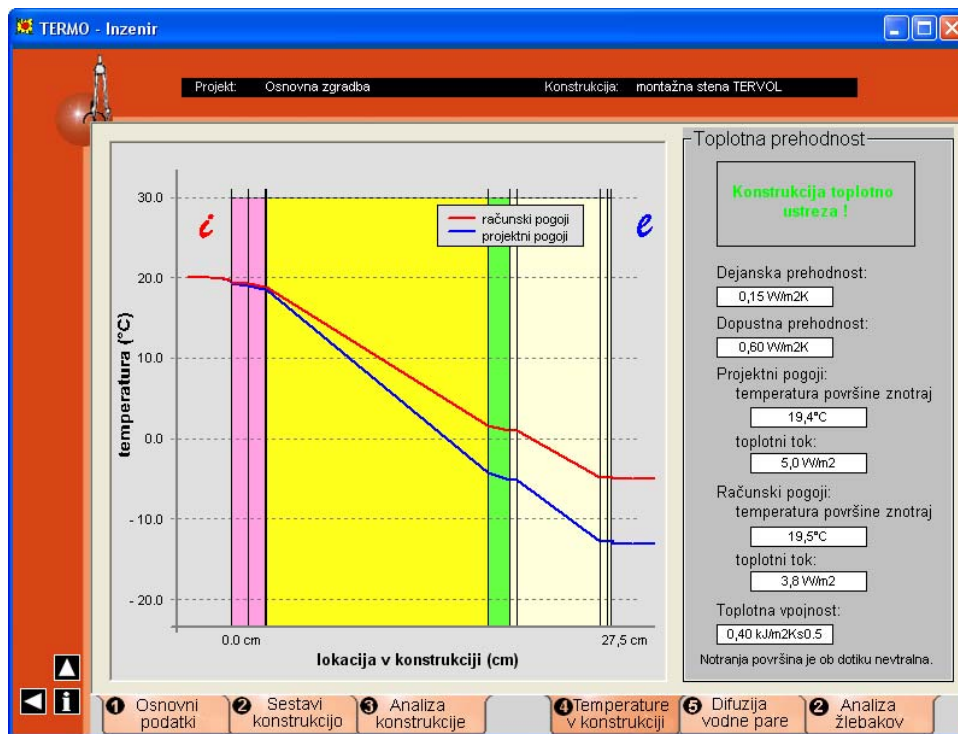
Vsi tipi konstrukcij imajo enake projektne pogoje. Tako so projektne pogoje enaki tako za zidano steno kot za montažno steno I in montažno steno II.



Slika 16: Grafični prikaz temperatur na površini in notranjosti konstrukcije pri računskih in projektne pogojih in podatki preračuna toplotne prehodnosti za zidano steno. (Termoenciklopedija 2, januar 2005).

Iz slike je razvidno, da je dejanska toplotna prehodnost konstrukcije  $0,48 \text{ W/m}^2\text{K}$ , kar je v primerjavi z dopustno toplotno prehodnostjo konstrukcije  $0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$  sprejemljivo. Iz slike je razvidno tudi to, da konstrukcija toplotno ustreza. Toplotna prehodnost konstrukcije je razmeroma visoka, a je še vedno sprejemljiva, razloge za tako visoko številko,  $0,48 \text{ W/m}^2\text{K}$ , pa lahko iščemo v številu slojev, saj imamo v primeru zidane stene 6 slojev, glavni konstrukcijski sloj, ki je iz mrežaste votle opeke 1400 pa ima visoko toplotno prevodnost  $0,610 \text{ W/mK}$ , kar pomeni da material ni najboljši toplotni izolator in je v kombinaciji s fasadno izolacijo prehodnost konstrukcije prav zaradi tega višja kot v primerih montažne stene I in montažne stene II.

#### 4.2.2 Toplotna prehodnost montažne stene I (Tervol)

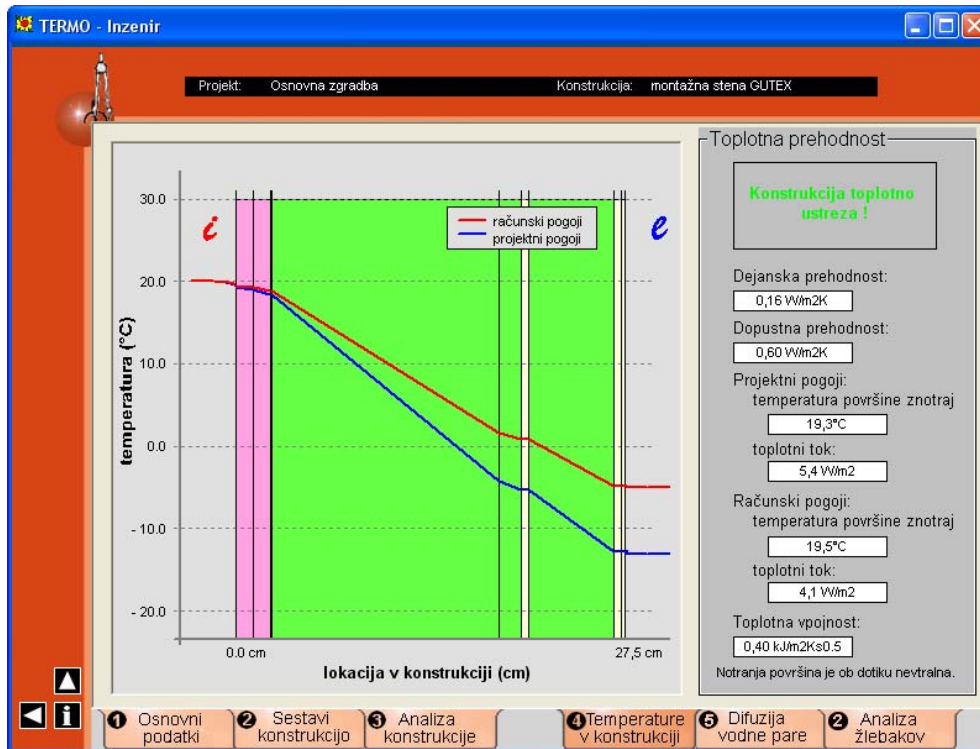


Slika 17: Grafični prikaz temperatur na površini in notranjosti konstrukcije pri računskih in projektnih pogojih in podatki preračuna toplotne prehodnosti za montažno steno I (Termoenciklopedija 2, januar 2005).

Tudi pri montažni steni I je iz slike in izračuna razvidno, da je vrednost dejanske toplotne prehodnosti konstrukcije  $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ , kar je v primerjavi z dopustno toplotno prehodnostjo  $0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$  sprejemljivo. Če pa primerjamo dejansko toplotno prehodnost z zidano steno vidimo da se je številka občutno znižala na račun števila slojev (9 slojev), gradbenih

materialov in njihovih boljših toplotnih prevodnosti, kot tudi na račun toplotnoizolacijskega material. Razvidno pa je tudi, da konstrukcija toplotno ustreza.

#### 4.2.3 Toplotna prehodnost montažne stene II (Gutex)

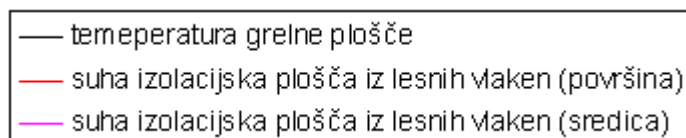
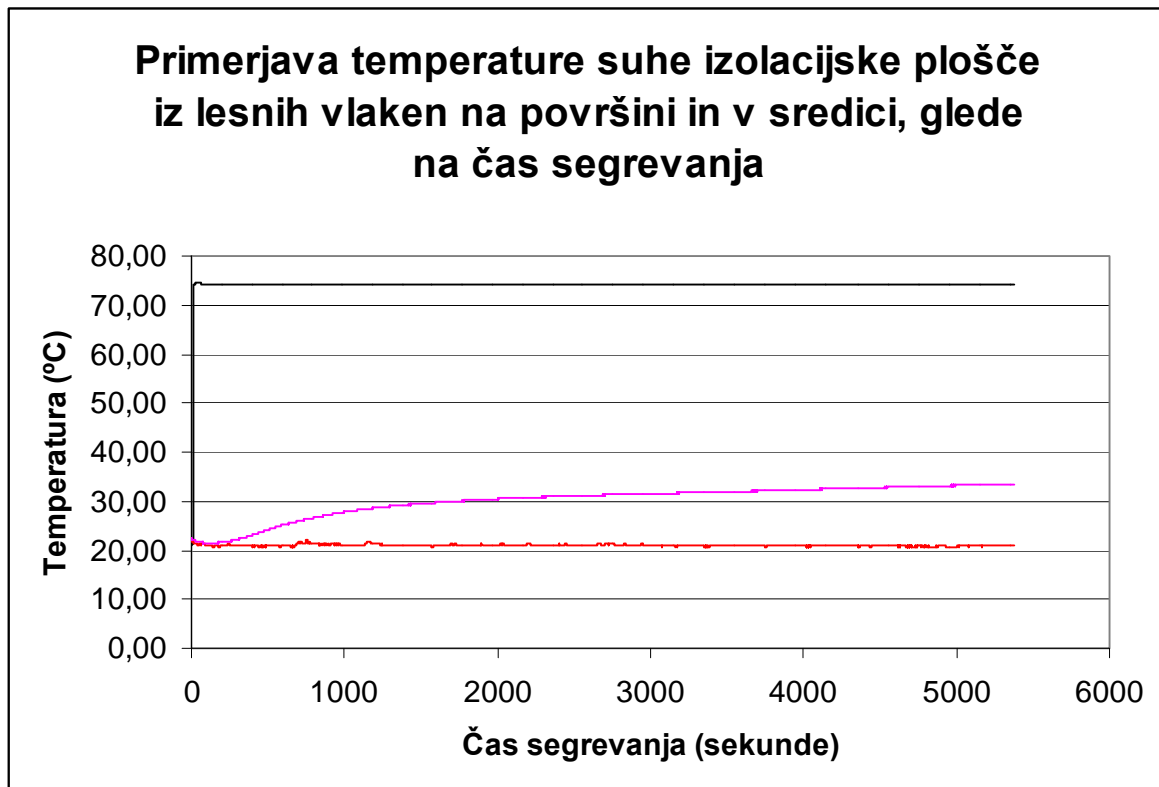


Slika 18: Grafični prikaz temperatur na površini in notranjosti konstrukcije pri računskih in projektnih pogojih in podatki preračuna toplotne prehodnosti za montažno steno II (Termoenciklopedija 2, januar 2005).

Prav tako kot v primeru montažne stene I je iz slike razvidno, da je vrednost dejanske toplotne prehodnosti konstrukcije dosti bolj ugodna kot v primeru zidane stene. V primerjavi z montažno steno I, pri kateri je toplotna prehodnost konstrukcije 0,15 W/m<sup>2</sup>K, vidimo da vrednost toplotne prehodnosti konstrukcije montažne stene II ne odstopa veliko, gre za razliko 0,01 W/m<sup>2</sup>K. Tudi v primeru montažne stene II se je na račun slojev konstrukcije (9 slojev) in boljših toplotnih prevodnostih slojev, dejanska toplotna prehodnost konstrukcije občutno znižala, v primerjavi z zidani steno, medtem ko je v primerjavi z montažno steno I številka zelo primerljiva. Iz slike je tudi razvidno, da konstrukcija prav tako kot predhodne dve konstrukcije toplotno ustreza.



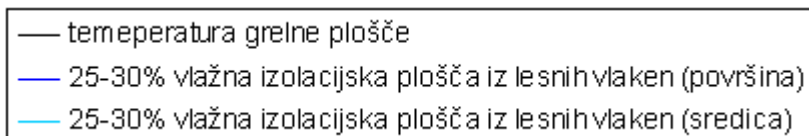
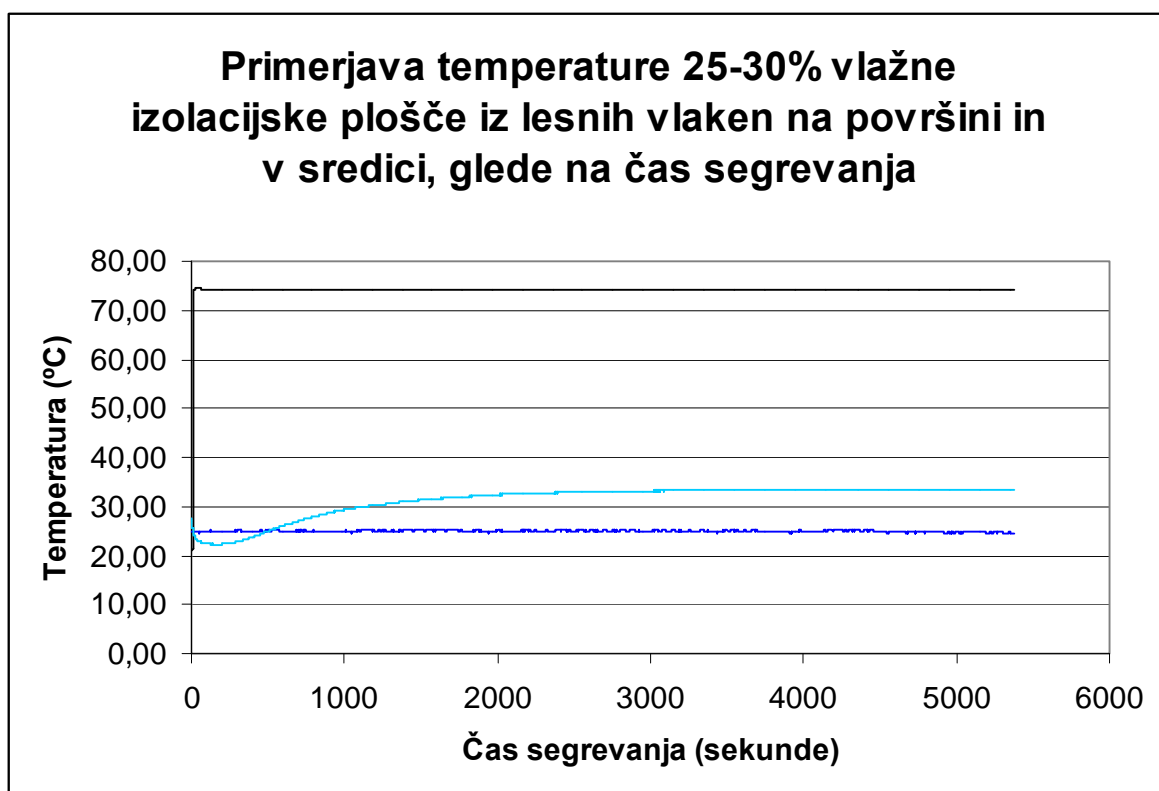
#### 4.3 VPLIV VLAŽNOSTI MATERIALA NA TOPLOTNE LASTNOSTI KONSTRUKCIJE



Slika 19: Graf primerjave temperature suhe izolacijske plošče iz lesnih vlaken na površini in v sredici, glede na čas segrevanja

Iz krivulje, ki predstavlja temperaturo grelne plošče, vidimo da se grelna ploskev po nekaj več kot 6 minutah segreje na konstantno temperaturo in sicer na 74,25 °C, ta temperatura ostane nespremenjena do konca meritve. Iz krivulje, ki predstavlja temperaturo suhe izolacijske plošče iz lesnih vlaken na zgornji površini, glede na grelno ploskev, je razvidno da je tu temperatura med 20 in 22 °C, kar je približno enako kot temperatura prostora v katerem je bila meritev izvršena. Iz krivulje, ki predstavlja temperaturo suhe izolacijske plošče iz lesnih vlaken v sredici, glede na grelno ploskev, pa je razvidno da se temperatura iz začetnih 22 °C v prvih 25 minutah dvigne na približno 29,6 °C, potem pa v naslednji uri

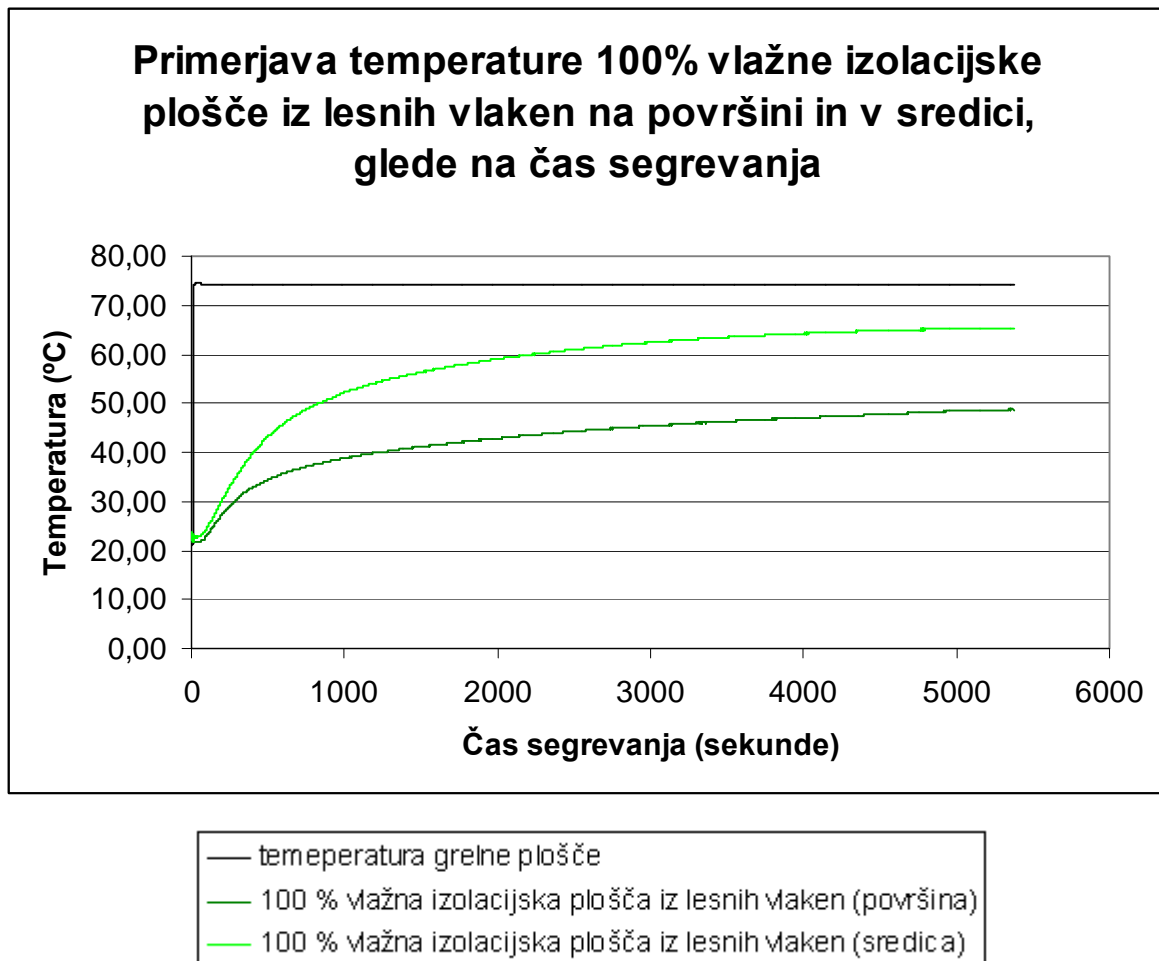
počasi narašča na končnih 33,3 °C. Iz teh dveh krivulj je razvidno, da se suha izolacijska plošča iz lesnih vlaken v stiku z grelno ploščo segreva predvsem po sredici, zgornja ploskev, ki pa ni v stiku z grelno ploskvijo pa ostane podobna temperaturi okolice in sicer med 20 in 22 °C. Iz tega lahko sklepamo da je suha izolacijska plošča iz lesnih vlaken dober toplotni izolator, saj se temperatura zgornje ploskve po določenem časovnem obdobju v stiku z grelnim telesom ne spremeni. Iz tega lahko sklepamo, da se toplota akumulira v materialu in se preko zgornje ploskve (površine) ne izloča v okolico.



Slika 20: Graf primerjave temperature 20-30% vlažne izolacijske plošče iz lesnih vlaken na površini in v sredici, glede na čas segrevanja

Iz grafa za 25-30% vlažno izolacijsko ploščo iz lesnih vlaken je tudi razvidno, da se najprej začne segrevati sredica, kar je posledica stika z grelno ploskvijo. To segrevanje je hitrejše in malenkost večje kot pri suhi izolacijski plošči, prav tako pa se tudi zgornja ploskev (površina) segreje na 24,7 °C, kar je za nekaj stopinj več (3-4 °C) kot je temperatura okolice

(20-22 °C). Iz tega pa lahko sklepamo, da smo že začeli ogrevati okolico in tako izgubljati toploto. Izolativne lastnosti plošč se s povečanjem vlažnosti samega materiala poslabšajo.



Slika 21: Graf primerjave temperature 100% vlažne izolacijske plošče iz lesnih vlaken na površini in v sredici, glede na čas segrevanja

Iz grafov za 100% vlažno izolacijsko ploščo iz lesnih vlaken pa je vidno da je segrevanje sredice časovno zelo hitro, prav tako je sprememba toplote po času ogromna, glede na suhe in vlažne izolacijske plošče iz lesnih vlaken. Vidno je da se je tudi zgornja ploskev (površina) ogrela na 48,7 °C, kar je za več kot enkrat več kot temperatura okolice. Iz tega lahko sklepamo, da so izgube toplote ogromne, izolativnost materiala pa se drastično zmanjša oziroma poslabša.

Iz grafov je razvidno, da se s povečanjem vlažnosti izolacijske plošče iz lesnih vlaken, poveča toplotna prevodnost plošče. Posledica tega pa je poslabšanje termoizolativnih lastnosti, kar posledično privede po povečanja stroškov za ogrevanje bivalnih prostorov. To

pomeni, da moramo izolacijske materiale (tako klasične, kot alternativne) vgrajevati suhe in nikakor ne mokre ali vlažne.

## 5 RAZPRAVA IN SKLEPI

### 5.1 RAZPRAVA

Že v uvodni obrazložitvi je bilo omenjeno, da se je skozi zgodovino razvilo veliko število različnih materialov, tako gradbenih kot toplotnoizolacijskih, ki imajo s svojimi lastnostmi pomemben vpliv na toplotnoizolacijski ovoj stavbe. Kot je bilo že omenjeno je naloga toplotnoizolacijskih materialov predvsem zmanjšanje toplotnih izgub in s tem posredno zmanjšanje stroškov ogrevanja.

Slovenija ima malo lastnih energetskih virov, zato jih več kot tri četrtine uvozimo. Med energetskimi viri so najpomembnejša fosilna goriva (olje, plin, premog) s katerimi, podobno kot v svetu zagotovimo več kot 70 % slovenskih potreb. Medtem, ko je raba energije na prebivalca v Sloveniji na ravni Evropske unije, pa v Sloveniji porabimo precej več energije na enoto ustvarjenega narodnega dohodka. Zato je za slovenijo značilna intenzivna raba energije. Prav zaradi tega skušamo rabo energije v zadnjih letih znižati z različnimi ukrepi.

Po zadnjih ocenah porabimo v 640.00 slovenskih gospodinjstvih nad 20% vse primarne energije. Od tega skoraj tri četrtine za ogrevanje, zato je zmanjšanje toplotnih izgub v zgradbah še posebej pomembno. Dve tretjini toplotnih izgub v zgradbah je posledica prehoda toplote skozi gradbene konstrukcije, to pa skušamo zmanjšati prav z uporabo boljših izolacijskih materialov, med njimi tudi z uporabo lesne volne.

Pri izboru primerne materiala za toplotno zaščito zgradbe poznamo več kriterijev. Najbolj izpostavljeni so toplotna prevodnost posameznih materialov v konstrukciji  $\lambda$  [W/mK], debelina materiala  $d$  [cm], toplotna prehodnost konstrukcije  $k$  [W/m<sup>2</sup>K]. Zelo pomemben parameter pri načrtovanju toplotne izolacije je toplotna prevodnost materiala  $\lambda$  [W/mK], ki nam pove kakšen toplotni izolator je material in ker hočemo imeti čim boljšega mora biti toplotna prevodnost  $\lambda$  [W/mK] čim manjša saj velja pravilo, da manjša kot je toplotna prevodnost boljši toplotni izolator je material. Posledica izbire toplotnoizolacijskega materiala pa je toplotna prehodnost konstrukcije  $k$  [W/m<sup>2</sup>K], ki nam

pove koliko energije prehaja skozi konstrukcijo, pomembno je da je čim manjša saj velja, čim manjša je toplotna prehodnost konstrukcije, tem manjše bodo energijske izgube skozi tak element ovoja stavbe.

Cilj moje diplomske naloge pa je bil primerjava tradicionalnega in alternativnega oziroma ekološkega toplotnoizolacijskega materiala in predvsem predstavitev prednosti lesne volne kot primernega in učinkovitega materiala.

## 5.2 SKLEPI

Primerjava treh različnih sten, zidane stene, montažne stene I in montažne stene II, temelji predvsem na izračunu vrednosti toplotne prehodnosti konstrukcije  $k$  [ $W/m^2K$ ]. Za vrednost toplotne prehodnosti konstrukcije velja da, čim manjša je toplotna prehodnost konstrukcije tem manjše bodo energijske izgube skozi tak element ovoja stavbe, zato hočemo imeti čim manjšo toplotno prehodnost konstrukcije.

Ob primerjavi zidane stene in montažne stene I, pri katerih je uporabljen klasični toplotnoizolacijski material (TERVOL), ugotovimo da je vrednost toplotne prehodnosti konstrukcije pri montažni steni I za skoraj polovico manjša, kar pove da je montažna gradnja v primerjavi s zidano steno energetsko bolj varčna, to pa bi lahko bil poglavitni razlog za izbiro montažne gradnje pred zidano. Druge prednosti montažne gradnje pred zidano pa so še:

- hitrost gradnje,
- ekološka neoporečnost vgrajenih elementov,
- vzdrževanje zdrave klime,
- požarna varnost,
- trajnost,
- potresna varnost,
- čista gradnja...

Ob primerjavi montažne stene I (TERVOL) in montažne stene II (GUTEX) pa ugotovimo da je razlika v toplotni prehodnosti konstrukcije minimalna saj znaša  $0,01 W/m^2K$ . Iz tega lahko zaključimo da sta toplotnoizolacijska material enakovredna toplotna izolatorja, prednost montažne stene II pa je lahko v naravnem in ekološko neoporečnem materialu iz lesnih vlaken kot so plošče iz lesne volne, za katere je znano da so okolju in človeku

prijazne, saj so iz regenerativnih snovi in trenutno predstavljajo alternativo ostalim tovrstnim gradivom in materialom.

Kot prednosti je potrebno izpostaviti naslednje:

- majhna poraba energije pri proizvodnji,
- proizvodnja tega gradiva nima škodljivih posledic za okolje,
- dobra požarna odpornost (po DIN 4102 je odpornost B-2, normalna vnetljivost),
- dolga življenjska doba,
- dimenzijska stabilnost,
- enostavna vgradnja.

Za izolacijske plošče iz lesnih vlaken pa je značilno da so ekološko, zdravstveno neoporečna in gospodarna toplotna izolacija na vseh konstrukcijskih delih zgradbe. Zgradbo ščitijo pred zimskimi nizkimi temperaturami ter poletnim pregrevanjem. Plošče akumulirajo toploto, jo shranijo in z nekaj urnim zamikom oddajo v prostor. Vgradnja toplotne izolacije iz lesnih vlaken zagotavlja dobro prostorsko klimo: porozna vlaknasta struktura pospešuje difuzijo pare, plošče zelo dobro »dihajo«. Na ta način uravnavajo vlago, kadar je v prostoru visoka relativna vlaga, jo gradivo veže in nato zopet odda v prostor, ko se količina vlage v prostoru zniža. Zaradi strukture odprtih por lahko absorbirajo zvočno valovanje, zato so tudi zvočni izolator. Poudariti je še potrebno predvsem toplotno izolacijsko funkcijo, saj so plošče uporabne za izoliranje zunanjih in notranjih sten, talnih in stropnih plošč ter hladnih in toplih podstrešij.

S pomočjo programa je bilo ugotovljeno tudi, da materiali, tako konstrukcijski, kot izolacijski, z večjo gostoto imajo tudi manjšo toplotno prehodnost konstrukcije. Iz tega lahko zaključimo, da je manjša prednost kamene volne pred izolacijsko ploščo iz lesnih vlaken prav v malo večji gostoti, saj je gostota kamene volne  $50 \text{ kg/m}^3$ , gostota izolacijskih plošč iz lesnih vlaken pa je  $45 \text{ kg/m}^3$ .

## 6 POVZETEK

V svoji diplomski nalogi sem hotel predstaviti prednosti uporabe naravnih, ekoloških gradbenih elementov, kot so les in lesne izolacijske plošče, pred tradicionalnim gradbenim materialom kot je opeka in izolacija iz kamene volne. Izpostavil sem prednosti uporabe naravnih gradbenih materialov tako iz izolacijske, kot tudi iz konstrukcijske plati.

Primerjava termoizolacijskih lastnosti materialov je temeljila na izračunu toplotne prehodnosti konstrukcije  $k$  [ $W/m^2K$ ], ki nam pove koliko energije prehaja skozi konstrukcijo, s tem pa so povezane energijske izgube skozi ovoj stavbe. Primerjal sem tri tipe sten in sicer klasično zidano steno (izolacija TERVOL), montažno steno I (izolacija TERVOL) in montažno steno II (izolacija GUTEX). Ugotovljeno je bilo, da imata montažna stena I in montažna stena II trikrat manjšo toplotno prehodnost konstrukcije  $k$  [ $W/m^2K$ ], kot klasična zidana stena. Iz tega ugotovimo, da so energijske izgube skozi ovoj stavbe pri montažni gradnji manjše, predvsem na račun konstrukcije plasti stene in uporabe naravnih materialov kot so iverne plošče, DWD plošče, DUO lepljenega konstrukcijskega lesa in izolacijskih plošč iz lesne volne. Zato ima z vidika porabe energije montažna gradnja prednost pred klasično gradnjo. Ta razlog pa bi utegnil postati eden izmed poglavitnih razlogov v mogočem povečanem trendu gradnje montažnih hiš v Sloveniji.

Ob primerjavi konstrukcijsko enakih montažnih sten (enak vrstni red slojev in enaka debelina slojev) z različnima termoizolacijskima materialoma (TERVOL in GUTEX) pa ugotovimo, da sta montažna stena I (TERVOL) in montažna stena II (GUTEX) skoraj enakovredni, saj je razlika v toplotni prehodnosti konstrukcije na strani kamene volne le za  $0,01 W/m^2K$ , kar daje prednost kameni volni, vendar pa je potrebno poudariti prednost izolacijskih plošč iz lesne volne po ekoloških in zdravstvenih kriterijih, ki so čedalje bolj pomembni.

Dober material, ki mora ugodno vplivati na klimatske razmere v prostoru, se odlikuje tudi po nizki toplotni prevodnosti in visoki toplotni kapaciteti, ki opisuje sposobnost shranjevanja oziroma zadrževanja toplote. Obe lastnosti nam dajeta podatek o t. i. faznem zamiku. Ta nam pove, v kakšnem času bo del shranjene toplote prodril v prostor. Z izolacijskimi lastnostmi lesnih vlaken dosegamo tudi do 14 urni fazni zamik. To pomeni, da nam lesna izolacija zagotavlja ugodno temperaturo v prostoru skozi ves dan.

Odločitev o tem kakšen način gradnje in s katerimi materiali je stvar posameznika, vendar gledano iz ekološkega vidika ima montažna gradnja z ekološkimi materiali nešteto prednosti, predvsem v zdravem in naravnem življenjskem okolju in udobju.



## 7 VIRI

Medved S., Arkar C., Domjan S., Korenč V., Shadow N., Lužnik T. in Gruden T.  
2005. Termoenciklopedija 2.

Medved S. Študijsko gradivo pri predmetu VILT

Medved S. 1997. Toplotna tehnika v zgradbah. Ljubljana, Fakulteta za strojništvo: 188 str

Moritz K. 1975. Pravilno i pogrešno kod toplotne zaštite, zaštite od vlage, zaštite  
građevinskih objekata. Beograd, Građevinska knjiga: 511 str

[www.slonep.net](http://www.slonep.net)

Skaar C. 1988. Wood-water relations. Berlin, New York, Springer-Verlag: 283 str.

Šijanec Zavrl M. 1998. Difuzija vodne pare v toplotno izoliranem ovoju stavbe. Gradbenik:  
2, 9

Wood handbook : wood as an engineering material. 1999. Madison, WI, The Forest  
Products Laboratory: str.