

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:

Jerman, M., 2016. Prenova toplotnega ovoja zunanjih sten v pogledu prehoda toplote in difuzije vodne pare. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Kunič, R., somentor Pajek, L.): 51 str.

<http://drugg.fgg.uni-lj.si/5854/>

Datum arhiviranja: 19-10-2016

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:

Jerman, M., 2016. Prenova toplotnega ovoja zunanjih sten v pogledu prehoda toplote in difuzije vodne pare. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Kunič, R., co-supervisor Pajek, L.): 51 pp.

<http://drugg.fgg.uni-lj.si/5854/>

Archiving Date: 19-10-2016

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 GRADBENIŠTVO  
ORGANIZACIJSKO  
TEHNOLOŠKA SMER

Kandidatka:

**MAJDA JERMAN**

**PRENOVA TOPLOTNEGA OVOJA ZUNANJIH STEN V  
POGLEDU PREHODA TOPLOTE IN DIFUZIJE VODNE  
PARE**

Diplomska naloga št.: 3513/OTS

**THE RENOVATION OF THE THERMAL ENVELOPE  
OF THE EXTERNAL WALLS IN VIEW OF HEAT  
TRANSFER AND DIFFUSION OF WATER VAPOR**

Graduation thesis No.: 3513/OTS

**Mentor:**

doc. dr. Roman Kunič

**Somentor:**

asist. Luka Pajek

Ljubljana, 16. 09. 2016

## **STRAN ZA POPRAVKE**

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

»Ta stran je namenoma prazna.«

Spodaj podpisana študentka Majda Jerman, vpisna številka 26104556, avtorica pisnega zaključnega dela študija z naslovom: Prenova toplotnega ovoja zunanjih sten v pogledu prehoda toplote in difuzije vodne pare

#### IZJAVLJAM

1. *Obkrožite eno od variant a) ali b)*

- a) da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;
- b) da je pisno zaključno delo študija rezultat lastnega dela več kandidatov in izpolnjuje pogoje, ki jih Statut UL določa za skupna zaključna dela študija ter je v zahtevanem deležu rezultat mojega samostojnega dela;

2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;

3. da sem pridobil/-a vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil/-a;

4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal/-a v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil/-a soglasje etične komisije;

5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;

6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;

7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

Ljubljana, 31. 8. 2016

Majda Jerman

»Ta stran je namenoma prazna.«

## **BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

<b>UDK:</b>	52-334.6:624(497.4)(043.2)
<b>Avtor:</b>	Majda Jerman
<b>Mentor:</b>	doc. dr. Roman Kunič
<b>Somentor:</b>	asist. Luka Pajek, mag. inž. stavb.
<b>Naslov:</b>	Prenova toplotnega ovoja zunanjih sten v pogledu prehoda toplote in difuzije vodne pare
<b>Tip dokumenta:</b>	Diplomska naloga – univerzitetni študij
<b>Obseg in oprema:</b>	51 str., 11 tab., 61 sl., 4 pril.
<b>Ključne besede:</b>	Kondenzacija vodne pare, difuzijska upornost materiala vodni pari, difuzija vodne pare, toplotna prehodnost, toplotna prevodnost, kontaktno-izolacijska fasada, prezračevana fasada, konstrukcijski sklopi

### **Izvleček:**

V diplomski nalogi se bomo poglobili v analizo toplotne prehodnosti in difuzije vodne pare dela stavbnega ovoja, in sicer preučili bomo različne dejavnike glede na lastnosti zunanje stene. Zahteve glede toplotne zaščite stavb se z zakonodajo vedno bolj zaostrojujejo, saj ta neposredno vpliva na porabo energije za ogrevanje in hlajenje. Človeštvo se namreč vedno bolj zaveda pomena izkoriščanja energije in negativnih posledic na okolje, ki ga želi prepustiti naslednjim rodovom čim bolj ohranjeno. Poleg tega sta tako toplotna zaščita kot tudi pojav kondenza zaradi difuzije vodne pare ključna dejavnika za zagotavljanje bivalnega ugodja uporabnikov, ki je z vsakim dnem bolj cenjeno in pogostokrat tudi izrecno zahtevano s strani investitorjev.

Analizirali bomo najbolj pogosto uporabljene konstrukcijske sklope zunanjih sten eksoskeletne gradnje v praksi in skušali zadostiti zahtevam zakonodaje. Te bomo poskusili tudi sami zaostri. Obravnavali bomo tankoslojno kontaktno-izolacijsko fasado in prezračevano fasado. Zanimal nas bo vpliv položaja toplotne izolacije na zunanji in notranji strani zunanje stene. Spreminjali bomo vhodne podatke in analizirali njihov vpliv. V analizah bomo spreminjali računsko temperaturo, notranjo relativno vlažnost prostora in prosti pretok zraka po notranji površini sten.

»Ta stran je namenoma prazna.«



## **BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION**

<b>UDC:</b>	52-334.6:624(497.4)(043.2)
<b>Author:</b>	Majda Jerman
<b>Supervisor:</b>	Assist. Prof. Roman Kunič, Ph.D.
<b>Co-supervisor:</b>	Assist. Luka Pajek, M. Sc.
<b>Title:</b>	The renovation of the thermal envelope of external walls in view of heat transfer and diffusion of water vapor
<b>Document type:</b>	Graduation Thesis – University studies
<b>Notes:</b>	51 p., 11 tab., 61 fig., 4 ann.
<b>Key words:</b>	condensation of water vapor, diffusion resistance of the material against water vapor, diffusion of water vapor, thermal transience, thermal conductivity, contact-insulated facade, ventilated facade, construction assembly

### **Abstract:**

In this thesis, we will analyse heat transfer and diffusion of water vapor as a part of the building's envelope, and examine various influences based on the outer wall's properties. The legislation continues to increase demands for thermal insulation of buildings, as this has a direct impact on energy consumption for heating and cooling. Humanity is becoming increasingly aware of the importance of energy utilization and its negative effects on the environment, which they want to leave as well preserved as possible for future generations. In addition, both thermal protection and the occurrence of condensation due to vapor diffusion, are the key factors to ensure the user's comfort of living, which is getting more and more appreciated as well as often explicitly required by investors.

Furthermore, we will examine the most commonly used structural assemblies of the outer walls of mechanical exoskeleton works in practice and try to satisfy the requirements of the legislation, which we will also try to strengthen. We will discuss the thin contact-insulating facade and the ventilated one. We are interested in the influence of the thermal insulation on both the outside and the inside of the outer walls. We will modify input data and analyze their impact. The analysis will adjust calculation temperature, indoor relative humidity of the room and the free flow of air on the inner surface of the wall.

»Ta stran je namenoma prazna.«

## ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju, doc. dr. Romanu Kuniču, ki me je razumel, da moram na diplomski nalogi zelo intenzivno delati, da mi jo bo uspelo pravočasno narediti in se vedno prilagajal mojim potrebam po mentorstvu ter to zelo strokovno in dobronamerno izvajal.

Zahvaljujem se somentorju, asist. Luki Pajku.

Posebej se zahvaljujem družini za vso podporo in svobodo med študijem ter dragemu Frideriku – brez njegove pomoči mi nebi uspelo pravočasno naštudirati zadnjih izpitov.

Moji mali punčki se opravičujem za vse ure, ki jih nisva preživeli skupaj in se ji zahvaljujem, da me je s svojim prihodom brcnila v rit in vrnila v študijske vode ter verjamem, da se ji bom za vse to tudi oddolžila.

Zahvaljujem se vsem sošolcem, s katerimi smo se med študijem ujeli in skupaj preživeli nepozabne trenutke ter si nesebično delili znanje.

Predvsem se zahvaljujem sošolki Nevi Siebenreich za skrbno izdelane in fenomenalno sistematizirane zapiske zadnjih predmetov, ki so mi prihranili ogromno časa in omogočili, da sem v študiju uživala.

Zahvaljujem se vsem prijateljem za neverjetno obštudijsko dogajanje in bivanje v Ljubljani med študijem.

Za konec bi se zahvalila Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo v Ljubljani, ki je bila zelo razumevajoča še v času aktivnega ukvarjanja s športom, v zadnjem letu pa tudi razpisala dodatne izpitne roke, brez katerih mi že teoretično nebi uspelo narediti vseh izpitov.

Nekateri študentje smo enostavno cvetke, polne adrenalina, ki znamo marsikomu popestriti dneve.

Hvala vsem, ki ste kakorkoli pripomogli, da sem priveslala do diplome, vsem pa sama želim uspešno veslanje skozi življenje.

»Ta stran je namenoma prazna.«

## **KAZALO VSEBINE**

<b>1</b>	<b>UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>ZUNANJA STENA.....</b>	<b>3</b>
2.1	Izbira eksoskeletne nosilne konstrukcije .....	4
2.2	Izbira toplotne izolacije.....	4
2.3	Predstavitev izbranih toplotnih izolacij .....	6
2.4	Položaj TI na zunanji in notranji strani konstrukcijskega sklopa .....	9
2.5	Izbira tankoslojne kontaktno izolacijske fasade .....	10
2.6	Izbira prezračevane fasade.....	11
<b>3</b>	<b>ZAKONODAJA GLEDE TOPLOTNE ZAŠČITE STAVB IN DIFUZIJE VODNE PARE</b>	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>ENODIMENZIONALNI IN DVODIMENZIONALNI IZRAČUN PREHODA TOPLOTE SKOZI KS.....</b>	<b>14</b>
<b>5</b>	<b>TOPLOTNA PREHODNOST IN DIFUZIJA VODNE PARE.....</b>	<b>15</b>
<b>6</b>	<b>DELO S SPLETNIM PROGRAMOM U-WERT OZIROMA U-VALUE .....</b>	<b>16</b>
<b>7</b>	<b>RAČUNSKI MODEL ZUNANJE STENE .....</b>	<b>21</b>
<b>8</b>	<b>OBRAVNAVANI OSNOVNI MODELI KS Z REZULTATI POTEKA TEMPERATURE IN RELATIVNE VLAŽNOSTI SKOZI DEBELINO ZUNANJE STENE .....</b>	<b>23</b>
8.1	Zunanja stena 1 (AB + lesna vlakna).....	24
8.2	Zunanja stena 2 (AB + pluta).....	25
8.3	Zunanja stena 3 (AB + kamena volna ) .....	26
8.4	Zunanja stena 4 (AB + EPS) .....	27
8.5	Zunanja stena 5 (AB + sivi EPS ).....	28
8.6	Zunanja stena 6 (opeka + lesna vlakna) .....	29
8.7	Zunanja stena 7 (opeka + pluta).....	30
8.8	Zunanja stena 8 (opeka + kamena volna) .....	31
8.9	Zunanja stena 9 (opeka + EPS) .....	32
8.10	Zunanja stena 10 (opeka + sivi EPS).....	33
8.11	Zunanja stena 11 (porobeton + lesna vlakna ) .....	34
8.12	Zunanja stena 12 (porobeton + pluta).....	35
8.13	Zunanja stena 13 (porobeton + kamena volna).....	36
8.14	Zunanja stena 14 (porobeton + EPS) .....	37
8.15	Zunanja stena 15 (porobeton + sivi EPS) .....	38
<b>9</b>	<b>REZULTATI ANALIZE KS.....</b>	<b>39</b>

<b>9.1</b>	<b>Rezultati osnovnih modelov KS z minimalnimi debelinami TI, da še ustrezajo zahtevi glede toplotne prehodnosti .....</b>	<b>39</b>
<b>9.2</b>	<b>Rezultati KS iz točke 9.1 z zunanjo računsko temperaturo -5 °C .....</b>	<b>40</b>
<b>9.3</b>	<b>Rezultati KS iz točke 9.1 s toplotno prehodnostjo 0,14 W/m<sup>2</sup>K.....</b>	<b>41</b>
<b>9.4</b>	<b>Rezultati KS iz točke 9.1 s prostim pretokom zraka .....</b>	<b>42</b>
<b>9.5</b>	<b>Rezultati KS iz točke 9.1 z relativno vlažnostjo prostora 50 % .....</b>	<b>43</b>
<b>9.6</b>	<b>TI na notranji strani na KS iz točke 9.1 .....</b>	<b>44</b>
<b>9.7</b>	<b>Vpliv parne ovire na KS iz točke 9.6 s TI na notranji strani .....</b>	<b>45</b>
<b>9.8</b>	<b>Prezračevana fasada KS iz točke 9.1 .....</b>	<b>46</b>
<b>10</b>	<b>ZAKLJUČEK .....</b>	<b>47</b>
	<b>VIRI.....</b>	<b>49</b>
	<b>SEZNAM PRILOG .....</b>	<b>51</b>

## **KAZALO TABEL**

Tabela 1: Določanje računske temperature [15].....	19
Tabela 2: Fizikalne karakteristike posameznih slojev KS [6], [7], [9], [10], [19].....	22
Tabela 3: Slovar uporabljenih besed na slikah poteka temperature in relativne vlažnosti po KS v naslednjih točkah.....	23
Tabela 4: Rezultati ustreznosti s tehnično smernico [17].....	39
Tabela 5: Primerjava rezultatov pri zunanji računski temperaturi -5°C in -13°C [17].....	40
Tabela 6: Primerjava rezultatov pri zmanjšani toplotni prehodnosti KS [17] .....	41
Tabela 7: Rezultati pri nemotenem gibanju zraka pri zadostnem odmiku pohištva od stene [17] .....	42
Tabela 8: Primerjava rezultatov pri 50% in 65% notranji relativni vlažnosti [17] .....	43
Tabela 9: Primerjava rezultatov s TI na notranji oziroma zunanji strani KS [17] .....	44
Tabela 10: Primerjava rezultatov s TI na notranji oziroma zunanji strani KS z varianto uporabe parne ovir [17].....	45
Tabela 11: Primerjava KS s tankoslojno fasado in prezračevanim fasadnim sistemom [17].	46

**KAZALO SLIK**

Slika 1: Funkcionalna shema konstrukcijskega sklopa [4] .....	3
Slika 2: Plošča iz kamene volne podjetja Sto [6] .....	6
Slika 3: Plošča iz EPS podjetja Demit [7] .....	7
Slika 4: Plošča iz EPS Neopor podjetja Demit [7].....	7
Slika 5: Plošča iz lesnih vlaken podjetja Baumit [9] .....	8
Slika 6: Plošča iz plute podjetja FassaBortolo [10] .....	9
Slika 7: Poleti zunanja obloga ščiti notranje prostore pred pregrevanjem [12] .....	11
Slika 8: Pozimi prezračevana fasada ščiti pred vremenskimi vplivi in olajša paroprepustnost [12] .....	11
Slika 9: Optimalna sestava konstrukcijskega sklopa .....	15
Slika 10: Okno za materialne karakteristike [17].....	17
Slika 11: Glavno okno kalkulatorja [17] .....	18
Slika 12: 3D-izris KS 1 (AB+lesna vlakna) [17].....	18
Slika 13: Prikaz primera poteka vlažnosti hkrati z lažnimi barvami in izolinijami ter veliko stopnjo kondenzacije na KS [17].....	20
Slika 14: Prikaz primera poteka temperature z lažnimi barvami in izolinijami ter majhno stopnjo kondenzacije na KS [17].....	20
Slika 15: Sestava zunanje stene 1 [17] .....	24
Slika 16: Temperaturni potek skozi KS1 [17].....	24
Slika 17: Potek relativne vlažnosti skozi KS1 [17] .....	24
Slika 18: Sestava zunanje stene 2 [17] .....	25
Slika 19: Temperaturni potek skozi KS2 [17].....	25
Slika 20: Potek relativne vlažnosti skozi KS2 [17] .....	25
Slika 21: Sestava zunanje stene 3 [17] .....	26
Slika 22: Temperaturni potek skozi KS3 [17].....	26
Slika 23: Potek relativne vlažnosti skozi KS3 [17] .....	26
Slika 24: Sestava zunanje stene 4 [17] .....	27
Slika 25: Temperaturni potek skozi KS4 [17].....	27
Slika 26: Potek relativne vlažnosti skozi KS4 [17] .....	27
Slika 27: Sestava zunanje stene 5 [17] .....	28
Slika 28: Temperaturni potek skozi KS5 [17].....	28
Slika 29: Potek relativne vlažnosti skozi KS5 [17] .....	28
Slika 30: Sestava zunanje stene 6 [17] .....	29
Slika 31: Temperaturni potek skozi KS6 [17].....	29
Slika 32: Potek relativne vlažnosti skozi KS6 [17] .....	29
Slika 33: Sestava zunanje stene 7 [17] .....	30
Slika 34: Temperaturni potek skozi KS7 [17].....	30
Slika 35: Potek relativne vlažnosti skozi KS7 [17] .....	30
Slika 36: Sestava zunanje stene 8 [17] .....	31
Slika 37: Temperaturni potek skozi KS8 [17].....	31



---

Slika 38: Potek relativne vlažnosti skozi KS8 [17] .....	31
Slika 39: Sestava zunanje stene 9 [17] .....	32
Slika 40: Temperaturni potek skozi KS9 [17] .....	32
Slika 41: Potek relativne vlažnosti skozi KS9 [17] .....	32
Slika 42: Sestava zunanje stene 10 [17] .....	33
Slika 43: Temperaturni potek skozi KS10 [17] .....	33
Slika 44: Potek relativne vlažnosti skozi KS10 [17] .....	33
Slika 45: Sestava zunanje stene 11 [17] .....	34
Slika 46: Temperaturni potek skozi KS11 [17] .....	34
Slika 47: Potek relativne vlažnosti skozi KS11 [17] .....	34
Slika 48: Sestava zunanje stene 12 [17] .....	35
Slika 49: Temperaturni potek skozi KS12 [17] .....	35
Slika 50: Potek relativne vlažnosti skozi KS12 [17] .....	35
Slika 51: Sestava zunanje stene 13 [17] .....	36
Slika 52: Temperaturni potek skozi KS13 [17] .....	36
Slika 53: Potek relativne vlažnosti skozi KS13 [17] .....	36
Slika 54: Sestava zunanje stene 14 [17] .....	37
Slika 55: Temperaturni potek skozi KS14 [17] .....	37
Slika 56: Potek relativne vlažnosti skozi KS14 [17] .....	37
Slika 57: Sestava zunanje stene 15 [17] .....	38
Slika 58: Temperaturni potek skozi KS15 [17] .....	38
Slika 59: Potek relativne vlažnosti skozi KS15 [17] .....	38
Slika 60: Sestava KS8 z notranjo TI in parno oviro [17] .....	45
Slika 61: Sestava KS1 s prezračevano fasado [17] .....	46

## KRATICE

$\mu$	difuzijska upornost prehodu vodne pare (/)
$\lambda$	toplotna prevodnost (W/mK)
U	toplotna prehodnost konstrukcijskega sklopa (W/m <sup>2</sup> K)
TI	toplotna izolacija
AB	armirani beton
NK	nosilna konstrukcija
KS	konstrukcijski sklop
RH	relativna vlažnost (angleško relativehumidity) (%)
EPS	ekspandirani polistiren

## 1 UVOD

Toplotne izgube stavbe so odvisne od razporeditve prostorov, kakovosti vgrajenega materiala, oblike, lokacije in orientiranosti zgradbe. Zaradi tega je treba v pogledu toplotne prehodnosti objekt vedno obravnavati kot celoto. Toplota zaradi temperaturne razlike med hladnim zunanjim in toplim notranjim zrakom prehaja skozi obodne konstrukcije stavbe v smeri nižje temperature. Večja, kot je razlika, hitrejši je prehod toplote in posledično večje so toplotne izgube. Po snovi ali iz snovi na snov se prenaša s sevanjem, konvekcijo in prevajanjem ter kombinacijo vseh treh načinov. Skozi ovoj stavbe (stene, okna in streha) torej izgublamo toploto, zato je eden izmed možnih in bolj učinkovitih ukrepov za zmanjšanje toplotnih izgub dodatna toplotna izolacija zunanjih sten. Na toplotne izgube skozi zunanje stene ima velik vpliv razmerje med volumnom stavbe in površino zunanjih sten, na kar vpliva predvsem razgibanost objekta [1].

Sami se bomo poglobili v analizo toplotne prehodnosti zunanje stene kot dela ovoja, da ugotovimo, kako se obnaša pri različnih pogojih in sestavah. V diplomski nalogi bomo ugotavljali, kako izpolniti zahteve obstoječega Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES 2010) s pomočjo zahtev iz Tehnične smernice za graditev TSG-1-004 Učinkovita raba energije (tehnična smernica).

Poleg analize prehoda toplote skozi zunanje obodne stene konstrukcije se bomo poglobili še v difuzijo vodne pare v zunanjih stenah zaradi nepravilne sestave le-teh. Karakteristike prehoda vodne pare skozi konstrukcijski sklop računamo zato, da preprečimo zmanjšanje toplotne prehodnosti in poškodb zaradi prekomernega navlaževanja. Na difuzijo imata neposreden vpliv relativna vlažnost notranjega zraka in vlažnost na notranji strani zunanje stene, ki lahko povzročata rast plesni na problematičnih mestih. Če smo uporabniki stavb izpostavljeni prekomerni vlažnosti, ima to dokazan negativen vpliv na zdravje, najbolj občutljivi so predvsem otroci, ki so naši dragulji, kar tej problematiki da dodatno težo [2], [1].

PURES 2010 določa poleg zahtev glede maksimalne toplotne prehodnosti tudi kontrolo difuzijskega navlaževanja zunanjega ovoja konstrukcij. Poskušali bomo izpolniti tudi te zahteve in ugotoviti vplive nanj [3].

Diplomska naloga je razdeljena na več delov. Najprej bodo obravnavani konstrukcijski sklopi (KS) z zunanjo toplotno izolacijo (TI) in tankoslojnim kontaktno-izolacijskim fasadnim sistemom z analizo toplotnih ter fizikalnih karakteristik glede na različne vhodne podatke. Nato bomo primerjali prej omenjene KS s KS z notranjo TI in tankoslojno kontaktno-izolacijsko fasado ter KS z zunanjo TI in prezračevano fasado. Vse primere bomo temeljito preučili.

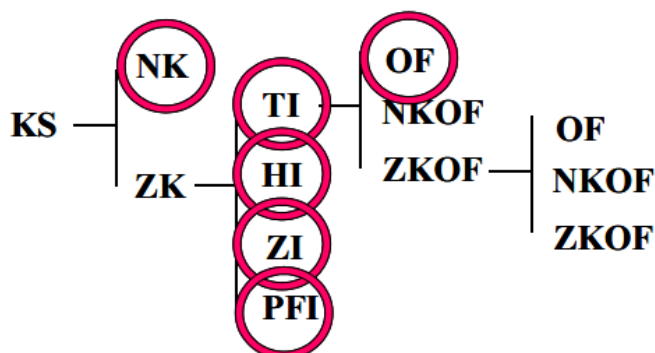
»Ta stran je namenoma prazna.«

## 2 ZUNANJA STENA

Zunanja stena je osnovni nosilni in ovojni del stavbe, s katerim ločimo notranji prostor od zunanjega. Njene najpomembnejše lastnosti so toplotna prehodnost, požarna varnost, potresna varnost, difuzijska stabilnost in zvočna izolativnost. Kot vidimo, je zunanja stena zelo pomemben del objekta, ki ga bomo zato tudi analizirali. Omejili se bomo le na toplotno prehodnost in difuzijsko stabilnost.

Zunanja stena ima vertikalni položaj v ovoju stavbe, zato spada med vertikalne konstrukcijske sklope. Obravnavali bomo zunanjo steno nad terenom, ki je v stiku z zunanjim zrakom in ji pripada največji delež ovoja stavbe. Zahteve glede sestave zunanje stene so odvisne od klimatskega pasu, regionalnih značilnosti in razmer na konkretni lokaciji. Lokacijo stene smo predpostavili v Ljubljani, kar bo imelo velik vpliv na rezultate, ki jih bomo analizirali, saj so ti odvisni od vhodnih podatkov, ki so od lokacije do lokacije različni. Vplivi vremenskih in podnebnih značilnosti namreč predstavljajo velike obremenitve za KS [4].

Zunanje stene nad terenom opravljajo vse osnovne funkcije: hidroizolacijo, toplotno izolacijo, nosilno konstrukcijo in zvočno izolacijo [4]. (Slika 1)



Slika 1: Funkcionalna shema konstrukcijskega sklopa [4]

Nosilna konstrukcija je lahko endoskeletna ali eksoskeletna ter iz različnih materialov (les, opeka, kamen, beton, jeklo, umetne mase). Mi bomo analizirali eksoskeletno konstrukcijo. Toplotna izolacija se uporabi, ko želimo manjšo izmenjavo toplote med notranjim in zunanjim okoljem. Postavimo jo zunaj, znotraj, na obeh straneh ali v jedro KS. Analizirali bomo položaj zunaj in znotraj glede na to, kar je najbolj pogosto uporabljeno v praksi. Zvočna izolacija se zagotavlja s poroznimi materiali, ki zvok absorbirajo ali z materiali z veliko gostoto, ki zvok odbijajo ali s kombinacijo obeh. Uporaba je odvisna od funkcije prostorov in zvočne obremenitve okolja, v katerem soprostor. Hidroizolacijo delamo kot zaščito pred padavinami in padavinsko vodo, ki se odbija od tal ter škropi KS. Lahko uporabimo neprepustno membrano (tankoslojni fasadni omet, keramika, pločevina, steklo) ali jo naredimo z debelino (klasični omet, fasadna opeka, kamnite obloge, lesen opaž), ne glede na to, ali gre za prezračevani ali neprezračevani KS [4].

## 2.1 Izbira eksoskeletne nosilne konstrukcije

Opeka je najpogosteje uporabljen gradbeni material, ki ga pridobivamo enostavno, čeprav moramo vložiti veliko energije v fazi proizvodnje. Enostaven je za uporabo in možno ga je reciklirati.

Beton je kompozit iz agregata, cementa in vode. Naredimo ga zelo enostavno, je zelo trajen, ima visoko tlačno trdnost, je ognjevaren in omogoča veliko svobodo oblikovanja, ker pa ni sonaraven, povzroča velik problem, ko postane odpadek. Pri izdelavi sten ga moramo armirati, da lahko opravlja nosilno funkcijo. Načini uporabe so naslednji:

- beton vlijemo neposredno v opaž,
- beton vlijemo neposredno v sistem izgubljenega opaža,
- zidaki iz lahkega betona,
- porobetonski zidaki,
- prefabricirani AB-elementi [4].

Odločili smo se za obravnavo nosilne konstrukcije (NK) stene iz modularne opeke, armiranega betona in porobetonskih zidakov, kar se v praksi tudi najbolj uporablja pri eksoskeletnih izvedbah zunanjih sten. Analize bomo izvajali na najmanjših uporabljenih debelinah izbranih materialov, saj so te merodajne. Če bodo te izpolnile predpisane zahteve, tudi z debelejšimi ne bo problema, saj ima pomembno vlogo pri toplotni prehodnosti in difuziji vodne pare tudi debelina izbranih materialov KS. Poleg tega večja debelina poveča tudi toplotno akumulacijo v bivalnih prostorih in statično stabilnost objekta. Za NK stene bodo torej uporabljene dimenzije: 14cm armirani beton (AB), 19cm opeka in 20cm porobeton.

## 2.2 Izbira toplotne izolacije

Sama nosilna konstrukcija zunanje stene prevaja več toplote, kot je dopustno, zato dodamo TI, s katero pri optimalni izvedbi zmanjšamo toplotne izgube in NK zaščitimo pred zunanjimi vremenskimi vplivi. Pozimi zadržujemo toploto v prostoru, poleti pa preprečujemo pregrevanje notranjih prostorov. Z boljšo toplotno izolacijo ovoja zgradbe se posledično samo bivalno okolje izboljša zaradi zmanjšane nihanja notranje temperature.

Na odločitve o izbiri primerne TI vpliva veliko kriterijev:

- toplotna prevodnost  $\lambda$  [W/mK] – manjša kot je, bolj je material toplotnoizolativen,
- toplotna prehodnost  $U$  [W/m<sup>2</sup>K], ki je merilo za toplotne izgube skozi element ovoja, za katero torej želimo, da je tudi čim manjša,
- tlačna trdnost,
- stisljivost,
- prepustnost za vodno paro,
- občutljivost na navlaževanje,

- požarna varnost,
- trajnost,
- vsebnost škodljivih snovi, zaradi vpliva na zdravje ljudi,
- možnost reciklaže,
- količina energije, ki je potrebna za izdelavo TI in
- nenazadnje sama cena materiala [1].

Delitev TI glede na kemijsko sestavo in strukturo:

- neorganski materiali (najbolj uporabljana TI iz mineralnih vlaken – kamena in steklena volna),
- organski materiali (najbolj pomembni so penjeni materiali: penjeni poliuretan, ekstrudirani in ekspandirani polistiren) [1].

Delitev TI glede na fizikalno-kemijske lastnosti:

- vlaknasti materiali (snovi iz živalskih, rastlinskih vlaken in umetnih mineralnih vlaken),
- porozni materiali (sintetične in naravne organske snovi ter anorganske snovi) [1].

Vedno bolj je pomembna razdelitev z vidika uporabnika na:

- »tradicionalne« (mineralna vlakna, ekspandirani polistiren, ekstrudirani polistiren, poliuretanske pene) in
- »alternativne« (celulozni kosmiči, pluta, ovčja volna, bombaž, trstika, lesna vlakna, penjeno steklo, perlit, vermikulit in ekspandirana glina) toplotnoizolacijske materiale, ki je uveljavljena v praksi [1].

Na tržišču je ogromno različnih toplotno izolacijskih materialov, zato se je težko odločiti katerega uporabiti. Namreč takega, ki bi toploto zadržal, ni, vsi materiali toploto le otežujejo prehod. Eni bolj, drugi manj uspešno. Večja, kot je toplotna prevodnost, manj uspešno se material upira prehodu toplote. Zato je eden izmed ključnih dejavnikov kakovosti in izbire toplotna prevodnost materiala. Poleg tega nas zanima ekološka neoporečnost, negorljivost in vpliv na zdravje [5].

V diplomski nalogi smo se osredotočili na toplotno prevodnost oziroma prehodnost in difuzijsko propustnost, ki narekuje notranje bivalno okolje.

### 2.3 Predstavitev izbranih toplotnih izolacij

Analiza diplomskega dela bo temeljila le na uporabi najbolj uporabljenih TI, kar nam bo dalo tudi najbolj uporabne rezultate, saj bi bila analiza vseh TI, ki jih najdemo na tržišču, preobsežna. Tako smo se odločili za poglobljeno študijo kamene volne, belega in sivega ekspaniranega polistirena, lesenih vlaken in plute.

#### ▪ Kamena volna

Proizvaja se iz diabaza in bazalta z dodajanjem koksa pri temperaturi taljenja okoli 1600°C. Z razpihavanjem nastajajo vlakna, ki jim dodajo vezivo, da jih povežejo v plošče značilne sivozelene barve. Ima številne prednosti, kot je obstojnost pri visokih temperaturah, se ne stara, ne trohni in je kemijsko nevtralna. Vendar se pojavi problem pri navlaževanju, saj ob tem toplotna prevodnost hitro narašča, čemur je treba posvetiti posebno pozornost. Slabost je tudi, da se pri proizvodnji porabi veliko energije in da je razgradljivost materiala slaba. Zaradi njenih drobnih vlaken je lahko tudi kancerogena. Kamena volna je široko uporaben in cenovno ugoden material [1].

Uvršča se med najboljše toplotne izolatorje z  $\lambda$  med 0,03 in 0,045 W/mK [1]. Za kontaktno izolacijsko fasado obravnavano v diplomskem delu s TI iz kamene volne smo uporabili fasadni sistem podjetja Sto (StoThermMineral) s TI toplotne prevodnosti  $\lambda = 0,036$  W/mK [6]. (Slika 2)



Slika 2: Plošča iz kamene volne podjetja Sto [6]

#### ▪ EPS (plošče iz ekspaniranega polistirena)

Ekspandirane granule polistirena povezujejo v bloke ob prisotnosti nasičene pare pri 110–120°C. Material mora pred uporabo odležati, saj je sveže izdelan dimenzijsko nestabilen. Z dodatki mu večajo požarno odpornost. Pravilno vgrajen je nestrupen in obstojen material, ni pa odporen proti visokim temperaturam in UV-sevanju. Slabost je ta, da se pri proizvodnji porabi veliko energije, prednost pa je nizka cena [1].



Toplotno prevodnost ima med 0,035 in 0,04 W/mK [1]. Za kontaktno izolacijsko fasado obravnavano v diplomskem delu s TI iz EPS smo uporabili fasadni sistem podjetja Demit (Demit original) s TI toplotne prevodnosti  $\lambda = 0,039$  W/mK [7]. (Slika 3)



**Slika 3: Plošča iz EPS podjetja Demit [7]**

- **EPS Neopor (plošče srebrno sive barve)**

Srebrno sive izolacijske plošče so novost med izolacijskimi materiali. Narejene so iz surovine Neopor, dodana pa so ji zrna grafita, ki odbijajo svetlobo podobno kot ogledalo. Na tak način se izolativnost plošč poveča tudi do 20%, potrebna debelina TI pa se zmanjša, kar izkoristimo povsod, kjer smo omejeni s prostorom [7].

Toplotno prevodnost ima 0,031 W/mK ali 0,032 W/mK. Za kontaktno izolacijsko fasado obravnavano v diplomskem delu s TI iz EPS Neopor smo uporabili fasadni sistem podjetja Demit (Demit Line 4Q) s TI toplotne prevodnosti  $\lambda = 0,032$  W/mK [7]. (Slika 4)



**Slika 4: Plošča iz EPS Neopor podjetja Demit [7]**

### ▪ Lesna vlakna

Lesna vlakna so ekološka toplotna izolacija iz obnovljivega vira, koži in naravi prijazna, ki so vedno bolj popularna. S predelavo lesnih ostankov in dodajanjem mineralnih veziv z mehanskim stiskanjem in sušenjem nastanejo toplotnoizolacijske plošče z visoko trdnostjo ter dobro požarno odpornostjo. Lahko jih ometavamo, odprta so za difuzijo, so dobra zaščita pred hrupom, imajo visoko toplotno kapaciteto, vendar nekoliko višjo toplotno prevodnost. Velikokrat jih uporabljamo skupaj z nasutimi izolacijskimi materiali. Običajno so cenovno ugodna in omogočajo hitro in enostavno montažo. Ustvarjajo ugodno bivalno klimo. Primerna so za recikliranje [1], [8].

Za kontaktno izolacijsko fasado obravnavano v diplomskem delu s TI iz lesnih vlaken smo uporabili fasadni sistem podjetja Baumit (Nature) s TI toplotne prevodnosti  $\lambda = 0,045 \text{ W/mK}$  [9]. (Slika 5)



**Slika 5: Plošča iz lesnih vlaken podjetja Baumit [9]**

### ▪ Pluta

Pluta se uporablja že dolgo. Njena prednost je, da je naravni material, ni dovzetna na trohnenje in gnilobo ter da ima nizko toplotno prevodnost. Ima majhno težo, je elastična, dosega odlično izolacijo zvoka, je ognjevarna, insekti, glive, bakterije in črvi je ne marajo. Slabost je oblikovna nestabilnost in dolga transportna pot, saj jo uvažajo iz obmorskih krajev Španije, Francije, Italije, Portugalske in Afrike. Plantaže hrasta plutovca so ogromne, saj njegovo skorjo luščijo komaj na vsakih 10 let, vmes pa drevesa v miru rastejo dalje, da se skorja obnovi. Odrezano skorjo namočijo v vrelo vodo, da se nepotrebne snovi izločijo, nato jo posušijo in že je pripravljena za nadaljnjo uporabo ali predelavo na primer v plošče. Možno jo je pridobivati tudi iz recikliranih plutovinastih zamaškov. Montaža je razmeroma enostavna. Njena cena variira glede na njeno kakovost, ki se boljša s starostjo drevesa vse tja do 200 let [5].

Za kontaktno izolacijsko fasado obravnavano v diplomskem delu s TI iz lesnih vlaken smo uporabili fasadni sistem podjetja FassaBortolo (Fassatherm Eco) s TI toplotne prevodnosti  $\lambda = 0,040 \text{ W/mK}$  [10]. (Slika 6)



**Slika 6: Plošča iz plute podjetja FassaBortolo [10]**

#### **2.4 Položaj TI na zunanji in notranji strani konstrukcijskega sklopa**

Vedno, ko je to mogoče, vgradimo TI na zunanjo stran zunanje stene, da nas ščiti pred hrupom, zunanjim mrazom in vročino. Pozimi, ko vodna para prehaja skozi stene in pride do točke zmrzišča, ki je v KS z zunanjo TI premaknjena v plast izolacije, je s tem preprečeno propadanje materiala NK. Tako izolirane stene zagotavljajo visoko toplotno stabilnost, saj absorbirajo hlad poletnega hlajenja ali toploto zimskega ogrevanja in s tem pomagajo vzdrževati čimbolj enakomerno temperaturo prostora. Če je izvedba pravilna, reši tudi vse toplotne mostove. Prav tako je razpok v zidu zaradi nihanja temperature manj kot pri notranji TI [1], [11].

Notranjo TI zunanjih sten delamo le izjemoma na že obstoječih objektih, ko TI ni mogoče ali je ne smemo (kulturna dediščina) vgraditi na zunanjo stran in v prostorih, ki se le enkrat toliko ogrevajo. Izolirati moramo tako samo zunanjo steno kot tudi strop, ploščo in predelne stene. Pri teh se držimo pravila »pol metra čez«, s katerim se vpliv toplotnega mostu na zunanji steni izniči. Ne smemo pozabiti niti na ustrezno izolacijo obokenskega prostora. Da se izognemo toplotnim mostovom, je treba torej obnovo opraviti v celoti. V odvisnosti od tipa TI je po potrebi treba dodati še parno oviro ali zaporo na notranjo stran TI in jo zaščititi s finalno oblogo. Tako izolirana stena ne more akumulirati toplote, čim izključimo gretje, se zidovi zelo hitro ohladijo in posledično ne morejo zagotavljati toplotne stabilnosti v stavbi, zmanjša se površina prostora, potrebne so nove inštalacije ter nov omet. Pri takšni izvedbi pride zaradi velikih sprememb zunanjih temperatur do sprememb v napetosti materiala in posledično do razpok [1], [11].

Ko se torej odločamo glede položaja TI, moramo situacijo dobro premisliti in preveriti s stališča gradbene fizike (prehod vlage). V diplomskem delu bomo analizirali primere z zunanjo in notranjo TI sestavov zunanje stene.

## **2.5 Izbira tankoslojne kontaktno izolacijske fasade**

Izbira fasadnega sistema je odvisna predvsem od vrste gradnje, ali gre za masivno ali montažno gradnjo. Ločimo tankoslojne in debeloslojne fasadne sisteme. Kontaktno-izolacijske so, ker se vsi sloji fasade tikajo eden drugega.

Pri tankoslojnih kontaktnih fasadnih sistemih je TI prilepljena s posebnimi lepili in po potrebi še dodatno pritrjena na zid. Izolacijske plošče se nato armirajo s tankoslojnim armirnim ometom debeline od 3mm do maksimalno 10mm z vtisnjeno armaturno stekleno mrežico. Za zaključek se uporabi dekorativni tankoslojni omet debeline vsaj 1,5mm. Uporabni so tako pri novogradnjah kot tudi pri renovacijah.

Pri kontaktnih debeloslojnih fasadnih sistemih je TI prilepljena in pritrjena s sidri, preko katerih se napne jeklena pocinkana mrežica. Da ostane na sredini ometa, naredimo osnovni cementni omet in zaključimo s fasadnim ometom. Uporabni so predvsem pri novogradnjah [1].

Pomembna je izbira paroprepustnega fasadnega sistema, ki zagotavlja zdravo bivalno okolje, poleg tega se v primeru novogradnje KS lahko izsušujejo še po dokončani gradnji. Ključno je, da so vsi sloji sistema prilagojeni končni paroprepustnosti sistema, zato je pomembno, da so fasadni sistemi zasnovani tako, da omogočajo pravilno difuzijo vodne pare [1].

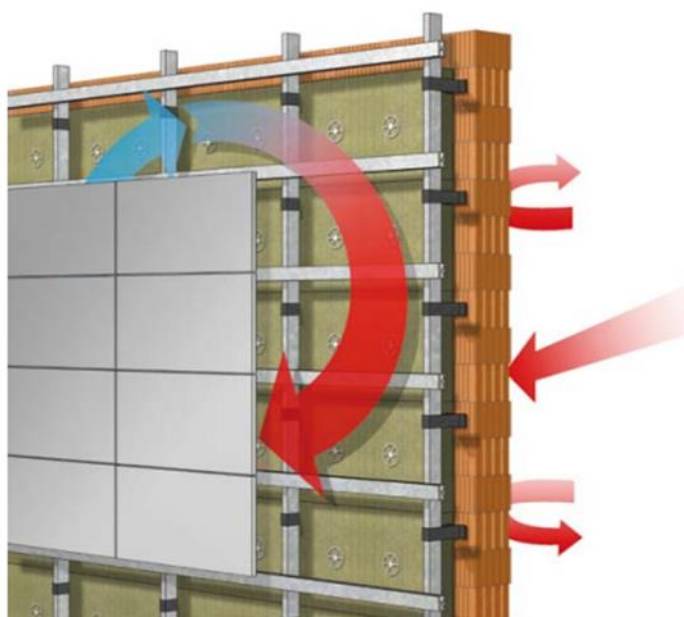
Odločili smo se za analizo tankoslojne kontaktno-izolacijske fasade, ki je vesplošno in najpogosteje uporabljana v vsakdanji praksi. Poleg tega zavzame manjšo površino, kar se pozna na končnem tlorisu objekta in s finančnega vidika je izvedba najcenejša.

## 2.6 Izbira prezračevane fasade

Poleg najpogostejših tankoslojnih kontaktno-izolacijskih fasad se vedno bolj uveljavljajo tudi prezračevane fasade. Moderni so raznorazni dekorativni zaključni sloji (jeklo, les, kamen, steklo, umetna masa), ki so močno pritrjeni na podkonstrukcijo, da jih veter ne odnese.



Slika 7: Poleti zunanja obloga ščiti notranje prostore pred pregrevanjem [12]



Slika 8: Pozimi prezračevana fasada ščiti pred vremenskimi vplivi in olajša paroprepustnost [12]

Prezračevana zračna plast KS je pomembna, ker omogoča učinkovito odvajanje vlage iz KS brez dodatnih ovir, kar je ključno za zagotavljanje kakovostnega bivalnega okolja. Izvedemo jo s prostim dostopom zraka spodaj in prostim izhodom zraka zgoraj. Poleg tega deluje tudi kot protihrupna zaščita, kar se lahko izkoristi na s hrupom obremenjenimi lokacijami oziroma pri nezaželenem širjenju hrupa iz stavbe v okolje. Zaželeno je, da je iz praktičnega vidika (debelina podkonstrukcije) prezračevani sloj širine vsaj 5cm [13].

Zaključni sloj prezračevane fasade ima poleti funkcijo zaščite stavbe pred pregrevanjem zaradi sončnega sevanja, kot prikazuje Slika 7, saj zračna plast prepreči neposreden stik z notranjim ovojem zgradbe. Pozimi pa prezračevana fasada ščiti objekt pred vremenskimi vplivi in zaradi zračne plasti olajša paroprepustnost KS, kot je to prikazano na Sliki 8 [12].

Kljub temu da je približno 10% dražja od kontaktne fasade, se investicija hitro izplača, saj je energijski prihranek večji in zaradi dolge pričakovane življenjske dobe investitorju fasade ni treba prenavljati [13].

Za TI se uporabljajo le taki materiali, ki so paroprepustni in vodoodbojni, saj je TI pogosto izpostavljena vremenskim vplivom. Običajno se uporabljajo mineralna vlakna.

Na TI se običajno doda še vetrna ovira, ki ščiti TI pred dežjem in močnemu vetru preprečuje vdor v TI in s tem poslabšanje toplotne izolativnosti [13].

### **3 ZAKONODAJA GLEDE TOPLOTNE ZAŠČITE STAVB IN DIFUZIJE VODNE PARE**

Diplomsko delo bo temeljilo na zahtevah iz naslednjih pravilnikov:

- **Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES 2010)**

To je pravilnik, ki ga je ministrstvo za okolje in prostor izdalo leta 2010 ter določa tehnične zahteve za zagotavljanje učinkovite rabe energije v stavbah, med drugim tudi na področju toplotne zaščite zgradb. Pravilnik obvezno zahteva uporabo Tehnične smernice za graditev TSG-1-004 Učinkovita raba energije. Z 9.členom podaja zahteve glede toplotne zaščite stavbe. Bistveno je zmanjšanje prehoda toplote skozi posamezne KS, omejiti podhlajevanje in pregrevanje objekta, ustrezna sestava KS v pogledu difuzije vodne pare in zrakotesnost stavbe [3].

- **Tehnična smernica TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije**

Tehnična smernica je obsežen dokument, ki določa natančnejše rešitve za doseganje zahtev iz PURES 2010. Na področju toplotne zaščite določa dopustno toplotno prehodnost posameznih KS. Na področju difuzije vodne pare zahteva ustrezne KS, da ne pride do poškodb zaradi difuzijskega prehoda.

V točki 2.3 določa način izbire ustreznih materialov, v točki 3 pa zagotavljanje toplotne zaščite. Za nas najbolj pomembne točke 3.1.1 o dopustnih vrednostih toplotne prehodnosti in točke 3.3 glede prehoda vodne pare ter točke 10 o snovnih podatkih [14].

- **Pravilnik o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah: 2002**

Pravilnik ne velja več z uveljavitvijo PURES 2010, vendar razlaga določene pojme, ki v novi zakonodaji niso zajeti.

V 17.členu določa izračun največje dovoljene masne vlažnosti za posamezen material KS.

V 19.členu določa skupno računsko število dni difuzijskega navlaževanja in izsuševanja za neklimatizirane stavbe.

V 20.členu določa vrednost računске temperature glede na projektne temperature lokacije [15].

#### **4 ENODIMENZIONALNI IN DVODIMENZIONALNI IZRAČUN PREHODA TOPLOTE SKOZI KS**

Toplota prehaja skozi material. Res je, da prehaja v glavnem v smeri zunaj/noter zaradi temperaturnih gradientov, ki so posledica različnih temperatur, vendar toplota prehaja tudi vzdolž konstrukcije.

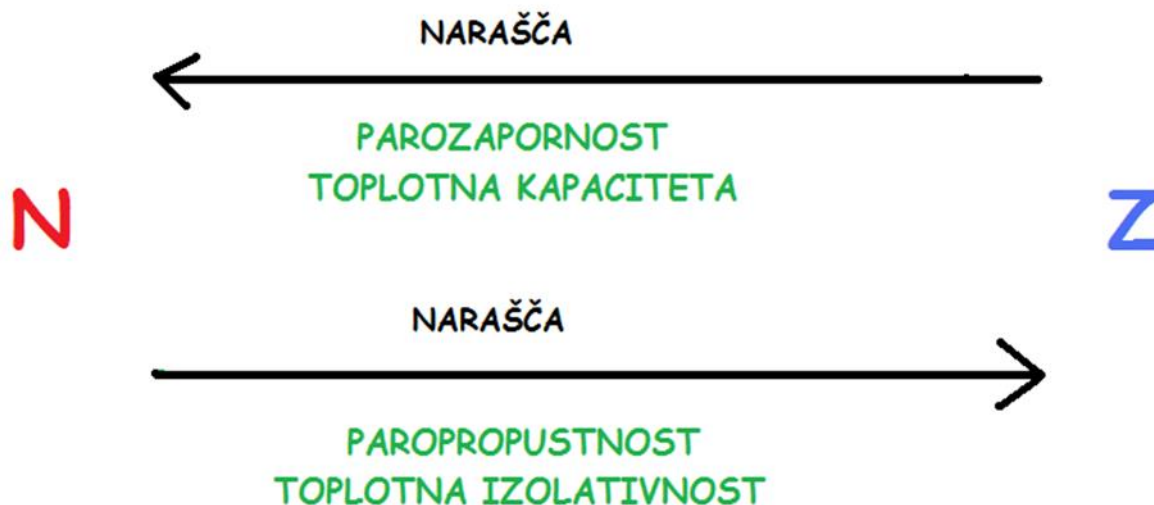
Prehod toplote skozi stavbni ovoj je možno izračunati z enodimenzionalno ali dvodimenzionalno metodo. Zakonodaja predpisuje v glavnem enodimenzionalen izračun [16].

Primerjava pokaže, da je pri eksoskeletni gradnji U faktor nekoliko večji pri izračunu po natančnejši dvodimenzionalni metodi, vendar je razlika med rezultati obeh metod zanemarljiva glede na težavnost dvodimenzionalnega izračuna. Drugače je pri endoskeletni gradnji. Zaradi nehomogenosti KS pride do velikih razlik med metodama, saj enodimenzionalna metoda zanemari vpliv nehomogenosti KS in toplotnih mostov. Tako dobimo lažni U faktor za izbrani KS, ki je boljši od dejanskega, kar proizvajalci s pridom izkoriščajo [16].

Tudi glede na opisano smo se odločili za analizo eksoskeletne gradnje, ki nam torej z uporabljenim programom U-wert, ki računa toplotno prehodnost z enodimenzionalno metodo, poda dokaj zanesljive rezultate.



## 5 TOPLOTNA PREHODNOST IN DIFUZIJA VODNE PARE



**Slika 9: Optimalna sestava konstrukcijskega sklopa**

KS bi bil optimalno sestavljen, če bi veljale zakonitosti na Sliki 9. Pri takem KS, kjer paropropustnost narašča iz notranje proti zunanji strani, ne more priti do težav z difuzijo vodne pare, ker ta enakomerno prehaja skozi plasti in nikjer ne more priti do 100% zasičenja, kar povzroči kondenz v neki točki ali območju. Za parozapornost materialov velja seveda ravno obratno. Plasti vedno sestavljamo tako, da je najmanj parozadrževalna plast zunaj.

Za ugodno bivalno klimo in počutje uporabnikov je pomembna toplotna kapaciteta KS, da prihaja do čim manjših nihanj temperature v prostoru. To veliko lažje zagotovimo, če so na notranji strani KS materiali z visoko toplotno kapaciteto, ki absorbirajo toploto prostora in to nato vzdržujejo.

Obratno je s toplotno izolativnostjo. Optimalno je, da je na zunanji strani najbolj toplotno izolativen material, ki zagotavlja čim manjši vpliv zunanje temperature, ki običajno zelo niha, na KS in posledično na notranjo bivalno temperaturo. Toplotno izolativen material na zunanji strani preprečuje, da bi se KS prekomerno segrel ali ohladil in s tem zagotavlja boljšo toplotno kapaciteto KS ter s tem ugodno bivalno klimo notranjega prostora.

Vendar izpolniti vse te zahteve v realnosti še zdaleč ni enostavno. Med diplomskim delom smo analizirali, kakšen medsebojni vpliv imajo izbrani sloji KS.

## 6 DELO S SPLETNIM PROGRAMOM U-WERT OZIROMA U-VALUE

Program si je zamislil in sprogramiral doktor fizike Ralf Plag iz Nemčije, ki je obenem strastni programer. Ko sta z ženo leta 2004 kupila hišo, potrebno prenove, se je ob vpletenosti v obnovo navdušil nad gradbeno fiziko. Tako je leta 2009 naredil zasebno nemško spletno stran, leta 2011 pa še angleško verzijo [17].

Spletni program je na spletnem naslovu u-wert.net. Za uporabo se je treba le prijaviti, če je uporabnik pravna oseba in želi imeti dodatne opcije, je program plačljiv, za študente z dokazilom o šolanju pa uredijo brezplačen dostop do dodatnih opcij.

U-wert vsebuje grafični in tabelarični kalkulator za toplotno prehodnost U, kalkulator za prezračevanje ter kalkulator za potrebe po toploti, ki je še beta verzija. V diplomskem delu smo uporabili grafični kalkulator za izračun toplotne prehodnosti in difuzije vodne pare. Izračune dela po nemških standardih DIN 6946, DIN 4108-3, DIN 68800-2 in nemškem odloku varčevanja z energijo EnEVBestand [17].

Delali smo z angleško verzijo, ki je le deloma prevedena, ostalo je v nemščini. Kljub neznanju nemškega jezika se ga z malo potrpljenja s prevajanjem razmeroma hitro obvlada.

Kalkulator omogoča izbiro že definiranih materialov. Ker je program zasnovan v tujem jeziku, in smo za lažjo berljivost in razumevanje želeli sestavo KS v slovenščini, smo potrebne materiale definirali sami. Slika 10 prikazuje okno, v katerem smo definirali fizikalne karakteristike posameznega materiala. Definirali smo toplotno prevodnost ( $\lambda$ ), difuzijsko upornost pri prehodu vodne pare ( $\mu$ ), gostoto ( $\rho$ ), specifično toploto ( $c$ ), debelino materiala ter izbrali vzorec šrafiranja za vsak posamezni material.

Za toplotno prevodnost oziroma toplotno izolativnost materiala velja, da manjša kot je vrednost  $\lambda$ , večja je izolativnost, kar pomeni manjšo potrebno debelino materiala. Program zahteva definiranje minimalne ter maksimalne vrednosti difuzijske upornosti, in ker smo podali le minimalno vrednost, jo program avtomatsko podvoji. Program namreč privzame vrednost, ki mu da najbolj neugoden rezultat. Če oba, minimum in maksimum, nista definirana, bi lahko kalkulator privzel vrednost 0 in nam dal napačne rezultate. Omenimo še to, da je v programskih nastavitvah na voljo le sedem različnih vzorcev šrafiranja, zato se v nadaljevanju vzorci za različne materiale ponavljajo.

The screenshot shows a software window titled "Privaten Baustoff bearbeiten" with a close button (X) in the top right corner. The window is divided into several sections:

- Name:** A text input field.
- Typ:** A dropdown menu currently showing "Please select".
- Thickness:** A text input field followed by "mm".
- Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$ :** A text input field with "0" and a dropdown menu with "W/mk".
- Vapour diffusion resistance  $\mu$ :** A text input field with "0/0" and a dropdown menu with "(min/max)".
- Rohdichte  $\rho$ :** A text input field with "0" and a dropdown menu with "kg/m<sup>3</sup>".
- Heat capacity c:** A text input field with "0" and a dropdown menu with "J/(kg·K)".
- Description:** A rich text editor with a toolbar containing bold (B), italic (I), underline (U), a template dropdown (Vorlage), bulleted list, numbered list, quote, link, unlink, image, zoom in (x<sub>2</sub>), zoom out (x<sub>1</sub>), and a help icon (Ω).
- Pfad:** A text input field at the bottom left.

On the right side of the window, there is a "Name" section with the following text:

Geben Sie hier den Namen des Baustoffs ein (mindestens drei Zeichen). Stellen Sie zuvor sicher, dass dieser Baustoff noch nicht angelegt wurde (Baustoff-Suche verwenden).

Im Moment sind 18 von 100 Speicherplätzen für private Baustoffe belegt.

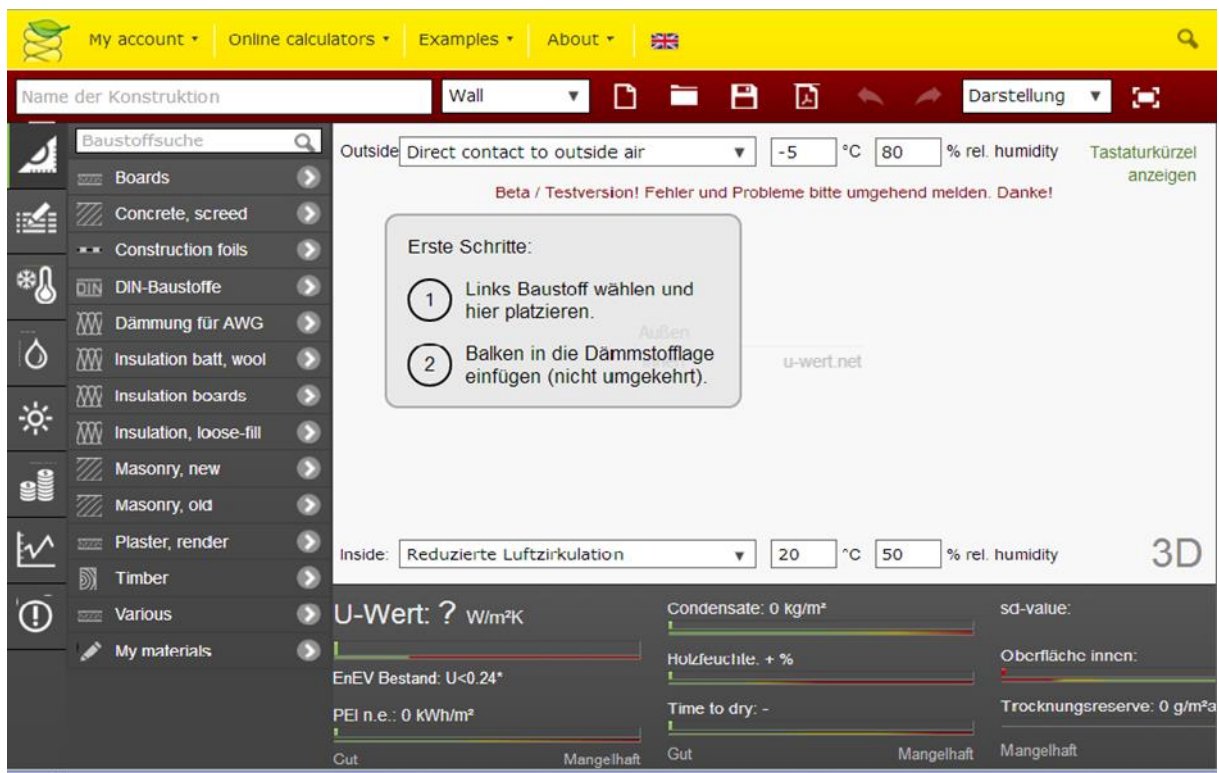
The fields labeled in **bold** letters are mandatory.

At the bottom of the window, there are three buttons: "Speichern", "Löschen", and "Cancel".

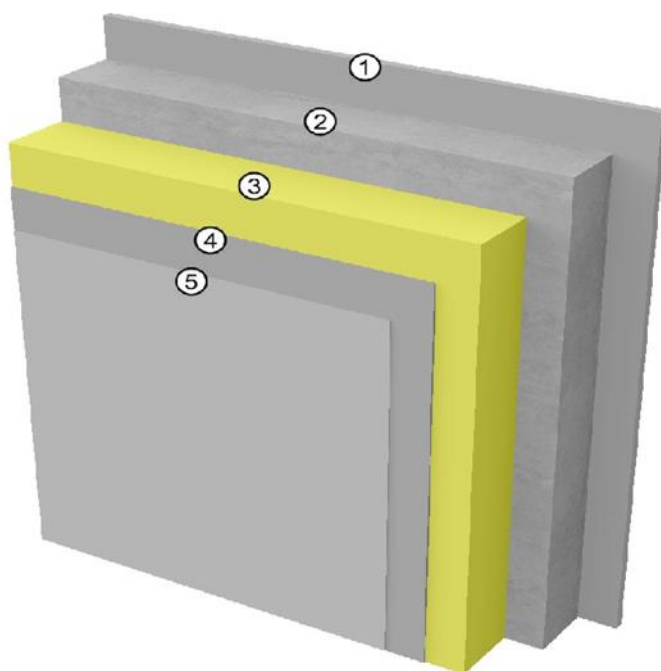
Slika 10: Okno za materialne karakteristike [17]

Na Sliki 11 je osnovno okno kalkulatorja. Zahtevani so naslednji vhodni podatki:

- ime KS,
- izbira vrste KS (stena, streha, ravna streha...),
- izbira zunanje situacije (neposredenstik z zunanjim zrakom, neogrevan prostor, tla ...),
- zunanja projektna temperatura,
- zunanja relativna vlažnost,
- izbira prostega ali zmanjšane pretoka zraka v prostoru,
- notranja projektna temperatura,
- notranja relativna vlažnost,
- v beta verziji kalkulatorja je tudi opcija 3D-pogleda narisane KS za lažjo predstavo uporabnika o tem, kaj sploh je ustvaril. Na Sliki 12 je primer 3D-izrisa KS 1.



Slika 11: Glavno okno kalkulatorja [17]



Slika 12: 3D-izris KS 1 (AB+lesna vlakna) [17]

**Vrsta KS** je pomembna, da program pravilno privzame vrednosti notranje površinske upornosti ( $R_{si}$ ) in zunanje površinske upornosti ( $R_{se}$ ). Ker se ukvarjamo z zunanjo steno, je program privzel vrednosti  $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$  in  $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ , kar se ujema s podatki, s katerimi smo bili seznanjeni pri predmetu Stavbarstvo [4], [17].

Na podlagi vrste KS program izračuna tudi čas izsuševanja KS zaradi nabranega kondenza v obdobju difuzijskega navlaževanja in smiselno obrne notranjo oziroma zunanjo stran KS. Na primer pri steni program privzame, da je zgornja stran izrisanega KS zunaj, pri tleh pa je zunanja stran spodaj [17].

Poleg tega je vrsta KS skupaj z izbiro zunanje situacije ključna za določanje mejne toplotne prehodnosti (U) posameznega KS. U-wert določi U na podlagi nemškega odloka varčevanja z energijo EnEVBestand. Mi smo izbrali mejno vrednost toplotne prehodnosti  $U_{max}$  iz tehnične smernice za graditev, ki za zunanjo steno z neposrednim stikom z zunanjim zrakom znaša  $U_{max} = 0,28W/m^2K$  [14].

**Izbira zunanje situacije** je pomembna za račun difuzije vodne pare. Za KS, ki se neposredno dotikajo terena, se difuzije vodne pare namreč ne računa [14].

Poleg tega je izbira zunanje situacije skupaj z izbiro vrste KS ključna za določanje mejne toplotne prehodnosti (U) posameznega KS, kot smo opisali v zgornjem odstavku.

**Zunanjo računsko temperaturo** določimo na podlagi zunanje projektne temperature iz klimatskih pogojev na spletni strani arso.gov.si, kamor vnesemo geografske koordinate in dobimo vrednost zunanje projektne temperature [14]. Sicer lahko zunanjo projektno temperaturo približno odčitamo iz Karte 1 Priloge 2 pravilnika o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, ki je v Prilogi A [15]. Ko poznamo zunanjo projektno temperaturo, določimo zunanjo računsko temperaturo glede na Tabelo 1.

**Tabela 1: Določanje računske temperature [15]**

Računska temperatura (°C)	Projektna temperatura (°C)
-5	nad -8,5
-5	med -8,5 in -14,5
-10	pod -14,5

**Za zunanjo relativno vlažnost** zraka se pri izračunu difuzije vodne pare vzame 90% [15].

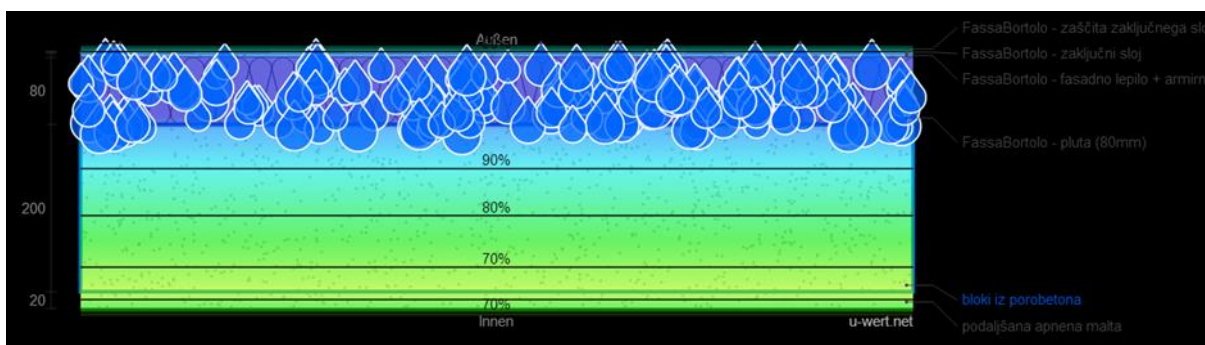
**Notranja projektna temperatura** je določena glede na zahtevo tehnične smernice, ki za izračun prehoda vodne pare zahteva notranjo temperaturo zraka 20°C [14].

**Notranja relativna vlažnost** je prav tako določena glede na zahtevo tehnične smernice, ki pri izračunu prehoda vodne pare zahteva notranjo relativno vlažnost 65% [14].

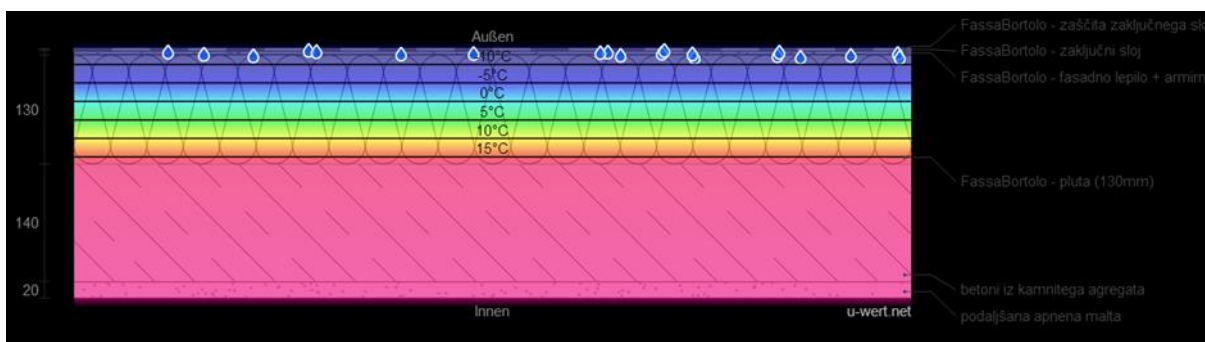
Po vnosu vseh potrebnih vhodnih podatkov lahko začnemo sestavljati naše KS. Najprej izberemo in v pravem vrstnem redu glede na notranjo oziroma zunanjo stran KS zložimo vse materiale razen TI, kot zadnjega vstavimo še material, ki opravlja funkcijo TI. Dobimo KS, kot je prikazan v Prilogi B.

Tako dobimo rezultate, ki jih lahko izvozimo v pdf-ju. Vsak rezultat je na štirih straneh lista A4, kjer so poleg računa toplotne prehodnosti in difuzije vodne pare še rezultati toplotne stabilnosti s temperturnim dušenjem in faznim zamikom.

Le s kopiranjem slike ekrana ali same slike v programu lahko dobimo potek temperature ali vlažnosti, izrisan z lažnimi barvami ali izolinijami, kot je prikazano na Slikah 13 in 14.



**Slika 13: Prikaz primera poteka vlažnosti hkrati z lažnimi barvami in izolinijami ter veliko stopnjo kondenzacije na KS [17]**



**Slika 14: Prikaz primera poteka temperature z lažnimi barvami in izolinijami ter majhno stopnjo kondenzacije na KS [17]**

Kot vidimo je U-wert enostavno, zanimivo in praktično orodje za analizo problematike toplotne prehodnosti in difuzije vodne pare. Uporabniku ostane le še analiza pridobljenih rezultatov in uporaba teh v praksi.

## 7 RAČUNSKI MODEL ZUNANJE STENE

Za vrsto KS izberemo steno.

Izbrana zunanja situacija je neposredenstik z zunanjim zrakom, saj obravnavamo zunanje stene.

Izbrali smo obravnavo KS v Ljubljani, ker je to glavno mesto Slovenije in mesto, v katerem stoji naša fakulteta. Ko na spletni strani arso.gov.si vnesemo geografske koordinate Ljubljane, N46°03'00" in E14°30'00", dobimo vrednost zunanje projektne temperature -13°C. Ko poznamo zunanjo projektno temperaturo, določimo zunanjo računsko temperaturo -5°C glede na Tabelo 1 [18].

Vseeno smo se odločili, da bomo računali kar s projektno temperaturo, tako da bomo bolj na varni strani, poleg tega smo naredili tudi primerjavo rezultatov z računsko temperaturo.

Zunanjo relativno vlažnost vzamemo 90%, kot to določa PURES 2010 [15].

Tako se pri izračunu difuzije vodne pare skozi KS v obdobju difuzijskega navlaževanja upošteva 90% zunanja relativna vlažnost in zunanja temperatura -13°C [15], [18].

Notranja projektna temperatura je 20°C, kot to določa tehnična smernica [14].

Notranja relativna vlažnost je 65%, kot to določa tehnična smernica [14].

Za plasti, kjer je bila preračunana vrednost  $S_d$  manjša od 0,1m, je program zahteval, da se ročno vpiše vrednost 0,1m, saj je sicer izračun negotov.  $S_d$  uporabljajo proizvajalci kot vrednost enakovredne zračne plasti, predvsem za folije [1], [17].

$S_d = d \cdot \mu$  ...difuzijska upornost prehodu vodne pare (m) oziroma debelina enakovredne zračne plasti [1]

D...debelina posameznega sloja KS (m)

$\mu$ ...brezdimenzijska difuzijska upornost prehodu vodne pare (/)

V Tabeli 2 so vse povzete fizikalne karakteristike posameznih materialov glede na sestavo osnovnih konstrukcijskih sklopov. Na Sliki 9 smo prikazali, kako naj bi bil videti optimalno sestavljen KS. To bi v našem primeru pomenilo, da bi moral imeti notranji zaključni sloj največjo toplotno prevodnost in največjo difuzijsko upornost prehodu vodne pare, zunanji zaključni sloj pa najmanjše vrednosti. Vidimo lahko, da se naši osnovni modeli temu približajo le z nekaj sloji posameznega konstrukcijskega sestava zunanje stene. Tu je lepo vidno, kako težko je včasih realizirati teorijo.

**Tabela 2: Fizikalne karakteristike posameznih slojev KS [6], [7], [9], [10], [19]**

Št. KS	Tip KS	$\lambda(W/mK) / \mu(/)$				
		Notranji zaključni sloj	Nosilna konstrukcija	Toplotna izolacija	Armirni sloj	Zunanji zaključni sloj
1	AB + lesna vlakna	0,870 / 20	2,040 / 60	0,045 / 5	0,500 / 15	0,700 / 45
2	AB + pluta	0,870 / 20	2,040 / 60	0,040 / 25	0,750 / 13	0,770 / 120
3	AB + kamena volna	0,870 / 20	2,040 / 60	0,036 / 1	0,270 / 20	0,700 / 33
4	AB + EPS	0,870 / 20	2,040 / 60	0,039 / 30	0,700 / 36	0,800 / 120
5	AB + sivi EPS	0,870 / 20	2,040 / 60	0,032 / 30	0,700 / 36	0,800 / 120
6	Opeka + lesna vlakna	0,870 / 20	0,061 / 6	0,045 / 5	0,500 / 15	0,700 / 45
7	Opeka + pluta	0,870 / 20	0,061 / 6	0,040 / 25	0,750 / 13	0,770 / 120
8	Opeka + kamena volna	0,870 / 20	0,061 / 6	0,036 / 1	0,270 / 20	0,700 / 33
9	Opeka + EPS	0,870 / 20	0,061 / 6	0,039 / 30	0,700 / 36	0,800 / 120
10	Opeka + sivi EPS	0,870 / 20	0,061 / 6	0,032 / 30	0,700 / 36	0,800 / 120
11	Porobeton + lesna vlakna	0,870 / 20	0,15 / 4	0,045 / 5	0,500 / 15	0,700 / 45
12	Porobeton + pluta	0,870 / 20	0,15 / 4	0,040 / 25	0,750 / 13	0,770 / 120
13	Porobeton + kamena volna	0,870 / 20	0,15 / 4	0,036 / 1	0,270 / 20	0,700 / 33
14	Porobeton + EPS	0,870 / 20	0,15 / 4	0,039 / 30	0,700 / 36	0,800 / 120
15	Porobeton + sivi EPS	0,870 / 20	0,15 / 4	0,032 / 30	0,700 / 36	0,800 / 120



## 8 OBRAVNAVANI OSNOVNI MODELI KS Z REZULTATI POTEKA TEMPERATURE IN RELATIVNE VLAŽNOSTI SKOZI DEBELINO ZUNANJE STENE

Prvih 15 analiziranih KS je kombinacija NK(AB, opeka, porobeton) in TI zunaj(lesna vlakna, pluta, kamena volna, EPS, sivi EPS) s tankoslojno kontaktno izolacijsko fasado.

V vsakem podpoglavju predstavitve posameznega obravnavanega KS je slika s prikazom sestave po slojih. Sloji posameznih uporabljenih materialov so oštevilčeni naraščajoče od znotraj navzven. Oštevilčenje je enako tudi na naslednjih dveh slikah, sestava pa je seveda enaka opisani na prvi sliki.

Nato sledi slika temperaturnega poteka skozi obravnavani KS osnovnega računskega modela, ki ustreza zahtevam tehnične smernice v pogledu toplotne prehodnosti in difuzije vodne pare. Z modro črto je vedno označena linija rosišča. Ko se temperaturni graf dotakne cone rosišča, pomeni, da se bo tam vodna para kondenzirala.

Kot zadnja je slika poteka vlažnosti skozi obravnavani KS prav tako osnovnega računskega modela, ki ustreza zahtevam tehnične smernice v pogledu toplotne prehodnosti in difuzije vodne pare. V tem primeru je z modro črto označena linija 100% zasičenja z relativno vlago. Če se graf vlažnosti dotakne cone 100% zasičenosti, v neki točki dobimo ravnino kondenzacije. Če pa se graf in cona na nekem delu prekrivata, govorimo o coni kondenzacije. Če se graf in cona sploh ne dotakneta, sekondenz v KSne pojavi.

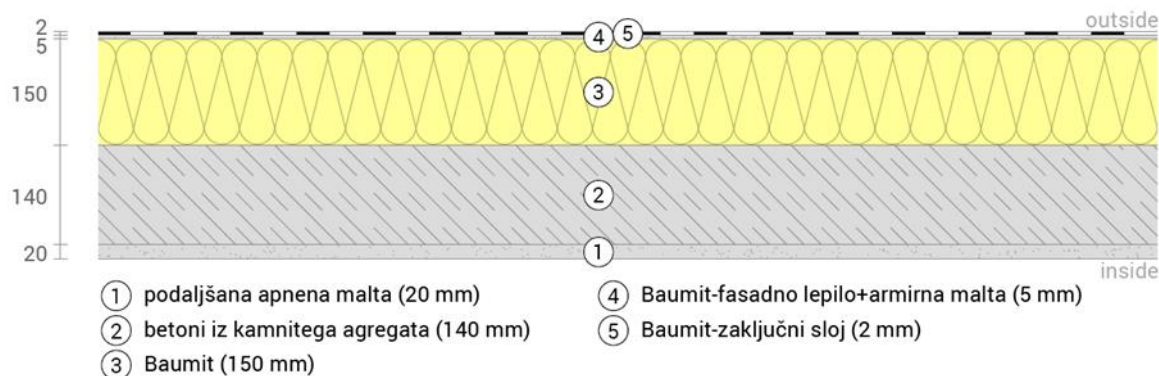
Če se na zadnjih dveh slikah pojavi pasovno območje obarvano z modro barvo in označeno s številko 1 v modrem krogcu, to pomeni, da pride na obarvanem delu do kondenzacije vodne pare in govorimo o ravnini ali coni kondenzacije, sicer kondenza v KS ni.

Za razumevanje slik na naslednjih podpoglavjih so v Tabeli 3 navedeni prevodi uporabljenih besed.

**Tabela 3: Slovar uporabljenih besed na slikah poteka temperature in relativne vlažnosti po KS v naslednjih točkah.**

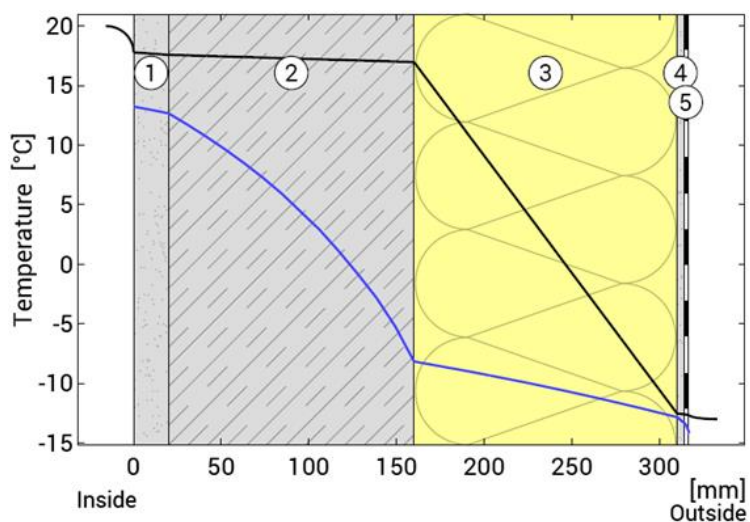
Angleški izraz	Slovenski izraz
temperature	temperatura
relativehumidity	relativna vlažnost
outside	zunaj
inside	znotraj

### 8.1 Zunanja stena 1 (AB + lesna vlakna)

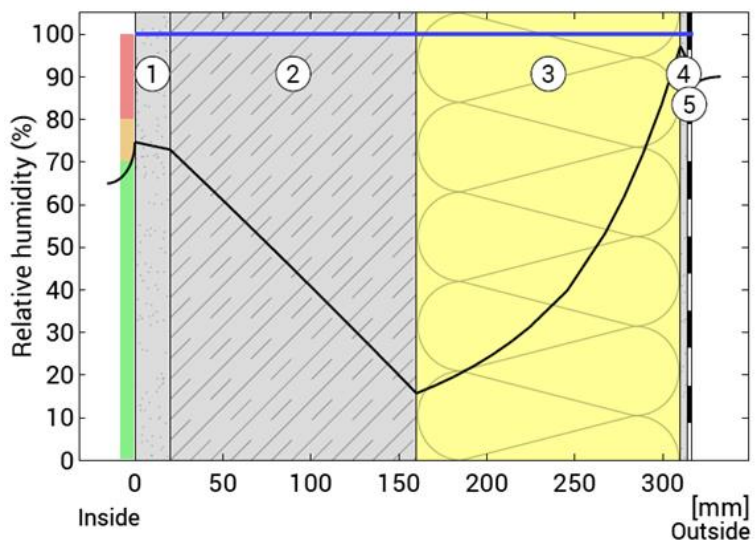


Slika 15: Sestava zunanje stene 1 [17]

Zunanja stena 1 je narejena iz NK iz AB. Na notranji strani je podaljšana apnena malta, na zunanji pa fasadni sistem podjetja Baunit. Materiali, sestava plasti in njihove fizikalne lastnosti so privzeti iz fasadnega sistema Nature [9]. (Slika 15)

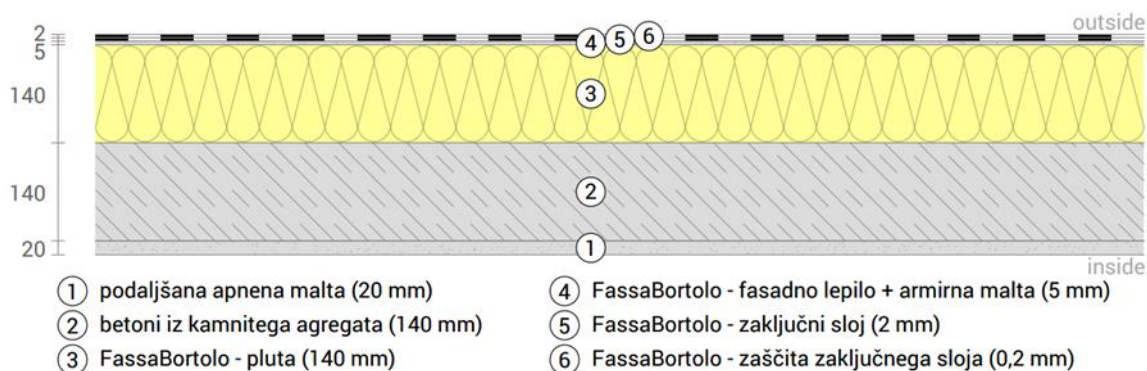


Slika 16: Temperaturni potek skozi KS1 [17]



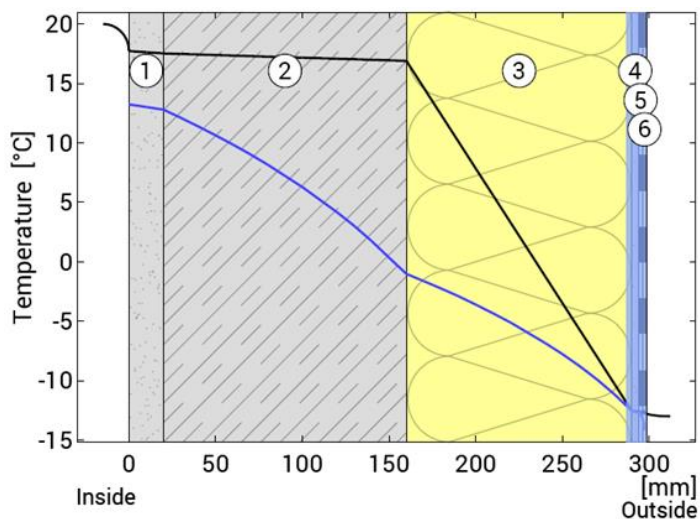
Slika 17: Potek relativne vlažnosti skozi KS1 [17]

## 8.2 Zunanja stena 2 (AB + pluta)

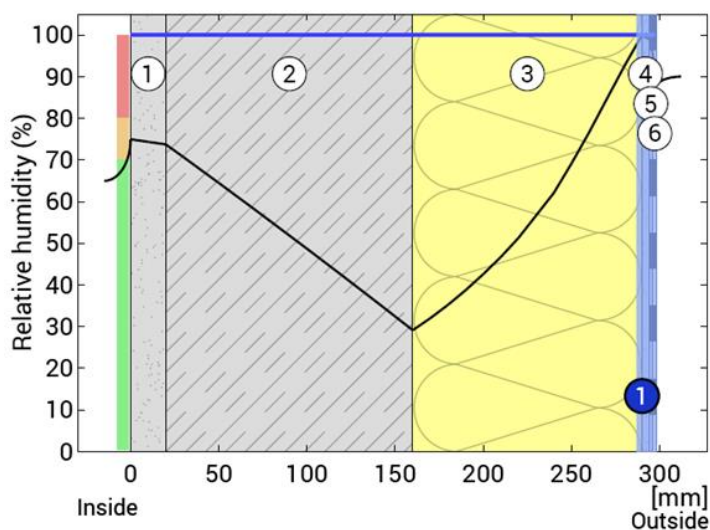


Slika 18: Sestava zunanje stene 2 [17]

Zunanja stena 2 je narejena iz NK iz AB. Na notranji strani je podaljšana apnena malta, na zunanji pa fasadni sistem podjetja FassaBortolo. Materiali, sestava plasti in njihove fizikalne lastnosti so privzeti iz fasadnega sistema Fassatherm Eco [10]. (Slika 18)

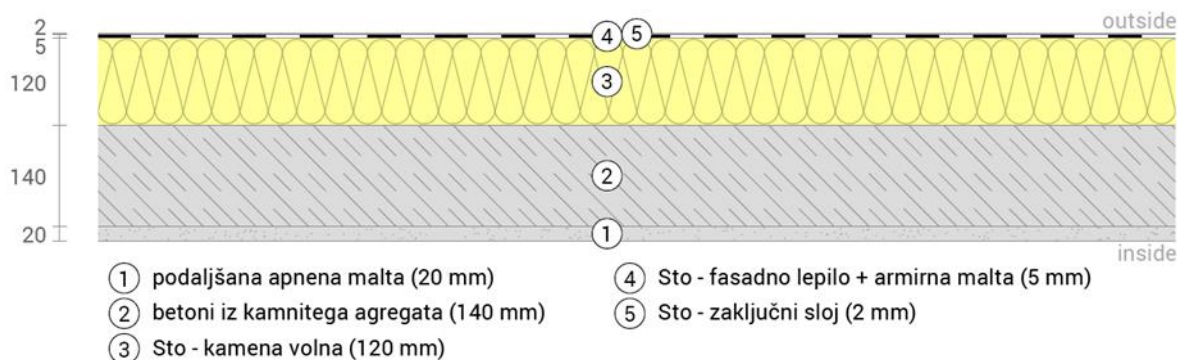


Slika 19: Temperaturni potek skozi KS2 [17]



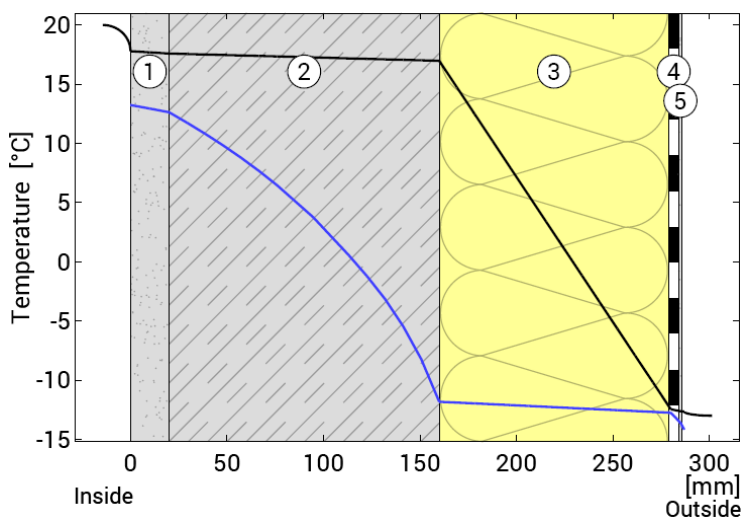
Slika 20: Potek relativne vlažnosti skozi KS2 [17]

### 8.3 Zunanja stena 3 (AB + kamena volna )

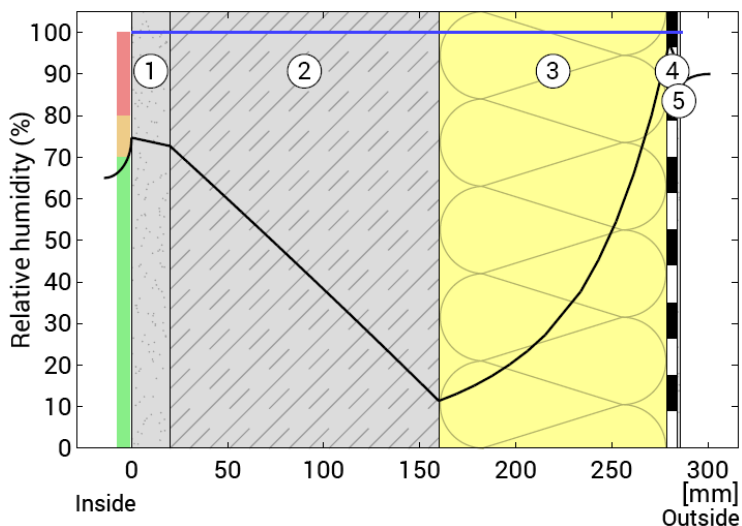


Slika 21: Sestava zunanje stene 3 [17]

Zunanja stena 3 je narejena iz NK iz AB. Na notranji strani je podaljšana apnena malta, na zunanji pa fasadni sistem podjetja Sto. Materiali, sestava plasti in njihove fizikalne lastnosti so privzeti iz fasadnega sistema Sto Therm Mineral [6]. (Slika 21)

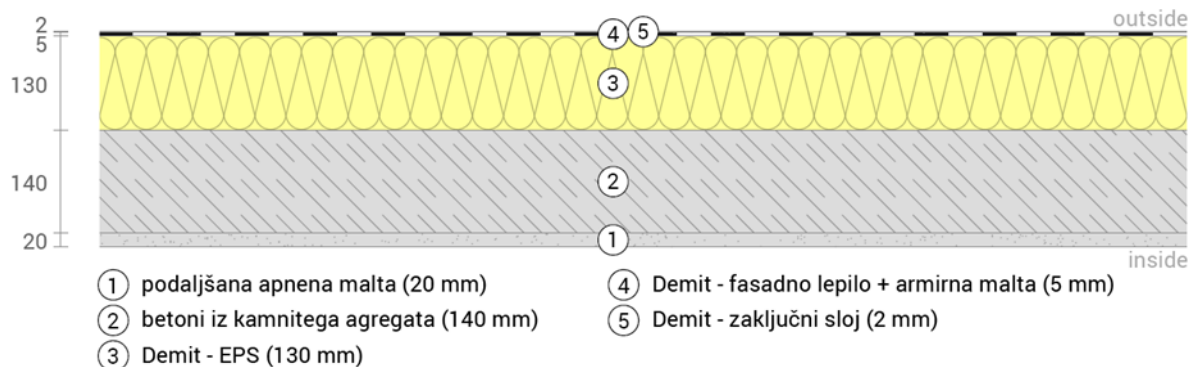


Slika 22: Temperaturni potek skozi KS3 [17]



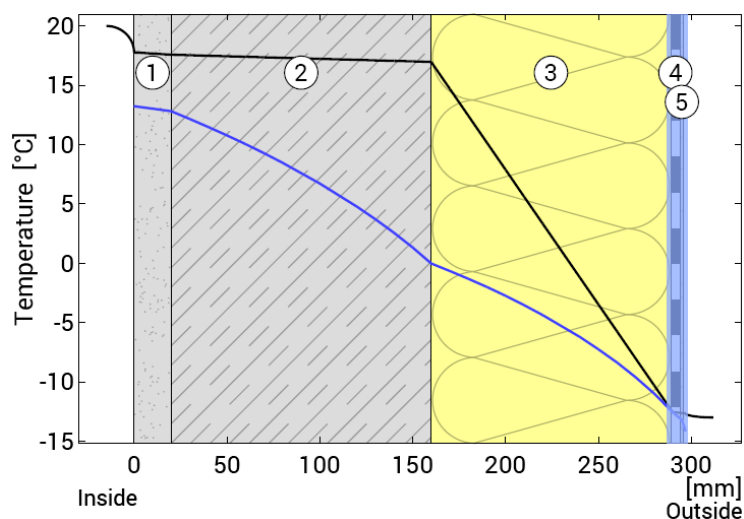
Slika 23: Potek relativne vlažnosti skozi KS3 [17]

### 8.4 Zunanja stena 4 (AB + EPS)

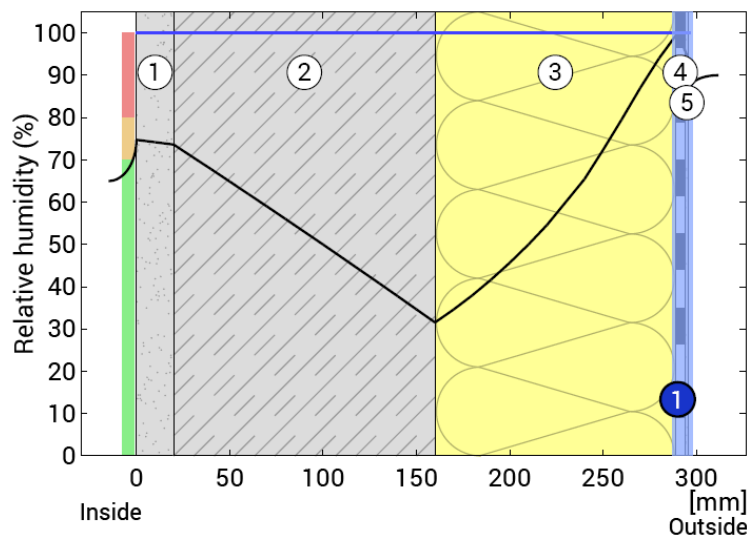


Slika 24: Sestava zunanje stene 4 [17]

Zunanja stena 4 je narejena iz NK iz AB. Na notranji strani je podaljšana apnena malta, na zunanji pa fasadni sistem podjetja Demit. Materiali, sestava plasti in njihove fizikalne lastnosti so privzeti iz fasadnega sistema Demit Original [7]. (Slika 22)

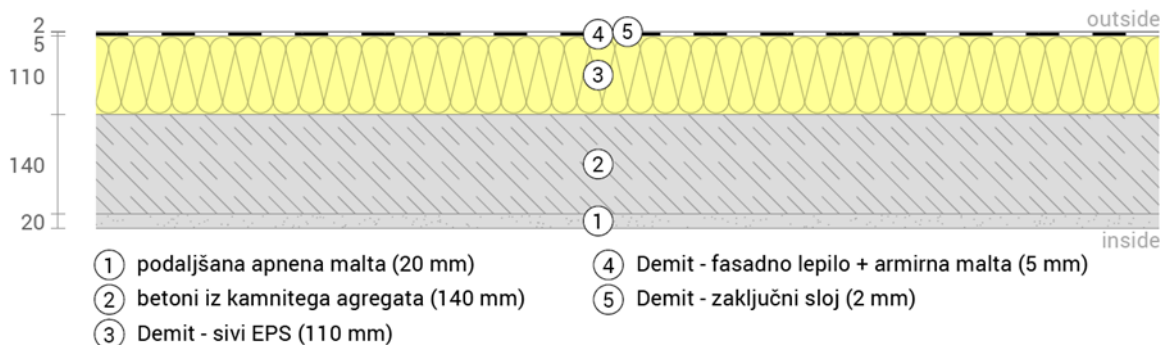


Slika 25: Temperaturni potek skozi KS4 [17]



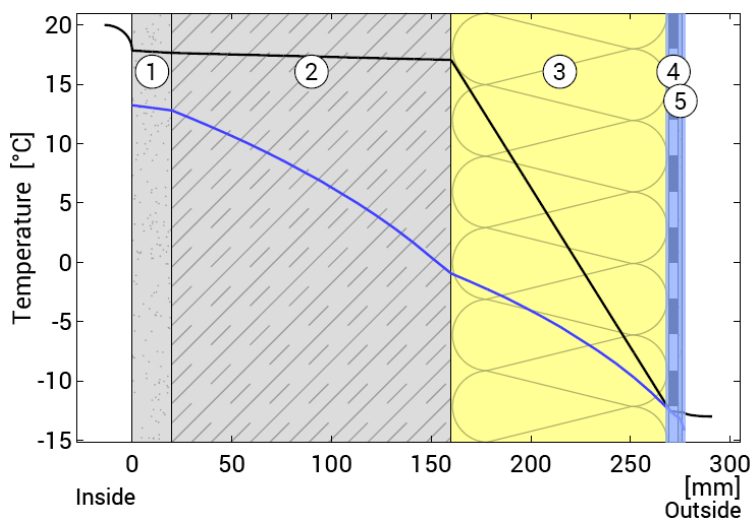
Slika 26: Potek relativne vlažnosti skozi KS4 [17]

### 8.5 Zunanja stena 5 (AB + sivi EPS)

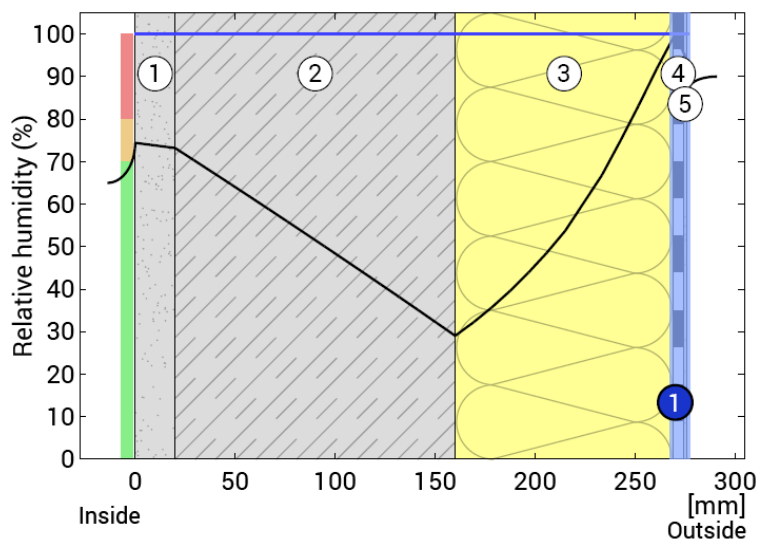


Slika 27: Sestava zunanje stene 5 [17]

Zunanja stena 5 je narejena iz NK iz AB. Na notranji strani je podaljšana apnena malta, na zunanji pa fasadni sistem podjetja Demit. Materiali, sestava plasti in njihove fizikalne lastnosti so privzeti iz fasadnega sistema Demit Line 4Q [7]. (Slika 27)

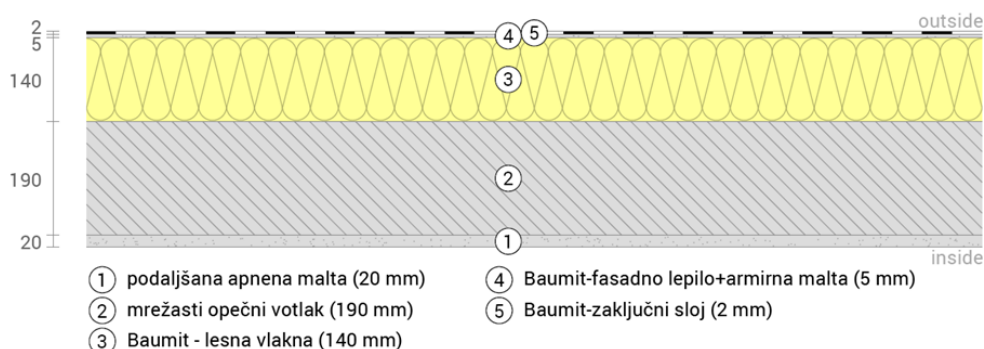


Slika 28: Temperaturni potek skozi KS5 [17]



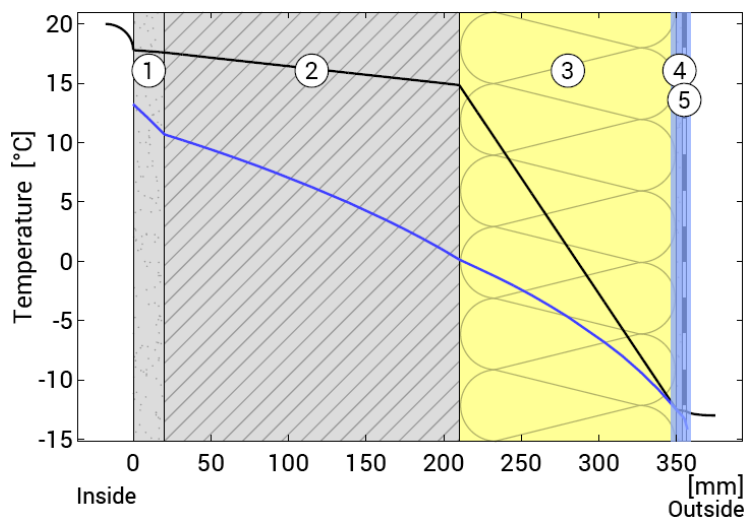
Slika 29: Potek relativne vlažnosti skozi KS5 [17]

## 8.6 Zunanja stena 6 (opeka + lesna vlakna)

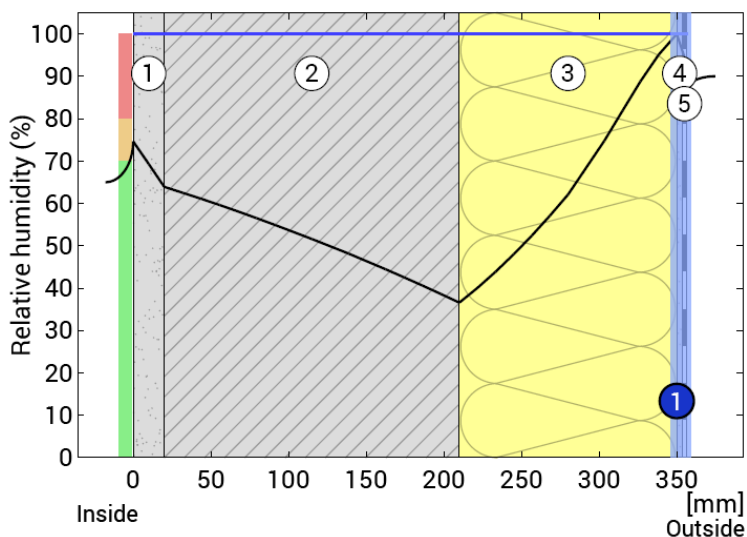


Slika 30: Sestava zunanje stene 6 [17]

Zunanja stena 6 je narejena iz NK iz modularne opeke. Na notranji strani je podaljšana apnena malta, na zunanji pa fasadni sistem podjetja Baunit. Materiali, sestava plasti in njihove fizikalne lastnosti so privzeti iz fasadnega sistema Nature [9]. (Slika 30)

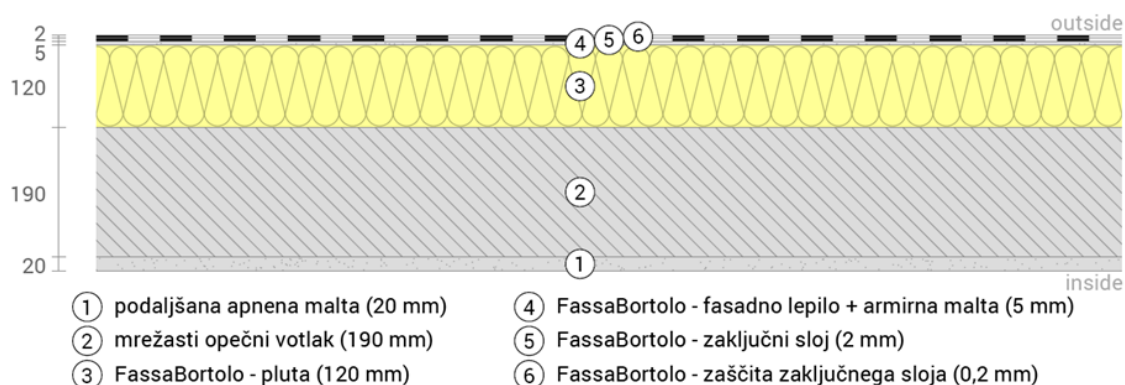


Slika 31: Temperaturni potek skozi KS6 [17]



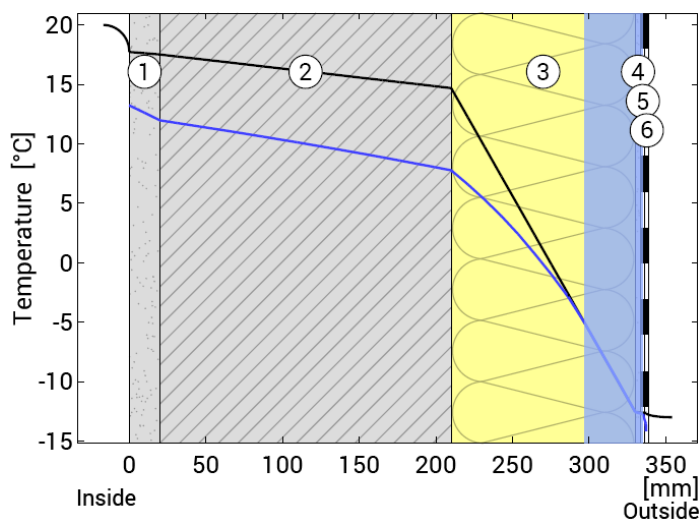
Slika 32: Potek relativne vlažnosti skozi KS6 [17]

### 8.7 Zunanja stena 7 (opeka + pluta)

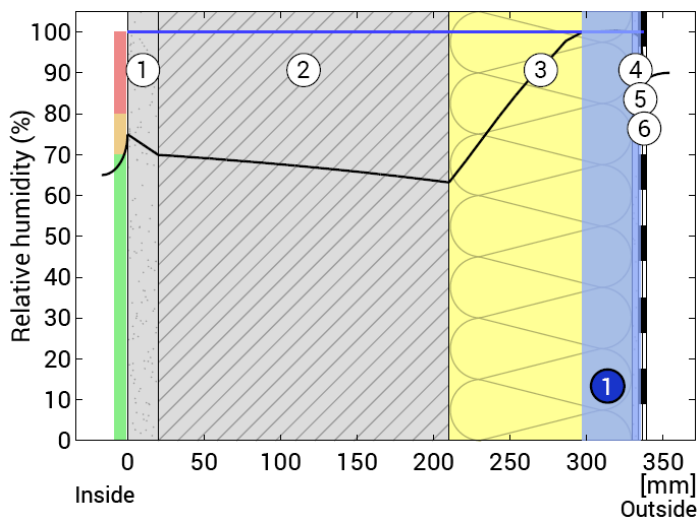


Slika 33: Sestava zunanje stene 7 [17]

Zunanja stena 7 je narejena iz NK iz modularne opeke. Na notranji strani je podaljšana apnena malta, na zunanji pa fasadni sistem podjetja FassaBortolo. Materiali, sestava plasti in njihove fizikalne lastnosti so privzeti iz fasadnega sistema Fassatherm Eco [10]. (Slika 33)



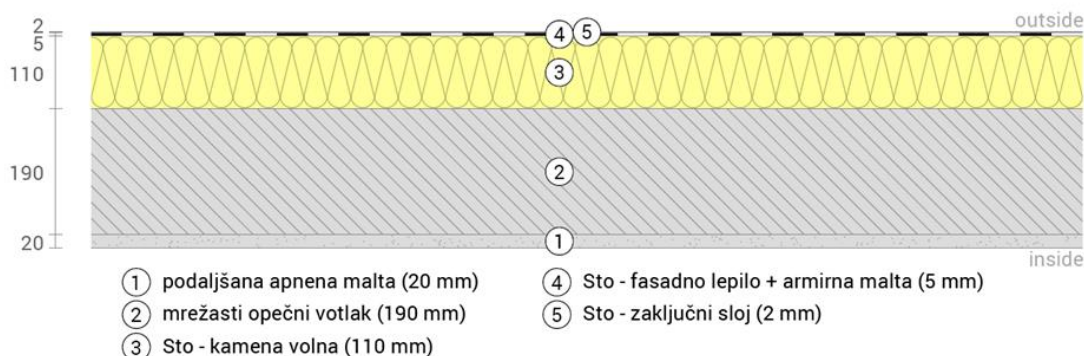
Slika 34: Temperaturni potek skozi KS7 [17]



Slika 35: Potek relativne vlažnosti skozi KS7 [17]

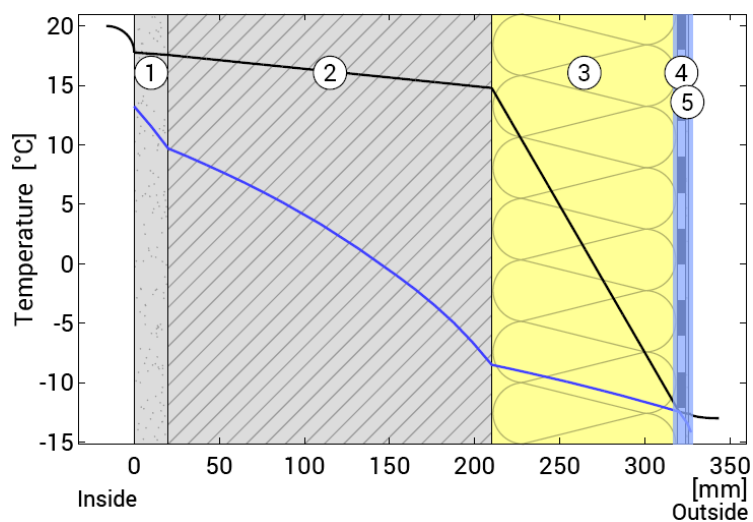


## 8.8 Zunanja stena 8 (opeka + kamena volna)

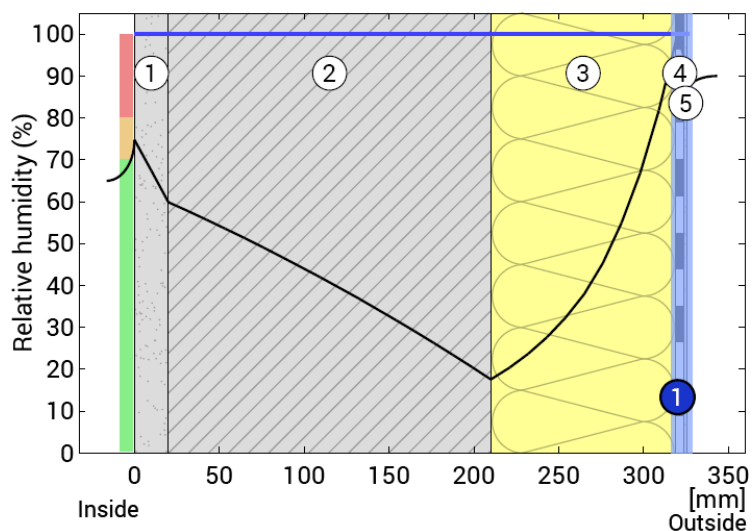


Slika 36: Sestava zunanje stene 8 [17]

Zunanja stena 8 je narejena iz NK iz modularne opeke. Na notranji strani je podaljšana apnena malta, na zunanji pa fasadni sistem podjetja Sto. Materiali, sestava plasti in njihove fizikalne lastnosti so privzeti iz fasadnega sistema Sto Therm Mineral [6]. (Slika 36)

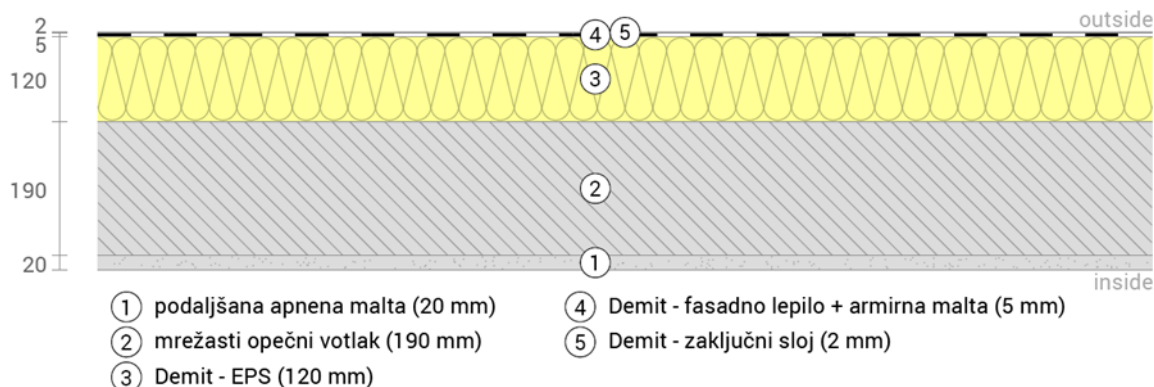


Slika 37: Temperaturni potek skozi KS8 [17]



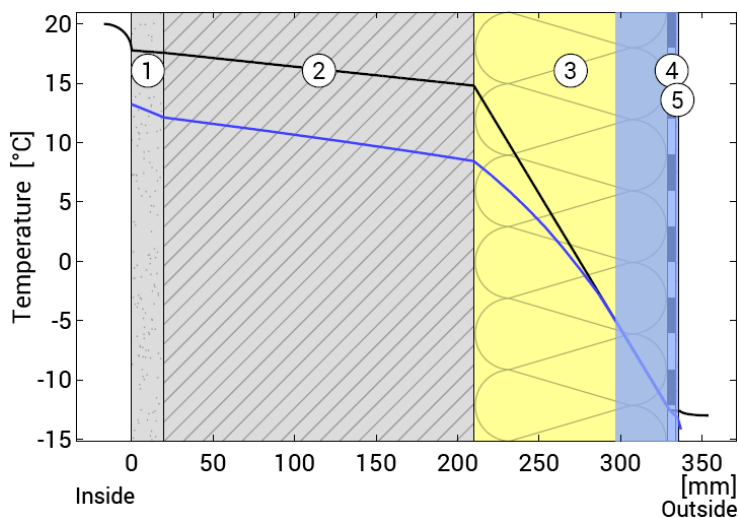
Slika 38: Potek relativne vlažnosti skozi KS8 [17]

### 8.9 Zunanja stena 9 (opeka + EPS)

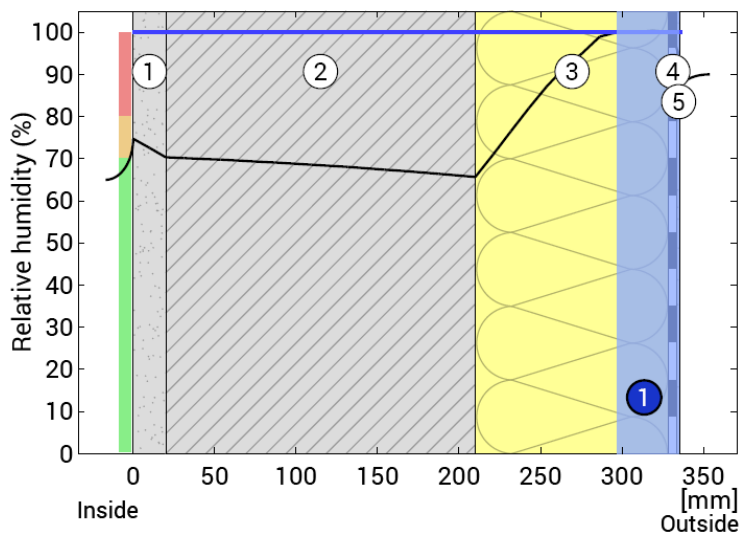


Slika 39: Sestava zunanje stene 9 [17]

Zunanja stena 9 je narejena iz NK iz modularne opeke. Na notranji strani je podaljšana apnena malta, na zunanji pa fasadni sistem podjetja Demit. Materiali, sestava plasti in njihove fizikalne lastnosti so privzeti iz fasadnega sistema Demit Original [7]. (Slika 39)

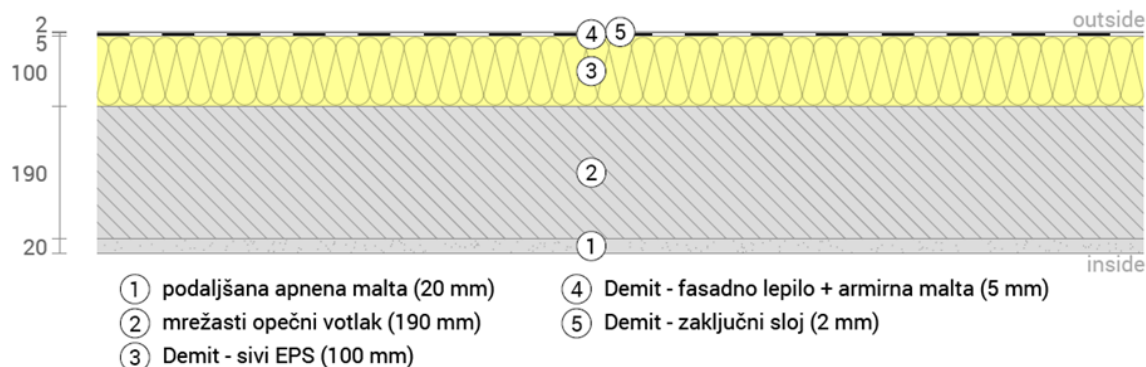


Slika 40: Temperaturni potek skozi KS9 [17]



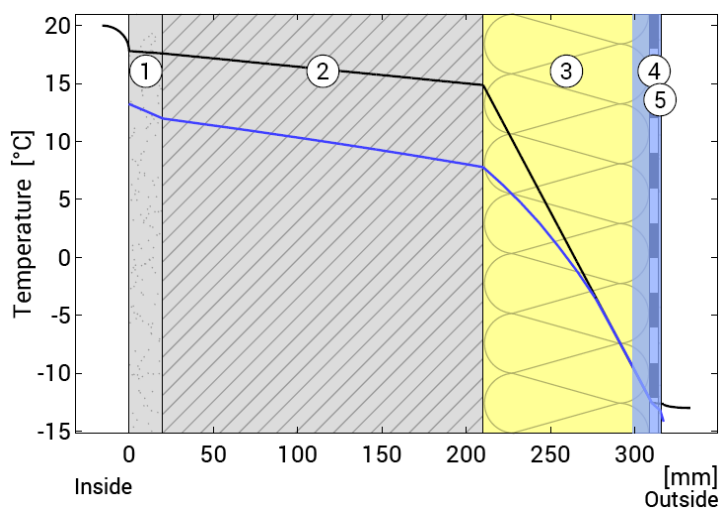
Slika 41: Potek relativne vlažnosti skozi KS9 [17]

### 8.10 Zunanja stena 10 (opeka + sivi EPS)

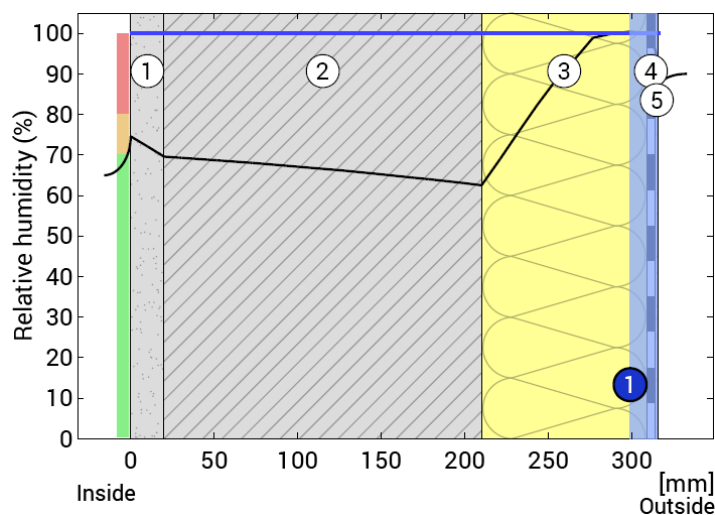


Slika 42: Sestava zunanje stene 10 [17]

Zunanja stena 10 je narejena iz NK iz modularne opeke. Na notranji strani je podaljšana apnena malta, na zunanji pa fasadni sistem podjetja Demit. Materiali, sestava plasti in njihove fizikalne lastnosti so privzeti iz fasadnega sistema Demit Line 4Q [7]. (Slika 42)

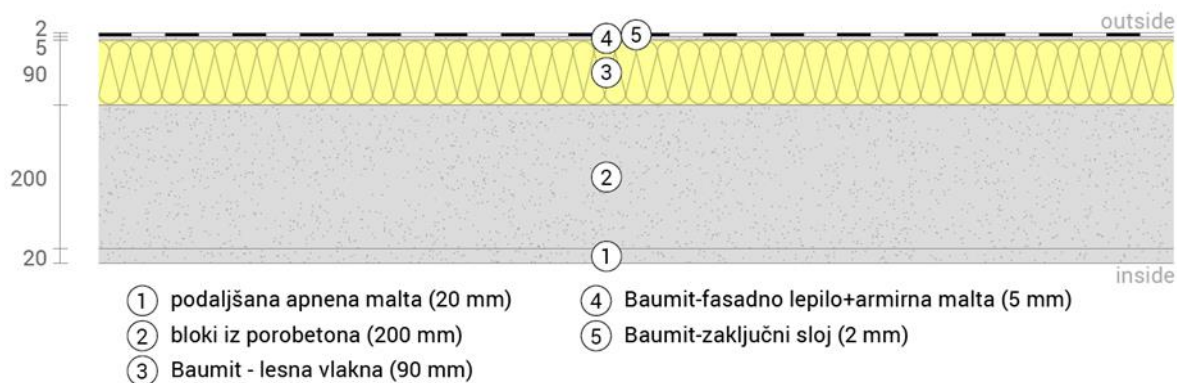


Slika 43: Temperaturni potek skozi KS10 [17]



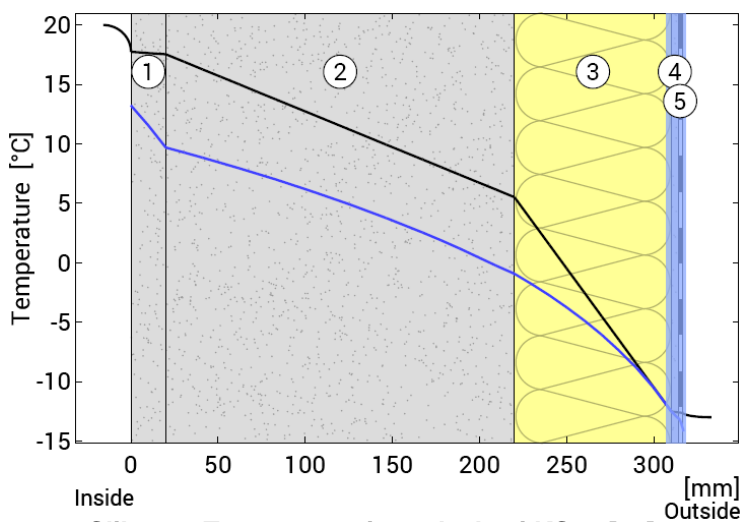
Slika 44: Potek relativne vlažnosti skozi KS10 [17]

### 8.11 Zunanja stena 11 (porobeton + lesna vlakna)

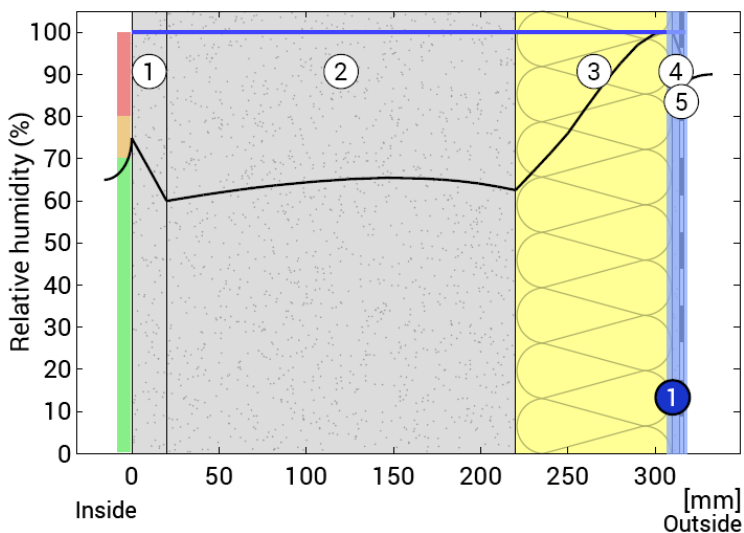


Slika 45: Sestava zunanje stene 11 [17]

Zunanja stena 11 je narejena iz NK iz porobetona. Na notranji strani je podaljšana apnena malta, na zunanji pa fasadni sistem podjetja Baumit. Materiali, sestava plasti in njihove fizikalne lastnosti so privzeti iz fasadnega sistema Nature [9]. (Slika 45)

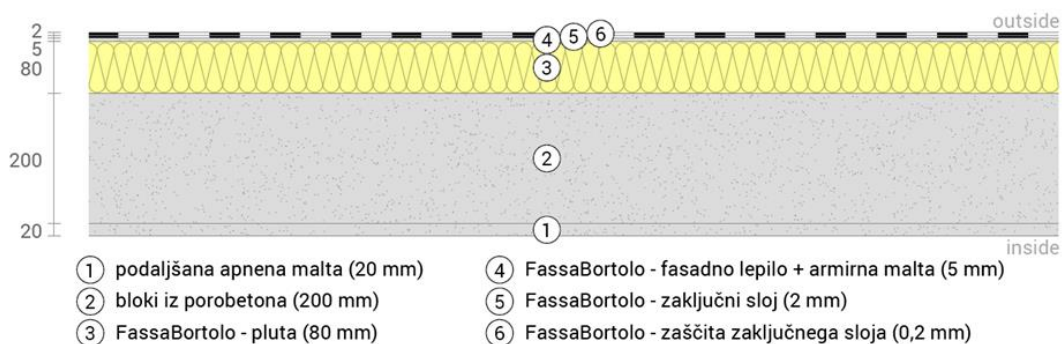


Slika 46: Temperaturni potek skozi KS11 [17]



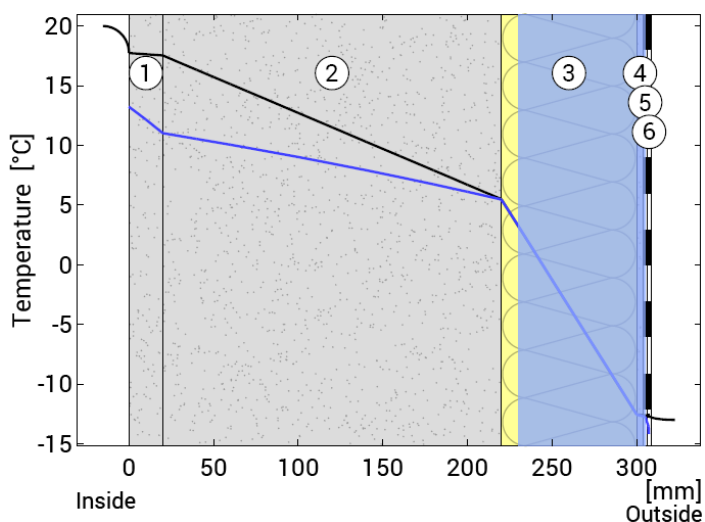
Slika 47: Potek relativne vlažnosti skozi KS11 [17]

## 8.12 Zunanja stena 12 (porobeton + pluta)

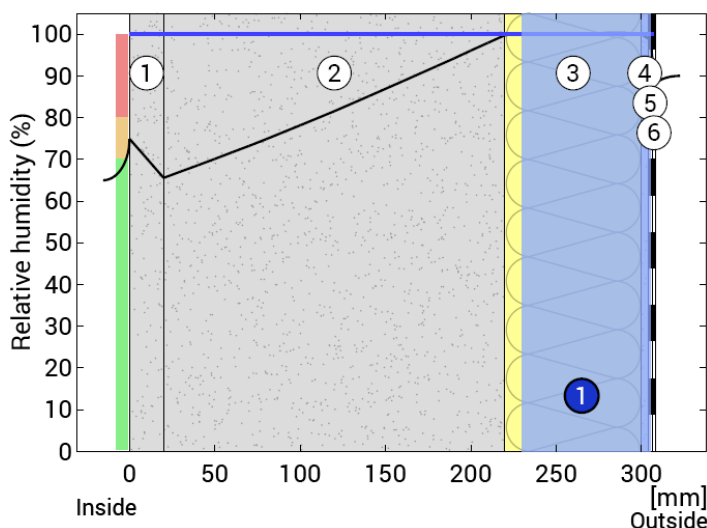


Slika 48: Sestava zunanje stene 12 [17]

Zunanja stena 12 je narejena iz NK iz porobetona. Na notranji strani je podaljšana apnena malta, na zunanji pa fasadni sistem podjetja FassaBortolo. Materiali, sestava plasti in njihove fizikalne lastnosti so privzeti iz fasadnega sistema Fassatherm Eco [10]. (Slika 48)

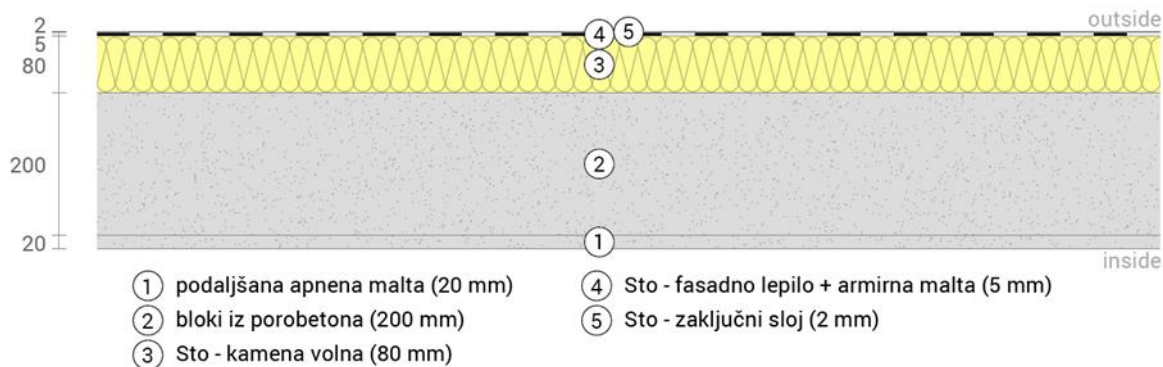


Slika 49: Temperaturni potek skozi KS12 [17]



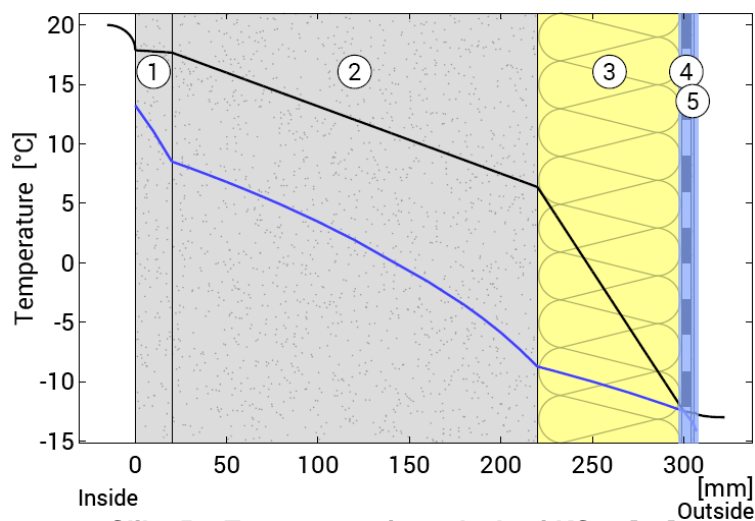
Slika 50: Potek relativne vlažnosti skozi KS12 [17]

### 8.13 Zunanja stena 13 (porobeton + kamena volna)

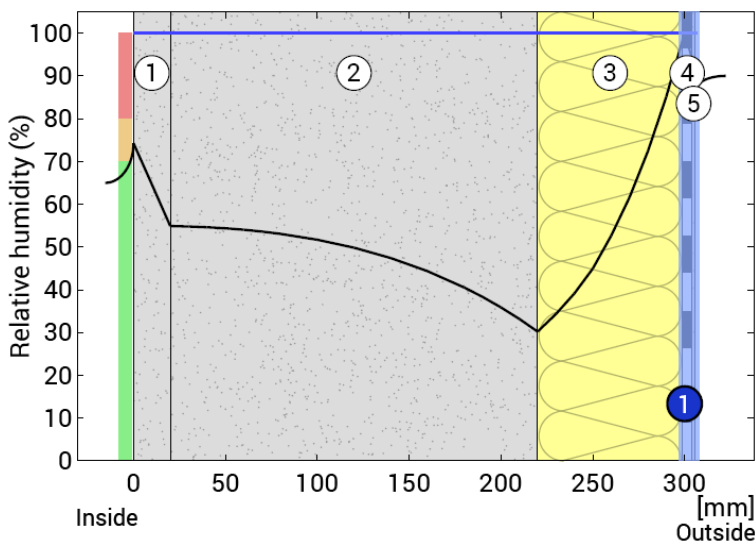


Slika 51: Sestava zunanje stene 13 [17]

Zunanja stena 13 je narejena iz NK iz porobetona. Na notranji strani je podaljšana apnena malta, na zunanji pa fasadni sistem podjetja Sto. Materiali, sestava plasti in njihove fizikalne lastnosti so privzeti iz fasadnega sistema Sto Therm Mineral [6]. (Slika 51)

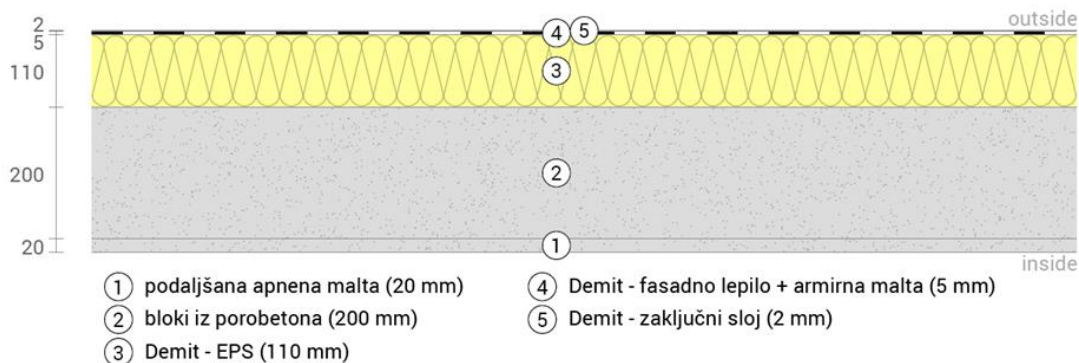


Slika 52: Temperaturni potek skozi KS13 [17]



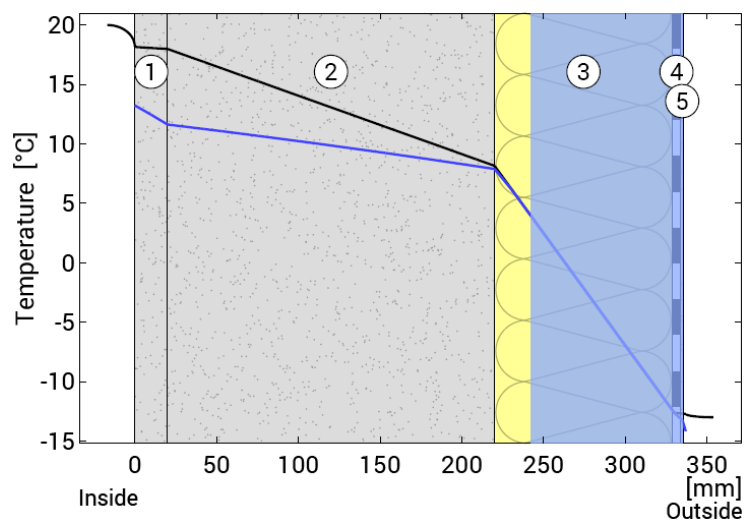
Slika 53: Potek relativne vlažnosti skozi KS13 [17]

### 8.14 Zunanja stena 14 (porobeton + EPS)

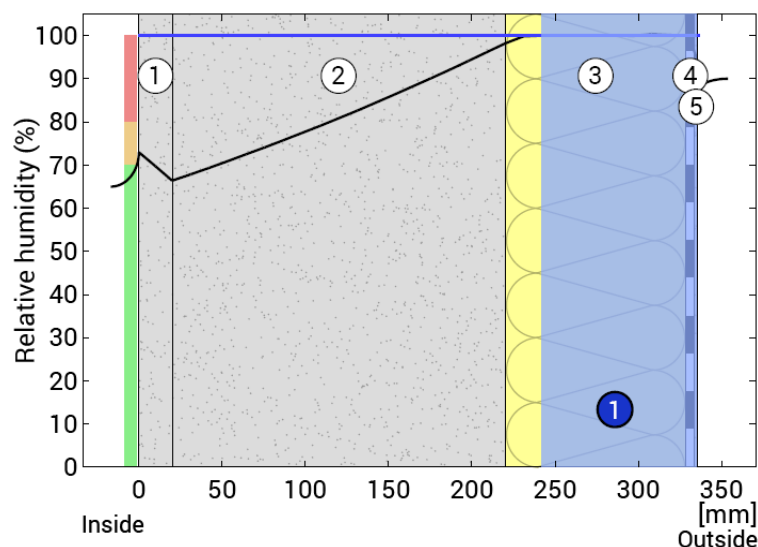


**Slika 54: Sestava zunanje stene 14 [17]**

Zunanja stena 14 je narejena iz NK iz porobetona. Na notranji strani je podaljšana apnena malta, na zunanji pa fasadni sistem podjetja Demit. Materiali, sestava plasti in njihove fizikalne lastnosti so privzeti iz fasadnega sistema Demit Original [7]. (Slika 54)

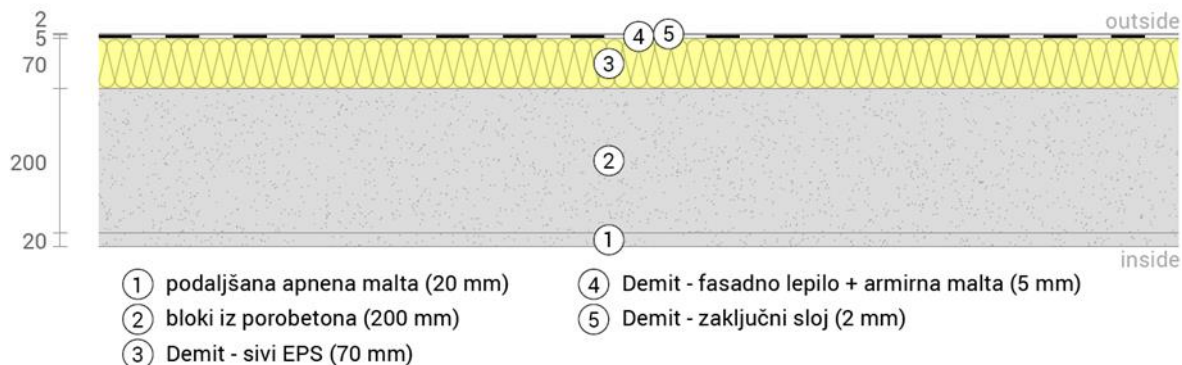


**Slika 55: Temperaturni potek skozi KS14 [17]**



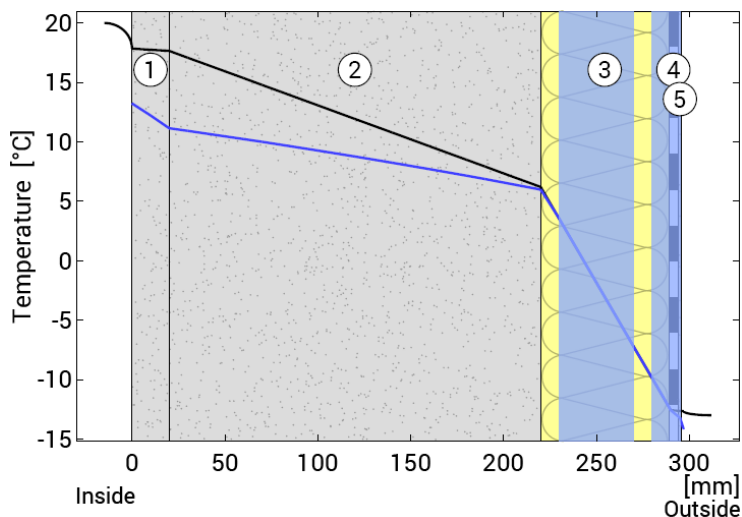
**Slika 56: Potek relativne vlažnosti skozi KS14 [17]**

### 8.15 Zunanja stena 15 (porobeton + sivi EPS)

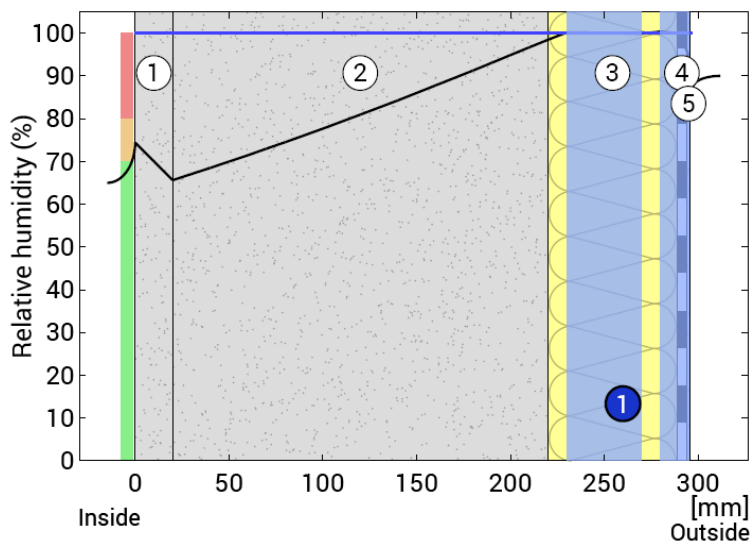


Slika 57: Sestava zunanje stene 15 [17]

Zunanja stena 15 je narejena iz NK iz porobetona. Na notranji strani je podaljšana apnena malta, na zunanji pa fasadni sistem podjetja Demit. Materiali, sestava plasti in njihove fizikalne lastnosti so privzeti iz fasadnega sistema Demit Line 4Q [7]. (Slika 57)



Slika 58: Temperaturni potek skozi KS15 [17]



Slika 59: Potek relative vlažnosti skozi KS15 [17]



## 9 REZULTATI ANALIZE KS

### 9.1 Rezultati osnovnih modelov KS z minimalnimi debelinami TI, da še ustrezajo zahtevi glede toplotne prehodnosti

Tabela 4: Rezultati ustreznosti s tehnično smernico [17]

Št. KS	Tip KS	Debelina TI (cm)	Kondenz (kg/m <sup>2</sup> )	Čas sušenja (dan)	Rel. Vlažnost* (%)	KS ustreza
1	AB+ lesna vlakna	15	/	/	75	DA
2	AB+pluta	13	0,079	5	75	DA
3	AB+kamena volna	12	/	/	75	DA
4	AB+EPS	13	0,057	3	75	DA
5	AB+sivi EPS	11	0,066	4	75	DA
6	Opeka+ lesna vlakna	14	0,64	12	75	DA
7	Opeka+pluta	12	0,38	19	75	DA
8	Opeka+kamena volna	11	0,95	17	75	DA
9	Opeka+EPS	12	0,32	14	75	DA
10	Opeka+sivi EPS	10	0,36	16	75	DA
11	Porobeton+lesna vlakna	9	0,97	17	75	DA
12	Porobeton+pluta	8	0,71	30	75	DA
13	Porobeton+kamena volna	8	1,32	23	74	DA
14	Porobeton+EPS	8	0,68	25	75	DA
15	Porobeton+sivi EPS	7	0,66	25	74	DA

\*relativna vlažnost na notranji površini zunanje stene

Kot vidimo iz rezultatov v Tabeli 4, ki smo jih dobili po opravljeni analizi, se debelina potrebne izolacije manjša glede na izbrani material NK. Pri AB je potrebujemo največ, pri porobetonu pa najmanj, da zadostimo zahtevi iz tehnične smernice, da mora biti toplotna prehodnost zunanje stene vsaj  $U \leq 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$  [14]. Prav tako je razvidno, da so lesna vlakna najmanj toplotnoizolativna, nato pa sledijo pluta, EPS, kamena volna in sivi EPS, kot najbolj izolativna analizirana TI.

Kar se tiče kondenzacije dobimo najboljše rezultate v primeru AB, ki je najbolj parozaporen, najslabše pa pri porobetonu, ki je najbolj paroprepusten izmed izbranih materialov NK. Pri KS AB+lesna vlakna in AB+kamena volna do kondenzacije sploh ne pride. Pri drugih KS iz AB pride do tako majhnega kondenza, da se izsuši v največ petih dneh. Skupne količine kondenzirane vlage se načeloma ne sme nabrati več kot  $1 \text{ kg/m}^2$  [14]. Pri KSporobeton + kamena volna je največ kondenza  $1,32 \text{ kg/m}^2$ , vendar se ta v 23 dneh izsuši, tako da tudi ta primer ni problematičen, saj je to znotraj dovoljene meje 60 dni. Skupno računsko število dni navlaževanja in difuzijskega sušenja je namreč pri  $18^\circ\text{C}$  in 65% RH za neklimatizirane stavbe 60 dni [1], [15].

Kar se kondenza vodne pare v zimskem obdobju, v računskem obdobju difuzijskega navlaževanja, nabere v slojih NK, se mora v poletnih mesecih, v računskem obdobju

difuzijskega izsuševanja, povsem izsušiti [14]. Kot najdaljši čas sušenja dobimo 30 dni pri KS s porobetonom in pluto, vendar je to znotraj dovoljenih meja.

Na notranji površini zunanje stene je v obravnavanih primerih relativna vlažnost 74–75%, čeprav je v prostoru samem 65%, vendar je ob steni vlažnost povečana zaradi površinske upornosti  $R_{si}=0,13$ . V primeru, ko znaša vlažnost stene več kot 70%, so to pogoji, pri katerih lahko plesen uspeva in je zato kljub temu da kondenzacija vodne pare ni problem, nevarnost pojavljanja plesni [17].

Vsi KS v pogledu toplotne prehodnosti in difuzije vodne pare ustrezajo zahtevam tehnične smernice.

V Prilogi C je primer izpisa iz programa U-wert za KS 3, primer brez kondenza, kjer so lepo podani vsi z analizo pridobljeni rezultati.

## 9.2 Rezultati KS iz točke 9.1 z zunanjo računsko temperaturo $-5^{\circ}\text{C}$

Tabela 5: Primerjava rezultatov pri zunanji računski temperaturi  $-5^{\circ}\text{C}$  in  $-13^{\circ}\text{C}$  [17]

Št. KS	Tip KS	Kondenz (kg/m <sup>2</sup> )		Čas sušenja (dan)		Rel. vlažnost* (%)		KS ustreza
		$-5^{\circ}\text{C}$	$-13^{\circ}\text{C}$	$-5^{\circ}\text{C}$	$-13^{\circ}\text{C}$	$-5^{\circ}\text{C}$	$-13^{\circ}\text{C}$	
1	AB+ lesna vlakna	/	/	/	/	72	75	DA
2	AB+pluta	/	0,085	/	5	72	75	DA
3	AB+kamena volna	/	/	/	/	72	75	DA
4	AB+EPS	/	0,057	/	3	72	75	DA
5	AB+sivi EPS	/	0,066	/	4	72	75	DA
6	Opeka+ lesna vlakna	0,36	0,64	8	12	72	75	DA
7	Opeka+pluta	0,22	0,38	12	19	72	75	DA
8	Opeka+kamena volna	0,61	1,0	13	21	72	75	DA
9	Opeka+EPS	0,14	0,32	7	14	72	75	DA
10	Opeka+sivi EPS	0,19	0,36	9	16	72	75	DA
11	Porobeton+lesna vlakna	0,63	1,0	13	20	72	75	DA
12	Porobeton+pluta	0,41	0,72	20	32	72	75	DA
13	Porobeton+kamena volna	0,81	1,32	14	23	72	74	DA
14	Porobeton+EPS	0,33	0,68	14	25	72	75	DA
15	Porobeton+sivi EPS	0,36	0,66	15	25	72	74	DA

\*relativna vlažnost na notranji površini zunanje stene

Če primerjamo rezultate KS z računsko temperaturo  $-5^{\circ}\text{C}$ , kar zahteva tudi zakonodaja, z rezultati KS z računsko temperaturo  $-13^{\circ}\text{C}$ , pri kateri smo se sami odločili analizirati KS, da smo na varni strani, ugotovimo, da dobimo veliko boljše rezultate.

Iz Tabele 5 je lepo razvidno, da v tem primeru pri vseh primerih NK iz AB sploh ne pride do kondenza.

Pri KS z NK iz opeke in porobetona se pri 8°C višji zunanji temperaturi količina kondenza prepolovi, čas difuzijskega izsuševanja pa skrajša za približno 40%.

Relativna vlažnost na notranji površini zunanje stene se v vseh obravnavanih KS zmanjša iz 75% na 72%, kar je manj ugodno za rast mikroorganizmov in tako dobrodošlo. Torej pri obravnavani analizi so izboljšani vsi KS.

### 9.3 Rezultati KS iz točke 9.1 s toplotno prehodnostjo 0,14W/m<sup>2</sup>K

Tabela 6: Primerjava rezultatov pri zmanjšani toplotni prehodnosti KS [17]

Št. KS	Tip KS	Debelina TI (cm)		Kondenz (kg/m <sup>2</sup> )		Čas sušenja (dan)		KS ustreza
		0,14 W/m <sup>2</sup> K	0,28 W/m <sup>2</sup> K	0,14 W/m <sup>2</sup> K	0,28 W/m <sup>2</sup> K	0,14 W/m <sup>2</sup> K	0,28 W/m <sup>2</sup> K	
1	AB + lesna vlakna	31	15	0,0088	/	1	/	DA
2	AB + pluta	28	13	0,058	0,085	4	5	DA
3	AB + kamena volna	25	12	0,032	/	1	/	DA
4	AB + EPS	27	13	0,032	0,057	2	3	DA
5	AB + sivi EPS	22	11	0,044	0,066	3	4	DA
6	Opeka + lesna vlakna	30	14	0,49	0,69	11	12	DA
7	Opeka + pluta	27	12	0,19	0,38	11	19	DA
8	Opeka + kamena volna	24	11	0,96	1,0	20	21	DA
9	Opeka + EPS	26	12	0,15	0,32	7	14	DA
10	Opeka + sivi EPS	22	10	0,18	0,36	9	16	DA
11	Porobeton + lesna vlakna	26	9	0,65	1,0	14	20	DA
12	Porobeton + pluta	23	8	0,28	0,72	15	32	DA
13	porobeton+ kamena volna	21	8	1,3	1,32	23	23	DA
14	Porobeton + EPS	22	8	0,23	0,68	10	25	DA
15	Porobeton + sivi EPS	18	7	0,28	0,66	12	25	DA

V točki 9.1 so rezultati KS, ki zadoščajo zahtevi tehnične smernice po največji dovoljeni toplotni prehodnosti  $U \leq 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Zakonodaja ima zadnja desetletja trend zaostrovanja, zato nas je zanimalo, kako odreagira KS, če je zahteva enkrat večja, torej  $U \leq 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$  [14].

V Tabeli 6 vidimo, da se debelina TI pri vseh KS poveča in sicer za 100% pri NK iz AB, za 120% pri NK iz opeke in za 160–180% pri NK iz porobetona. Dejansko se debelina posameznega tipa TI poveča enako pri vseh treh NK, vendar je bilo za doseg zahteve iz tehnične smernice potrebno največ dodati pri AB, najmanj pa pri porobetonu. Zato se, če v tem primeru gledamo deleže, največ pozna pri porobetonu in najmanj pri AB.

Pri kondenzu je situacija zelo raznolika. Od tega, da se sedaj pojavi kondenz, kjer ga prej ni bilo, do tega, da se vrednost kondenza razpolovi. Od primera do primera je drugače, tako da

ne moremo potegniti nekih skupnih značilnosti. Očitno je le da so ene kombinacije bolj ugodne kot druge.

Pri času difuzijskega izsuševanja je podobno. Rečemo lahko le, da se čas sušenja, ko gre za kameno volno, ne spremeni, pri drugih TI pa ali ostane enak ali se skrajša do polovice. Torej povečanje debeline TI je ali brez učinka ali deluje ugodno.

Debelina TI je sedaj od 18 do 31cm. Sloj 30cm debele izolacije pomeni izdatne dodatne stroške izvedbe, poleg tega je tudi iz praktičnega vidika tako debelino TI zahtevno montirati, kar nam da misliti o smiselnosti takega ukrepa. Poleg tega, da z večjo debelino TI pridobimo na toplotni prehodnosti in v le nekaterih primerih skrajšamo čas izsuševanja KS, ni drugih prednosti.

#### 9.4 Rezultati KS iz točke 9.1 s prostim pretokom zraka

Zanimalo nas je, kaj se zgodi, če imamo namesto zmanjšane gibanja zraka v prostoru zaradi namestitve pohištva, slik, vogalov, ki imajo neugoden učinek na pojavljanje plesni, nemoten pretok zraka, ki ga zagotavljamo z zadostnim odmikom pohištva od zidu.

Kot vidimo iz Tabele 7, se relativna vlažnost notranje površine iz negotovih 75% spusti na zadovoljivih 70%. Torej, če poskrbimo, da so stene proste, do težav s plesnijo na stenah ne more priti, saj vlažnost pade na raven, ki ni ugodna za razvoj plesni. Prav tako je razvidno, da je temperatura na sami steni odvisna le od notranje površinske upornosti (Rsi) in nič od vrste KS.

**Tabela 7: Rezultati pri nemotenem gibanju zraka pri zadostnem odmiku pohištva od stene [17]**

Št. KS	Tip KS	Relativna vlažnost na notranji površini (%)	
		Prost pretok zraka	Zmanjšan pretok zraka
1	AB+ lesna vlakna	70	75
2	AB+pluta	70	75
3	AB+kamena volna	70	75
4	AB+EPS	70	75
5	AB+sivi EPS	70	75
6	Opeka+ lesna vlakna	70	75
7	Opeka+pluta	70	75
8	Opeka+kamena volna	70	75
9	Opeka+EPS	70	75
10	Opeka+sivi EPS	70	75
11	Porobeton+lesna vlakna	70	75
12	Porobeton+pluta	70	75
13	Porobeton+kamena volna	70	74
14	Porobeton+EPS	70	75
15	Porobeton+sivi EPS	70	74

## 9.5 Rezultati KS iz točke 9.1 z relativno vlažnostjo prostora 50%

Tabela 8: Primerjava rezultatov pri 50% in 65% notranji relativni vlažnosti [17]

Št.	KS	Tip KS	Kondenz (kg/m <sup>2</sup> )		Čas sušenja (dan)		Rel. vlažnost* (%)		KS ustreza
			50% RH	65% RH	50% RH	65% RH	50% RH	65% RH	
1		AB+ lesna vlakna	/	/	/	/	57	75	DA
2		AB+pluta	0,040	0,085	3	5	58	75	DA
3		AB+kamena volna	/	/	/	/	57	75	DA
4		AB+EPS	0,014	0,057	1	3	57	75	DA
5		AB+sivi EPS	0,021	0,066	1	4	57	75	DA
6		Opeka+ lesna vlakna	0,4	0,64	8	12	57	75	DA
7		Opeka+pluta	0,24	0,38	13	19	58	75	DA
8		Opeka+kamena volna	0,67	1,0	14	21	57	75	DA
9		Opeka+EPS	0,19	0,32	9	14	57	75	DA
10		Opeka+sivi EPS	0,23	0,36	10	16	57	75	DA
11		Porobeton+lesna vlakna	0,67	1,0	14	20	58	75	DA
12		Porobeton+pluta	0,42	0,72	21	32	58	75	DA
13		Porobeton+kamena volna	0,89	1,32	15	23	57	74	DA
14		Porobeton+EPS	0,36	0,68	15	25	57	75	DA
15		Porobeton+sivi EPS	0,38	0,66	16	25	57	74	DA

\*relativna vlažnost na notranji površini zunanje stene

Zavedamo se, da ima tehnična smernica precej stroge kriterije. Eden izmed teh je, da pri izračunu zahteva 65% notranjo relativno vlažnost, kar nas postavi na varno stran. Optimalna relativna vlažnost zdravih in udobnih bivalnih prostorov se mora gibati nekje med 40% in 60%, kar onemogoča rast patogenih in alergeni organizmov [14]. Tako vlažnost dosežemo z zavestnim in rednim prezračevanjem prostorov. Zanimalo nas je, kako se obnašajo KS pri dejanskih razmerah, če je to srednja vrednost optimalne relativne vlažnosti v vrednosti 50%. Poleg tega zahteva tudi nemški standard DIN 4108-3 50% notranjo relativno vlažnost. Tako smo se odločili preveriti še manjšo notranjo relativno vlažnost prostora [17].

Iz rezultatov iz Tabele 8, pričakovano, dobimo precej nižje vrednosti kondenzirane vodne pare. Kondenz je pri 15% nižji relativni vlagi prostora približno za tretjino do polovico manjši, le pri KS 4 in KS 5 je veliko manjši. Čas sušenja se je tudi skoraj razpolovil. Relativna vlažnost notranje strani zunanje stene je sedaj 57–58%.

Prepričati se moramo, da so v dejanskih pogojih vsi KS optimalni, taki kot morajo biti, da zagotavljajo ugodno bivalno klimo, neškodljivo zdravju uporabnikov prostora. Seveda je to zelo odvisno tudi od zavesti uporabnikov in dejanske uporabe konkretnih prostorov.

## 9.6 TI na notranji strani na KS iz točke 9.1

Vemo, da je TI na notranji strani problematična, predvsem je problem rešitev toplotnih mostov, ki zaradi take sestave KS nastanejo. Vseeno se jim v določenih situacijah, ko na primer videza fasade ne smemo spreminjati zaradi varstva kulturne dediščine, ko na zunanji strani enostavno ni prostora in vostalih primerih, ne moremo izogniti. Zato nas je zanimalo, kako odreagirajo KS, če položaj TI glede na NK zamenjamo in postavimo TI na notranjo stran NK. Vse ostalo ostane enako. Preostali sloji so položeni enako in debelina vseh slojev ostane enaka.

**Tabela 9: Primerjava rezultatov s TI na notranji oziroma zunanji strani KS [17]**

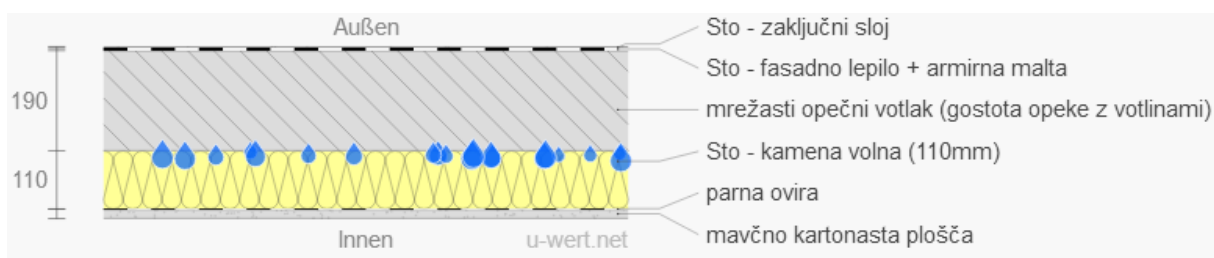
Št. KS	Tip KS	Kondenz(kg/m <sup>2</sup> )		Čas sušenja(dan)		KS ustreza
		TI znotraj	TI zunaj	TI znotraj	TI zunaj	
1	AB+ lesna vlakna	1,8	/	192	/	NE
2	AB+pluta	0,6	0,085	142	5	NE
3	AB+kamena volna	3,9	/	222	/	NE
4	AB+EPS	0,51	0,057	126	3	NE
5	AB+sivi EPS	0,6	0,066	138	4	NE
6	Opeka+ lesna vlakna	1,7	0,64	114	12	NE
7	Opeka+pluta	0,53	0,38	48	19	DA
8	Opeka+kamena volna	3,7	1,0	160	21	NE
9	Opeka+EPS	0,44	0,32	42	14	DA
10	Opeka+sivi EPS	0,53	0,36	48	16	DA
11	Porobeton+lesna vlakna	1,5	1,0	28	21	DA
12	Porobeton+pluta	0,57	0,72	29	32	DA
13	Porobeton+kamena volna	2,7	1,29	40	22	DA
14	Porobeton+EPS	0,47	0,68	20	25	DA
15	Porobeton+sivi EPS	0,53	0,66	23	25	DA

Toplotna prehodnost in relativna vlažnost notranje stene ostaneta enaki kot pri TI na zunanji strani pri vseh KS, medtem ko sekondenin čas sušenja zelo podaljšata, najbolj izrazito pri NK iz AB in TI izlesnih vlaken in kamene volne, kar je lepo vidno iz Tabele 9, zaradi česar nekateri KS ne zadoščajo zahtevam tehnične smernice.

Opeka in porobeton se dobro obneseta zaradi velike paroprepustnosti v primerjavi z AB. Poleg tega bolje izpolnjujeta še zahtevo po sestavi KS od noter navzven z vedno bolj paroprepustnimi materiali, saj je porobeton bolj paroprepusten od TI in olajša izsuševanje navzven. TI iz lesnih vlaken se slabo obnaša, ker je lesenega izvora, ki slabo prenaša vlažnost in ker ima manjšo difuzijsko upornost vodni pari, kot opeka, kar je v nasprotju z optimalno sestavo KS. Pri TI iz kamene volne je enak problem kot pri lesnih vlaknih, saj je popolnoma difuzijsko odprt material z  $\mu = 1$ .

## 9.7 Vpliv parne ovire na KS iz točke 9.6 s TI na notranji strani

Nekateri KS iz točke 9.6 ne zadoščajo zahtevam tehnične smernice. Tem smo na notranjo stran TI dodali parno oviro in namesto podaljšane apnene malte, ki je ni mogoče narediti na parni oviri, kot zaključni sloj uporabili mavčno kartonaste plošče, kot je to razvidno iz Slike 60.



Slika 60: Sestava KS8 z notranjo TI in parno oviro [17]

Tabela 10: Primerjava rezultatov s TI na notranji oziroma zunanji strani KS z varianto uporabe parne ovir [17]

Št. KS	Tip KS	Potrebna $\mu$ p.o.*	Kondenz (kg/m <sup>2</sup> )		Čas sušenja (dan)		KS ustreza
			p.o.*	TI znotraj	p.o.*	TI znotraj	
1	AB+ lesna vlakna	110 000	0,081	1,8	59	192	DA
2	AB+pluta	100 000	0,080	0,6	59	142	DA
3	AB+kamena volna	110 000	0,083	3,9	60	222	DA
4	AB+EPS	95 000	0,081	0,51	60	126	DA
5	AB+sivi EPS	100 000	0,080	0,6	59	138	DA
6	Opeka+ lesna vlakna	10 500	0,56	1,7	60	114	DA
8	Opeka+kamena volna	13 500	0,56	3,7	59	160	DA

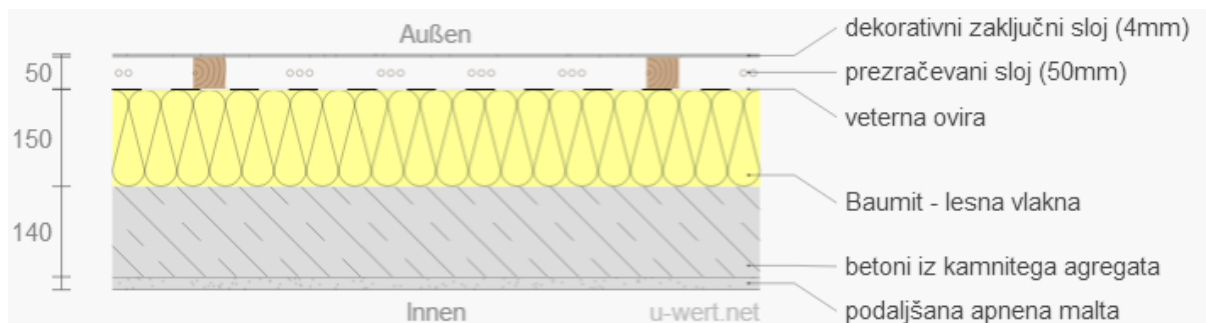
\*parna ovira

S pomočjo parne ovire tudi ti KS ustrezajo zahtevam tehnične smernice, kot je to razvidno iz Tabele 10. To je lep dokaz, da pri TI na notranji strani zunanje stene v nekaterih primerih enostavno nujno potrebujemo parno oviro. Parno oviro je treba postaviti na notranjo stran TI, da preprečimo vstop kondenza v KS. S poizkušanjem smo našli ustrezno vrednost potrebne difuzijske upornosti vodni pari glede na zahtevo tehnične smernice, da se mora KS izsušiti v času največ 60dni v poletnem času.

V primeru NK iz AB nam parna ovira z  $\mu=110.000$  reši problem kondenzacije pri vseh KS. Pri NK iz opeke pa zadostuje že parna ovira z desetkrat manjšo vrednostjo  $\mu=10 500$ . Kar se samega kondenza tiče ga KS iz AB lahko prevzamejo 0,08kg/m<sup>2</sup>, medtem ko ga KS iz opeke lahko prevzamejo sedemkrat več, to je 0,56 kg/m<sup>2</sup>, saj je opeka bolj paroprepustna kot AB.

## 9.8 Prezračevana fasada KS iz točke 9.1

Preverili smo tudi, kako se KS obnašajo v primeru prezračevane fasade. (Slika 61)



Slika 61: Sestava KS1 s prezračevano fasado [17]

Tabela 11: Primerjava KS s tankoslojno fasado in prezračevanim fasadnim sistemom [17]

Št.	KS Tip KS	Kondenz(kg/m <sup>2</sup> )		Čas sušenja(dan)		KS ustreza
		p.f.*	t.k.i.f.**	p.f.*	t.k.i.f.**	
1	AB+ lesna vlakna	/	/	/	/	DA
2	AB+pluta	/	0,085	/	5	DA
3	AB+kamena volna	/	/	/	/	DA
4	AB+EPS	/	0,057	/	3	DA
5	AB+sivi EPS	/	0,066	/	4	DA
6	Opeka+ lesna vlakna	/	0,64	/	12	DA
7	Opeka+pluta	0,083	0,38	5	19	DA
8	Opeka+kamena volna	/	1,0	/	21	DA
9	Opeka+EPS	0,095	0,32	7	14	DA
10	Opeka+sivi EPS	0,08	0,36	5	16	DA
11	Porobeton+lesna vlakna	/	1,0	/	20	DA
12	Porobeton+pluta	0,42	0,72	19	32	DA
13	Porobeton+kamena volna	/	1,32	/	23	DA
14	Porobeton+EPS	0,46	0,68	22	25	DA
15	Porobeton+sivi EPS	0,39	0,66	21	25	DA

\*prezračevana fasada

\*\*tankoslojna kontaktno-izolacijska fasada

Pri vseh primerih KS ostane vlažnost notranje površine zunanje stene 75%, tako da vpliva na rast plesni iz tega vidika prezračevane fasade nimajo.

Količina kondenzata se drastično zniža, kar je vidno iz Tabele 11. Ko pa gre za porobeton kot NK in pluto, EPS in sivi EPS kot TI, se je vrednost količine kondenzata znižala le za približno 40%. Kot vidimo, je prezračevana fasada učinkovita rešitev v boju z difuzijo vodne pare.

V Prilogi D je primer izpisa iz programa U-wert za KS 14, za primer z največjo količinonabranega kondenza vodne pare, kjer so lepo podani vsi z analizo pridobljeni rezultati.



## 10 ZAKLJUČEK

Prepričali smo se, da so fizikalne karakteristike zunanjih sten močno odvisne od njihove sestave. Najbolj pomembna je izbira materiala in njegova položaj v sestavu, nato pa lahko spreminjamo lastnosti z izbiro ustreznih debelin. Preverili smo osnovne zamišljene KS in jih nato spreminjali ter ugotavljali spremembe.

Pri osnovnih KS smo ugotovili, da je za izpolnjevanje zahtev tehnične smernice ključna debelina izbrane TI glede na vrsto NK. Pri AB smo dobili največje debeline TI in najmanjše količine vodne pare, ki je kondenzirala. Pri porobetonu je bilo ravno obratno, potrebovali smo najmanjše debeline TI, vendar je bila količina kondenza največja, vendar še vedno znotraj zahtev tehnične smernice.

Ko smo analizo izpeljali pri  $-5^{\circ}\text{C}$  namesto pri  $-13^{\circ}\text{C}$ , je to zelo ugodno vplivalo na količino kondenza, čas izsuševanja in relativno vlažnost na notranji površini stene, torej se na območju Ljubljane obravnavani KS dobro obnesejo.

Z zaostritvijo zahteve po toplotni prehodnosti  $U \leq 0,28\text{W/m}^2\text{K}$  iz tehnične smernice na polovično vrednost  $U \leq 0,14\text{W/m}^2\text{K}$  ugotovimo, da je potrebna enormna dodatna debelina TI, ki nam izboljša le toplotno prehodnost, količina kondenza se namreč lahko celo poveča, izvedba takega sestava pa ni enostavna in prinese dodaten finančni zalogaj.

Pri zmanjšani notranji relativni vlažnosti prostora iz 65% na 50% se občutno zmanjšajo vrednosti količine kondenza, časa izsuševanja in relativne vlažnosti na notranji površini stene. Prepričamo se, da pri ustrezno oblikovanem KS pri optimalni vlažnosti ne pride do nobenih težav.

Če imamo prost pretok zraka po notranji površini, ugotovimo, da ni nevarnosti nastajanja plesni oziroma rasti gliv, tako da moramo pri večji relativni vlažnosti v prostoru zagotoviti prosti pretok zraka po notranji površini po naših najboljših močeh.

Ko smo TI postavili na notranjo stran, smo ugotovili, da se porobeton odlično obnese zaradi izpolnjevanja zahteve po naraščanju paroprepustnosti od znotraj navzven. Pri KS iz AB in dveh iz opeke pa rešimo problem kondenzacije vodne pare s postavitvijo parne ovire z ustrežno difuzijsko upornostjo vodni pari na notranji strani TI.

Z analizo prezračevane fasade na naših KS ugotovimo, da ta nima vpliva na relativno vlažnost notranje stene in se prepričamo, da je prezračevana fasada odlična rešitev problema difuzije vodne pare. Zračna plast namreč odvede vso vodno paro, ki bi sicer kondenzirala v KS. Čeprav je izvedba dražja v primerjavi s kontaktno-izolacijsko fasado, se nam taka naložba lahko obrestuje, saj prezračevana fasada poleti tudi ščiti stavbo pred pregrevanjem.

Po narejenih analizah se je eden izmed obstoječih programov za analizo sestave konstrukcijskih sklopov, takoimenovani spletni program U-wert, s katerim smo delali, izkazal kot enostavno in praktično orodje za analizo ter interpretacijo rezultatov pri obravnavi zunanjih sten.

V diplomskem delu obravnavamo le zunanje stene, vendar ne smemo pozabiti, da moramo zgradbo razumeti kot celoto. Za lažje razumevanje si lahko predstavljamo človeško telo in njegovo dobro počutje. Če želimo, da se človek dobro počuti, mora biti celo telo v redu. Mi smo se poglobili v analizo le dela zgradbe – njenih zunanjih sten, ki bistveno vplivajo na prijetno počutje v prostoru. Premišljena sestava zunanje stene objekta pomeni nižje stroške enkratne investicije in letnih stroškov ogrevanja ter hlajenja [11].

Torej mora biti bistvena sestavina kakovostnih gradbenih projektov zgradb, tudi z ustrezno analizo več dejavnikov izbrana, najbolj primerna sestava zunanjih sten objekta, da se izognemo nepotrebnim stroškom in zapletom v času uporabe tega ter tako na več nivojih zadovoljimo uporabnika objekta.

## VIRI

[1] Zrmk. 2016.

<http://gcs.gi-zrmk.si/Svetovanje/index-literatura-gradbena.html> (Pridobljeno 3. 8. 2016.)

[2] Kuček, A., Krainer, A., Dovjak, M. 2015. Možni negativni vplivi prekomerne vlažnosti notranjega okolja v stavbah na zdravje uporabnikov. Gradb. vestn. 64, februar: 36-46.

[3] Uradni list RS. Št. 52/2010. Uradni list RS. Št. 52/2010. Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES 2010).

<https://www.uradni-list.si/1/content?id=98727> (Pridobljeno 25. 7. 2016.)

[4] Patricia. 2016.

<ftp://ftp.fgg.uni-lj.si/Sendable/Patricia/STAVBARSTVO/> (Pridobljeno 4. 8. 2016.)

[5] Gradimo. 2016.

<http://www.gradimo.com/gradnja/gradbeni-materiali/izolacije/pluta> ( Pridobljeno 11. 8. 2016.)

[6] Sto. 2016.

[http://www.sto.de/de/produkte/fassadendaemmsysteme/stootherm\\_mineral\\_nichtbrennbar\\_brandschutz\\_hochhaeuser.html](http://www.sto.de/de/produkte/fassadendaemmsysteme/stootherm_mineral_nichtbrennbar_brandschutz_hochhaeuser.html) (Pridobljeno 3. 8. 2016.)

[7] Demit. 2016.

[http://www.demit.si/index.php?option=com\\_content&view=article&id=62&Itemid=29f](http://www.demit.si/index.php?option=com_content&view=article&id=62&Itemid=29f)  
(Pridobljeno 3. 8. 2016.)

[8] Zdrava hiša. 2016.

<http://zdravahisa.si/naravni-gradbeni-materiali/naravna-izolacija/> (Pridobljeno 13. 8. 2016.)

[9] Baunit. 2016.

<http://www.baunit.si/proizvodi/fasadni-sistemi/index.html> (Pridobljeno 3. 8. 2016.)

[10] FassaBortolo. 2016.

<http://www.fassabortolo.com/dettaglio/prodotti/0-sughero/base-1/sughero.html>  
(Pridobljeno 3. 8. 2016.)

[11] NEP. 2016.

<http://nep.vitra.si/?nid=50> (Pridobljeno 4. 8. 2016.)

[12] Rockwool. 2016.

<http://www.rockwool.si/files/RW-HR/PDFs%20and%20other%20documents/Product%20leaflets%20and%20brochures/ROCKWOOL-PrezracevaneFasade-SI.pdf> ( Pridobljeno 11. 8. 2016.)

[13] Delo in dom. 2016.

<http://www.deloindom.si/zunanji-ovoj/izolacije-fasade-brez-zimske-vlage-poletnega-pregrevanja> (Pridobljeno 11. 8. 2016.)

[14] Ministrstvo za okolje in prostor. 2010. Tehnična smernica za graditev TSG-1-004:2010, Učinkovita raba energije.

[http://www.arhiv.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/zakonodaja/prostor/graditev/TSG-01-004\\_2010.pdf](http://www.arhiv.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/zakonodaja/prostor/graditev/TSG-01-004_2010.pdf) (Pridobljeno 1. 8. 2016.)

[15] Ministrstvo za okolje in prostor. 2002. Pravilnik o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah.

<http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?urlid=200242&stevilka=2012> (Pridobljeno 11. 8. 2016.)

[16] Zavrl, E., 2014. Prehod toplote skozi konstrukcijski sklop-primerjava enodimenzionalnega in dvodimenzionalnega izračuna. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Košir, M., somentorica Kristl, Ž.): 39 str.

[17] Plag, R., 2011. U-wert. Spletna stran za energijsko učinkovito načrtovanje. (Pridobljeno 22. 7. 2016.)

[18] Meteo. 2016.

<http://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/tables/pravilnik-ucinkoviti-rabi-energije/> (Pridobljeno 3. 8. 2016.)

[19] Korkoski, D., 2015. Vpliv sestave zunanje stene na izpolnjevanje gradbeno fizikalnih zahtev. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Kunič, R.): 56 str.

## **SEZNAM PRILOG**

<b>PRILOGA A.</b>	<b>KARTA PROJEKTHIH ZUNANJH TEMPERATUR [18]</b> .....	<b>A1</b>
<b>PRILOGA B.</b>	<b>GLAVNO OKNO IZ U-WERTA ZA VNOS PODATKOV [17]</b> .....	<b>B1</b>
<b>PRILOGA C.</b>	<b>PRIMER REZULTATA IZ U-WERT-A OSNOVNEGA KS BREZ KONDENZA [17]</b> .....	<b>C1</b>
<b>PRILOGA D.</b>	<b>PRIMER REZULTATA IZ U-WERT-A KS S PREZRAČEVANO FASADO [17]</b> .....	<b>D1</b>



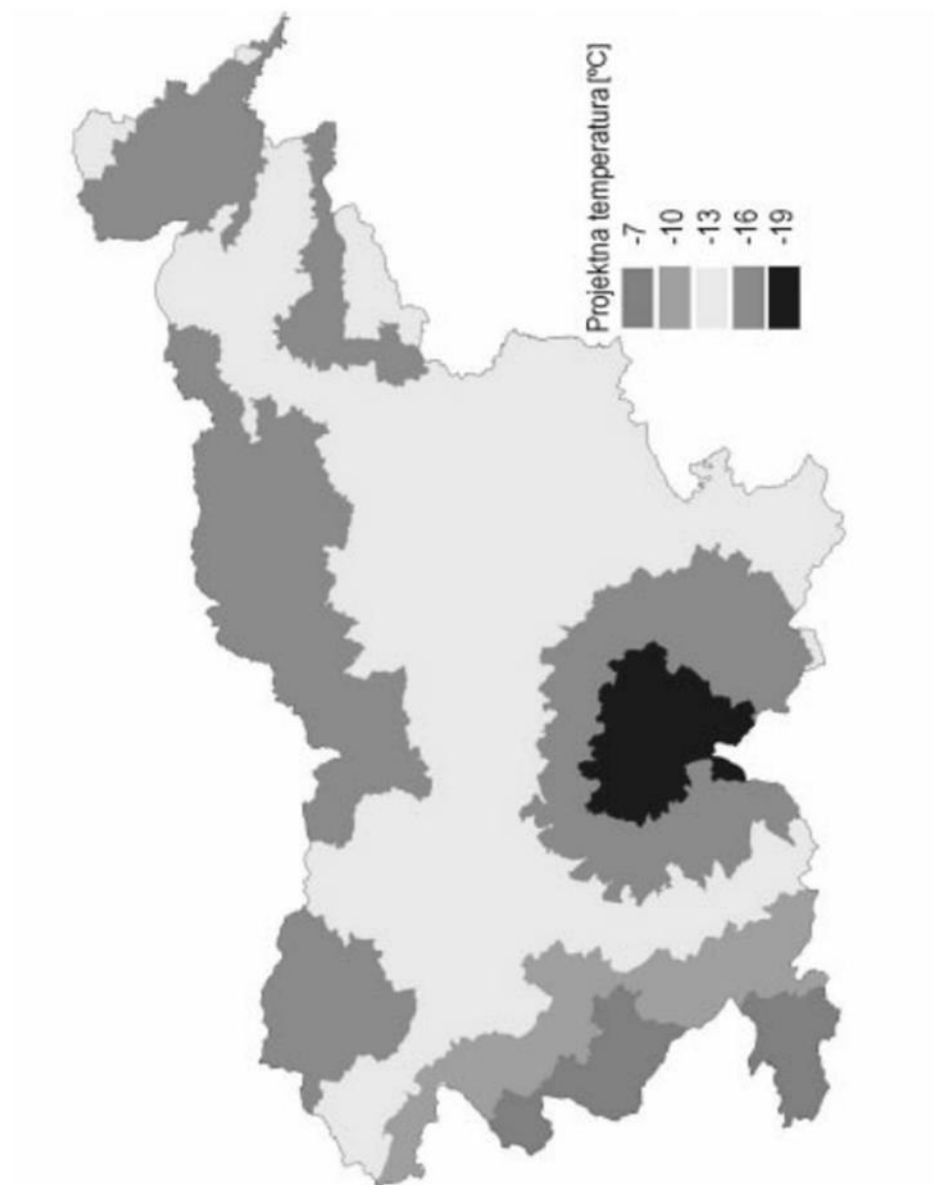
## PRILOGA A. KARTA PROJEKTHNIH ZUNANJH TEMPERATUR [18]

PRILOGA 2

### GRAFIČNE PODNEBNE PODLAGE<sup>1</sup>

Karta 1

Karta območij projektne zunanje temperature



<sup>1</sup> Krajevno ugotovljeni podatki o projektni zunanji temperaturi, o temperaturnem primanjkljaju, o trajanju ogrevalne sezone in o globalnem sončnem obsevanju (pregled po katastrskih občinah v Republiki Sloveniji) so dostopni na spletnih straneh Ministrstva za okolje in prostor:  
<http://www.gov.si/mop/zakonodaja/zakoni/prostor/graditev.htm>





## PRILOGA B. GLAVNO OKNO IZ U-WERTA ZA VNOS PODATKOV [17]

**U-Wert: 0,184 W/m²K**

Condensate: 1,3 kg/m²  
 moisture content of wood: +0,0 %  
 Drying time: 22 Tage

sd-value: 1,5 m  
 Thickness: 36,7 cm  
 Weight: 160 kg/m²

Interior surface: 18,5°C (71%)  
 Drying reserve: 4046 g/m²a

Temperature Amplitude Attenuation: 93,5  
 phase shift: 15 h  
 Heat storage capacity: 114 kJ/m²K

Gut Mangelhaft Gut Mangelhaft Mangelhaft Gut Mangelhaft Gut

All data and calculations are for information only and must be checked prior to use by a competent person. You agree to our [terms and conditions](#).



**PRILOGA C.  
 KONDEZA**

**PRIMER REZULTATA IZ U-WERT-A OSNOVNEGA KS BREZ  
 [17]**



Alle Angaben ohne Gewähr

**zunanja stena 3 (AB + kamena volna)**

Exterior wall, U=0,277 W/m²K  
 created on 10.8.2016

**thermal protection**

**U = 0,28 W/m²K**

EnEV Bestand\*: U<0,24 W/m²K



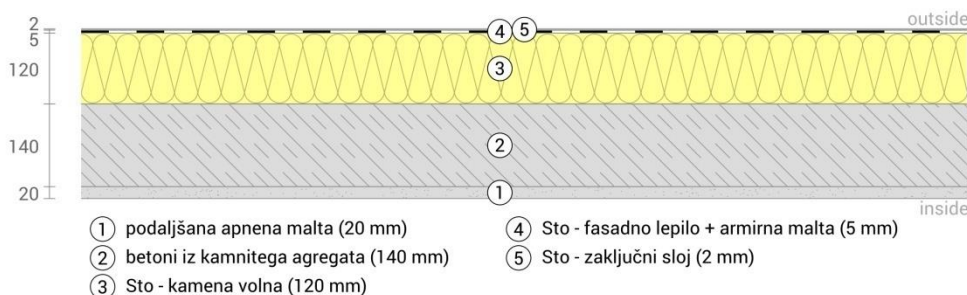
**Moisture proofing**

No condensate



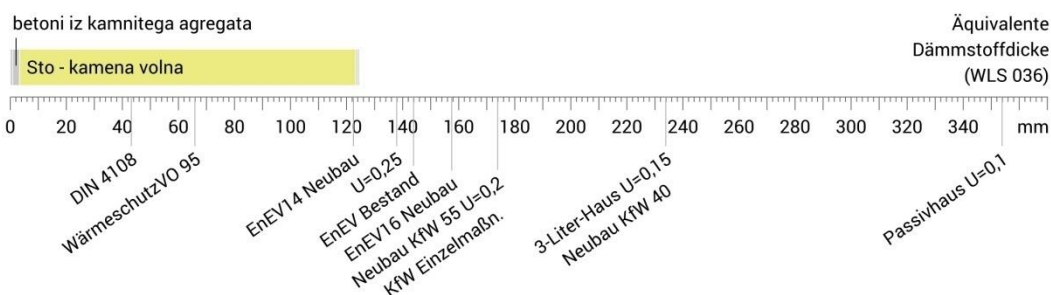
**Heat protection**

Temperature amplitude damping: 94  
 phase shift: 9,0 h  
 Thermal capacity inside: 337 kJ/m²K



**Impact of each layer and comparison to reference values**

For the following figure, the thermal resistances of the individual layers were converted in millimeters insulation. The scale refers to an insulation of thermal conductivity 0,036 W/mK.



Inside air :	20,0°C / 65%	Thickness:	28,7 cm
Outside air:	-13,0°C / 90%	Weight:	393 kg/m²
Surface temperature.:	17,8°C / -12,6°C	Heat capacity:	380 kJ/m²K
	sd-value: 9,1 m		

\*Comparison to the maximum U-value according to the german EnEV 2014/2016 for first-time installation or renewal of Außenwänden (Anlage 3, Tabelle 1, Zeile 1). Page 1

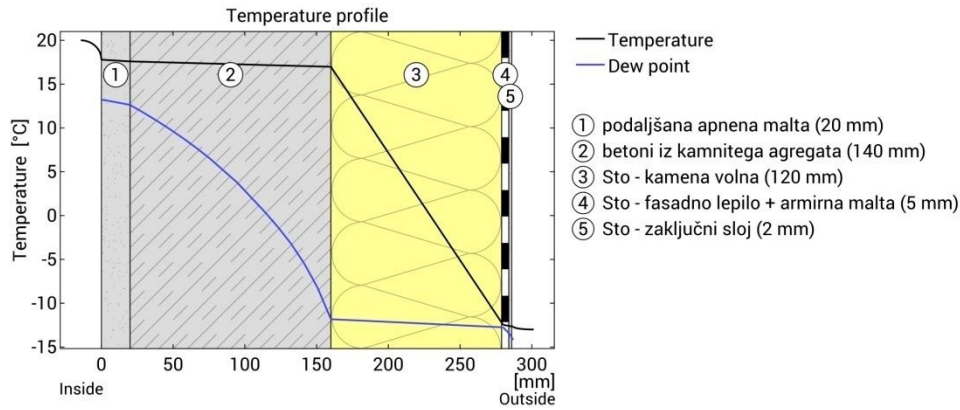
[Hier klicken, um das Bauteil auf www.u-wert.net zu bearbeiten.](http://www.u-wert.net)



Alle Angaben ohne Gewähr

zunanja stena 3 (AB + kamena volna), U=0,277 W/m<sup>2</sup>K

### Temperature profile



Temperature and dew-point temperature in the component. The dew-point indicates the temperature, at which water vapour condensates. As long as the temperature of the component is everywhere above the dew-point temperature, no condensation occurs. If the curves have contact, condensation occurs at the corresponding position.

### Layers (from inside to outside)

#	Material	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]	Temperatur [°C] min max	Weight [kg/m <sup>2</sup> ]
	Thermal contact resistance*		0,130	17,8 20,0	
1	2 cm podaljšana apnena malta	0,870	0,023	17,6 17,8	36,0
2	14 cm betoni iz kamnitega agregata	2,040	0,069	17,0 17,6	336,0
3	12 cm Sto - kamena volna	0,036	3,333	-12,5 17,0	13,2
4	0,5 cm Sto - fasadno lepilo + armirna malta	0,270	0,019	-12,6 -12,5	5,0
5	0,2 cm Sto - zaključni sloj	0,700	0,003	-12,6 -12,6	3,6
	Thermal contact resistance*		0,040	-13,0 -12,6	
	28,7 cm Whole component		3,616		393,8

\*Wärmeübergangswiderstände gemäß DIN 6946 für die U-Wert-Berechnung. Für Feuchteschutz und Temperaturverlauf wurden R<sub>si</sub>=0,25 und R<sub>se</sub>=0,04 gemäß DIN 4108-3 verwendet.

Oberflächentemperatur innen (min / mittel / max): 17,8°C 17,8°C 17,8°C  
 Oberflächentemperatur außen (min / mittel / max): -12,6°C -12,6°C -12,6°C

zunanja stena 3 (AB + kamena volna), U=0,277 W/m<sup>2</sup>K

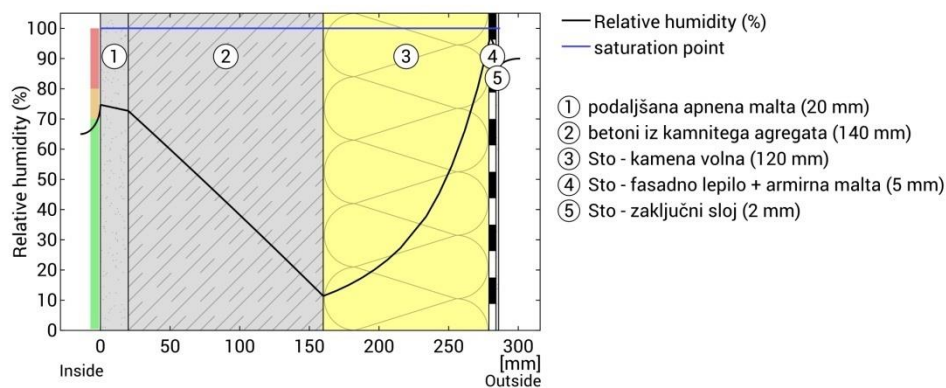
## Moisture proofing

This component is free of condensate under the given climate conditions.

#	Material	sd-value [m]	Condensate		Weight
			[kg/m <sup>2</sup> ]	[Gew.-%]	[kg/m <sup>2</sup> ]
1	2 cm podaljšana apnena malta	0,40	-	-	36,0
2	14 cm betoni iz kamnitega agregata	8,40	-	-	336,0
3	12 cm Sto - kamena volna	0,12	-	-	13,2
4	0,5 cm Sto - fasadno lepilo + armirna malta	0,10	-	-	5,0
5	0,2 cm Sto - zaključni sloj	0,07	-	-	3,6
28,7 cm Whole component		9,09			393,8

## Humidity

The temperature of the inside surface is 17,8 °C leading to a relative humidity on the surface of 75%. Manche Arten von Bauschimmel gedeihen ab einer Luftfeuchtigkeit von 70%, Schimmelbildung kann nicht ausgeschlossen werden. Um Schimmelbildung zu vermeiden, sollte die Oberflächentemperatur durch (zusätzliche) Dämmung erhöht werden. The following figure show the relative humidity inside the component.



Diese Berechnung wurde mit einem benutzerdefinierten Klima für die Tauperiode durchgeführt, das von der DIN 4108-3 abweicht.

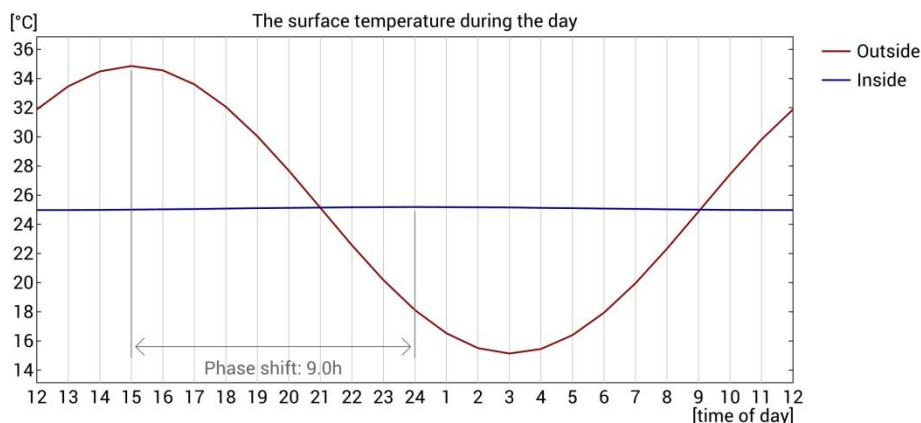
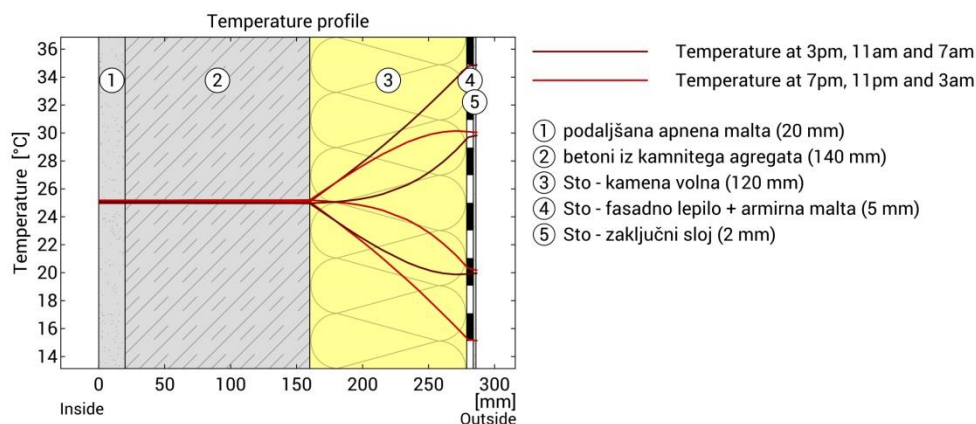


Alle Angaben ohne Gewähr

zunanja stena 3 (AB + kamena volna), U=0,277 W/m<sup>2</sup>K

## Heat protection

For the analysis of the heat protection, the temperature changes within the component were simulated during a hot summer day:



**Top:**Temperature profile within the component at different times. From top to bottom, brown lines: at 3 pm, 11 am and 7 am and red lines at 7 pm, 11 pm and 3 am.

**Bottom:**Temperature on the outer ( red ) and inner ( blue ) surface in the course of a day. The arrows indicate the location of the temperature maximum values . The maximum of the inner surface temperature should preferably occur during the second half of the night.

Phase shift*	9,0 h	Time of maximum interior temperature	0:00
Amplitude attenuation **	94,3	Thermal fluctuation on exterior surface:	19,7°C
TAV***	0,011	Temperature fluctuation on interior surface	0,2°C

\* The phase shift is the time in hours after which the temperature peak of the afternoon reaches the component interior.

\*\* The amplitude attenuation describes the attenuation of the temperature wave when passing through the component. A value of 10 means that the temperature on the outside varies 10x stronger than on the inside, e.g. outside 15-35 °C, inside 24-26 °C.

\*\*\*The temperature amplitude ratio TAV is the reciprocal of the attenuation: TAV = 1 / amplitude attenuation

**PRILOGA D. PRIMER REZULTATA IZ U-WERT-A KS S PREZRAČEVANO FASADO [17]**



Alle Angaben ohne Gewähr

**PF zunanja stena 14 (porobeton + EPS)**

Exterior wall, U=0,273 W/m²K  
 created on 22.8.2016

**thermal protection**

**U = 0,27 W/m²K**

EnEV Bestand\*: U<0,24 W/m²K



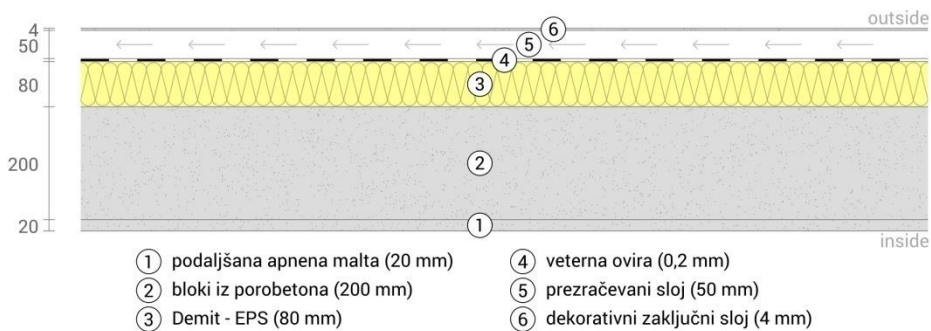
**Moisture proofing**

Condensate: 460 g/m²  
 Dries 26f days



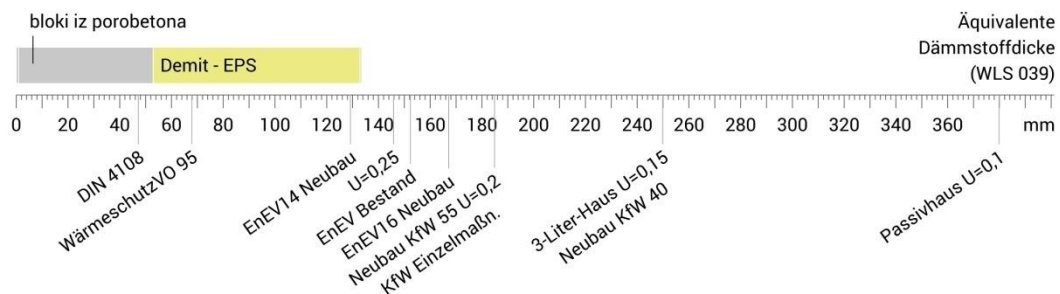
**Heat protection**

Temperature amplitude damping: 41  
 phase shift: 12,0 h  
 Thermal capacity inside: 101 kJ/m²K



**Impact of each layer and comparison to reference values**

For the following figure, the thermal resistances of the individual layers were converted in millimeters insulation. The scale refers to an insulation of thermal conductivity 0,039 W/mK.



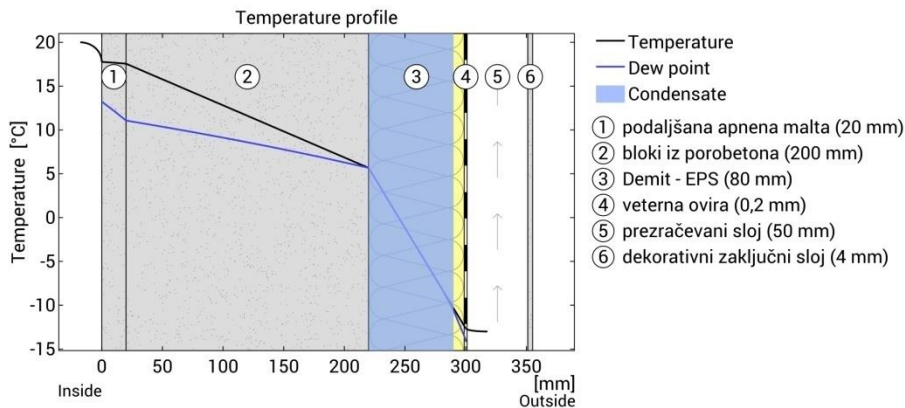
Inside air :	20,0°C / 65%	Thickness:	35,4 cm
Outside air:	-13,0°C / 90%	Weight:	147 kg/m²
Surface temperature.:	17,8°C / -12,6°C	sd-value:	3,6 m
		Heat capacity:	126 kJ/m²K

\*Comparison to the maximum U-value according to the german EnEV 2014/2016 for first-time installation or renewal of Außenwänden (Anlage 3, Tabelle 1, Zeile 1). Page 1

[Hier klicken, um das Bauteil auf www.u-wert.net zu bearbeiten.](http://www.u-wert.net)

PF zunanja stena 14 (porobeton + EPS), U=0,273 W/m<sup>2</sup>K

### Temperature profile



Temperature and dew-point temperature in the component. The dew-point indicates the temperature, at which water vapour condensates. As long as the temperature of the component is everywhere above the dew-point temperature, no condensation occurs. If the curves have contact, condensation occurs at the corresponding position.

### Layers (from inside to outside)

#	Material	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]	Temperatur [°C]		Weight [kg/m <sup>2</sup> ]
				min	max	
	Thermal contact resistance*		0,130	17,8	20,0	
1	2 cm podaljšana apnena malta	0,870	0,023	17,6	17,8	36,0
2	20 cm bloki iz porobetona	0,150	1,333	5,7	17,6	100,0
3	8 cm Demit - EPS	0,039	2,051	-12,6	5,7	1,2
4	0,02 cm veterna ovira	0,200	0,001	-12,6	-12,6	0,2
	Thermal contact resistance*		0,130	-13,0	-12,6	
5	5 cm prezračevani sloj			-13,0	-13,0	0,0
6	0,4 cm dekorativni zaključni sloj			-13,0	-13,0	10,0
35,42 cm Whole component			3,669			147,4

\*Wärmeübergangswiderstände gemäß DIN 6946 für die U-Wert-Berechnung. Für Feuchteschutz und Temperaturverlauf wurden Rsi=0,25 und Rse=0,04 gemäß DIN 4108-3 verwendet.

Oberflächentemperatur innen (min / mittel / max): 17,8°C 17,8°C 17,8°C  
 Oberflächentemperatur außen (min / mittel / max): -12,6°C -12,6°C -12,6°C



PF zunanja stena 14 (porobeton + EPS),  $U=0,273 \text{ W/m}^2\text{K}$

## Moisture proofing

Während der winterlichen Tauperiode von 90 Tagen fallen in diesem Bauteil insgesamt 0,460 kg Tauwasser pro Quadratmeter an. Diese Menge trocknet im Sommer innerhalb von 22 Tagen ab (Drying season according to DIN 4108-3:2014-11).

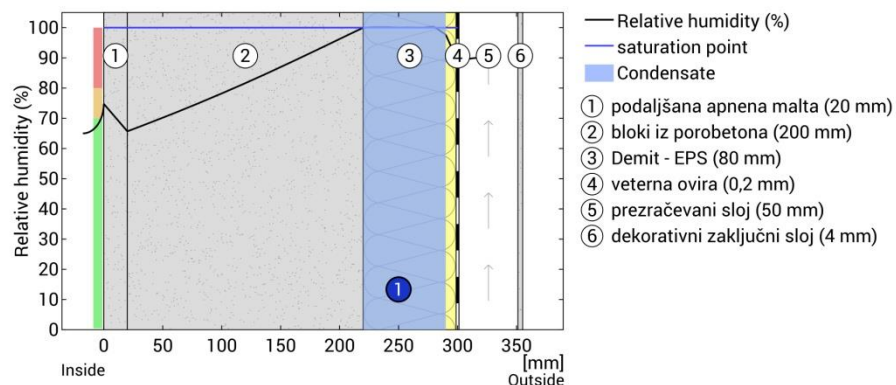
#	Material	sd-value [m]	Condensate [kg/m <sup>2</sup> ] [Gew.-%]	Weight [kg/m <sup>2</sup> ]
1	2 cm podaljšana apnena malta	0,40	-	36,0
2	20 cm bloki iz porobetona	0,80	0,089	100,0
3	8 cm Demit - EPS	2,40	0,46	1,2
4	0,02 cm veterna ovira	0,02	-	0,2
35,42 cm Whole component		3,62	0,46	147,4

## Condensation areas

- ① Condensate: 0,46 kg/m<sup>2</sup> Drying time: 22 Days  
Betroffene Schichten: Demit - EPS, bloki iz porobetona

## Humidity

The temperature of the inside surface is 17,8 °C leading to a relative humidity on the surface of 75%. Manche Arten von Bauschimmel gedeihen ab einer Luftfeuchtigkeit von 70%, Schimmelbildung kann nicht ausgeschlossen werden. Um Schimmelbildung zu vermeiden, sollte die Oberflächentemperatur durch (zusätzliche) Dämmung erhöht werden. The following figure show the relative humidity inside the component.

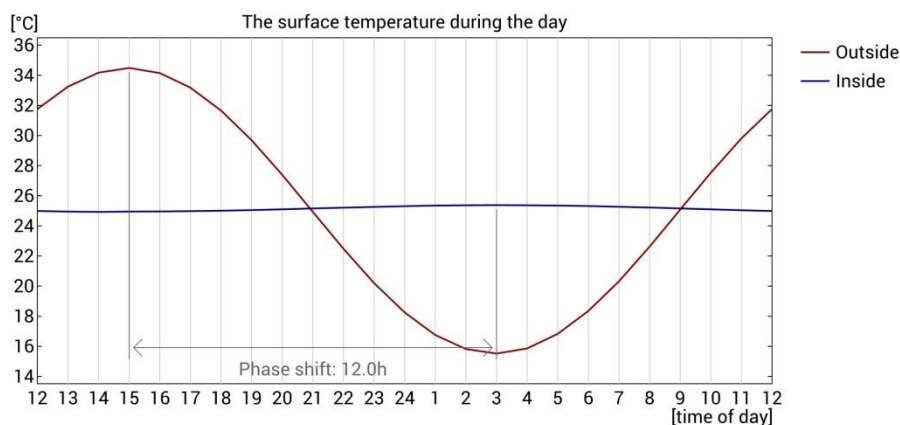
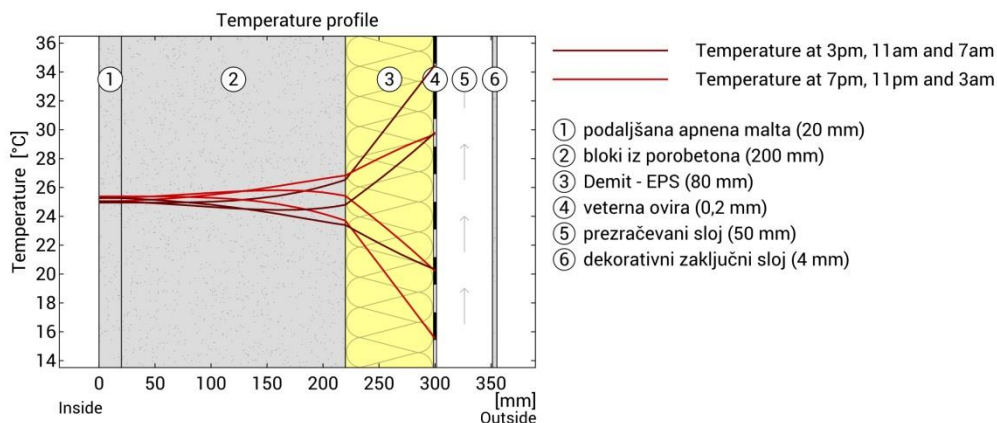


Diese Berechnung wurde mit einem benutzerdefinierten Klima für die Tauperiode durchgeführt, das von der DIN 4108-3 abweicht.

PF zunanja stena 14 (porobeton + EPS),  $U=0,273 \text{ W/m}^2\text{K}$

## Heat protection

For the analysis of the heat protection, the temperature changes within the component were simulated during a hot summer day:



**Top:** Temperature profile within the component at different times. From top to bottom, brown lines: at 3 pm, 11 am and 7 am and red lines at 7 pm, 11 pm and 3 am.

**Bottom:** Temperature on the outer (red) and inner (blue) surface in the course of a day. The arrows indicate the location of the temperature maximum values. The maximum of the inner surface temperature should preferably occur during the second half of the night.

Phase shift*	12,0 h	Time of maximum interior temperature	3:00
Amplitude attenuation **	41,2	Thermal fluctuation on exterior surface:	19,0°C
TAV***	0,024	Temperature fluctuation on interior surface	0,5°C

\* The phase shift is the time in hours after which the temperature peak of the afternoon reaches the component interior.

\*\* The amplitude attenuation describes the attenuation of the temperature wave when passing through the component. A value of 10 means that the temperature on the outside varies 10x stronger than on the inside, e.g. outside 15-35 °C, inside 24-26 °C.

\*\*\*The temperature amplitude ratio TAV is the reciprocal of the attenuation:  $TAV = 1 / \text{amplitude attenuation}$