

Fasada od tekućeg pluta

Delić, Adnan

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:891896>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-20**



image not found or type unknown *Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

Adnan Delić

Fasada od tekućeg pluta

Završni rad

Rijeka, 2022.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Preddiplomski sveučilišni studij građevinarstva
Fizika zgrade**

**Adnan Delić
JMBAG: 0114030224**

Fasada od tekućeg pluta

Završni rad

Rijeka, rujan 2022.

IZJAVA

Završni rad izradio sam samostalno, u suradnji s mentorom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

Adnan Delić

U Rijeci, 31. kolovoz 2022.

SAŽETAK

Tema ovog rada je Izrada fasade od tekućeg pluta. Cilj je povećati fokus na izbor materijala koji je od presudne važnosti kako za očuvanje okoliša, tako i za očuvanje ljudskog zdravlja, količinu utrošenog novca, vremena za gradnju. U današnje vrijeme važnost odabira materijala za toplinsku izolaciju nije dovoljno razvijena te također cilj je prikazati pogodnosti korištenja prirodnih materijala čija je prednost to što se mogu reciklirati.

Rad je strukturiran u četiri cjeline, uvodni dio, teorijski dio, proračune te zaključak. U teorijskom dijelu definirani su najvažniji pojmovi, svojstva, tehnički podaci, prednosti te način upotrebe i nanošenja. Drugi dio rada baziran je na proračunima koji prikazuju konkretne brojeve.

Ključne riječi; fasada, tekuće pluto, toplinska provodljivost, difuzija vodene pare, obnovljivi materijali

SUMMARY

Topic of this final paper is a production of a facade from liquid cork. The goal is to increase the focus on the choice of the materials, which has a crucial importance for the preservation of the environment, for the maintain human health, as also for the amount of spent money and time for production.

Today, the importance of choosing materials for thermal insulation is not sufficiently developed and the aim is to show the benefits of using natural materials, and the advantage that it can be recycled.

This paper is structured in four units; introduction, theoretical part, calculations and conclusion. In the theoretical part are shown the most important concepts, properties, technical data, advantages and the method of use and application defined. The second part of the work is based on calculations that show specific numbers.

Keywords: facade, liquid cork, thermal conductivity, diffusion, renewable materials

SADRŽAJ

SAŽETAK

SUMMARY

POPIS SLIKA

POPIS GRAFIKONA

POPIS TABLICA

1. UVOD.....	1
2. DEFINIRANJE I UPORABA TEKUĆEG PLUTA.....	2
2.1. Opće informacije o tekućem plutu.....	2
2.2. Svojstva i tehnički podaci.....	5
2.3. Otpornost pluta.....	10
2.4. Način upotrebe i nanošenja.....	13
3. PRORAČUNI VAŽNIH KRITERIJA.....	17
3.1. Proračun toplinske vodljivosti.....	23
3.2. Proračun difuzije vodene pare.....	25
4. ZAKLJUČAK.....	37
POPIS LITERATURE.....	39

Popis slika

Slika 1: Berba hrasta plutnjaka [1].....	3
Slika 2: Primjena pluta [2].....	4
Slika 3: Berba ručnim sjekirama [11].....	5
Slika 4: Tehničke karakteristike tekućeg pluta [13]	6
Slika 5: Primjena tekućeg pluta [8].....	7
Slika 6: Rezultati istraživanja i norme [8].....	8
Slika 7: Karakteristike pluta kao izolatora [7]	10
Slika 8: Mikroskopski prikaz pluta [6].....	11
Slika 9: Garancija [8].....	12
Slika 10: Pakiranje tekućeg pluta [4]	13
Slika 11: Priprema tekućeg pluta [2].....	14
Slika 12: Nanošenje tekućeg pluta [4].....	15
Slika 13: Primjena tekućeg pluta direktno na ciglu, Zagreb [4]	16
Slika 14: Toplinska provodljivost [9]	18
Slika 15: Prije/nakon [16]	21
Slika 16: Difuzija [15].....	24
Slika 17: Proračun broj 1 (1.dio).....	25
Slika 18: Proračun br.1 (2.dio).....	26
Slika 19: Proračun br.1 (3.dio).....	27
Slika 20: Proračun br.2. (1.dio)	29
Slika 21: Proračun br.2 (2.dio).....	30
Slika 22: Proračun br.2 (2. dio)	31
Slika 23: Proračun br.3 (prvi dio)	33
Slika 24: Proračun br.3 (drugi dio).....	34

Popis tablica

Tablica 1: Izračun toplinske vodljivosti- ekspandirani polistiren.....	18
Tablica 2: Izračun toplinske vodljivosti- kamena vuna.....	19
Tablica 3: Izračun toplinske vodljivosti- staklena vuna.....	19
Tablica 4: Izračun toplinske vodljivosti- lagane plutene ploče	20
Tablica 5: Izračun toplinske vodljivosti- tekuće pluto	20
Tablica 6: Približne vrijednosti faktora otpora difuziji vodene pare za neke odabrane materijale [5]	23

Popis grafikona

Grafikon 1: Proračun 1: Prikaz prolaza topline kroz zid.....	28
Grafikon 2: Proračun 1: Prikaz difuzije vodene pare	28
Grafikon 3: Proračun 2: Prikaz prolaza topline kroz zid.....	32
Grafikon 4: Proračun 2: Prikaz difuzije vodene pare.....	32
Grafikon 5: Proračun 3: Prikaz prolaza topline kroz zid.....	35
Grafikon 6: Proračun 3: prikaz prolaza topline kroz zid	35

1. UVOD

Tema ovog završnog rada je „Fasada od tekućeg pluta“. Razlog izbora navedene teme je prikazati i istražiti mogućnost manje popularne, ne tradicionalne opcije izolacije objekta koja je ujedno i ekološki prihvatljiva. U RH i šire zanemarena je upotreba prirodnih materijala zbog nedovoljne informiranosti o mogućim izborima termo izolacijskih materijala. Izbor kvalitetne izolacije objekta, uvelike utječe na uštede u kućnom budžetu. Grijanje i hlađenje prostora u kojem se živi i boravi iziskuje visoke troškove, stoga je vrlo korisno ako možemo nekim načinom napraviti znatne uštede. Osim toga, ako nije napravljena dovoljna izolacija dolazi do velikih toplinskih gubitaka tijekom zime i oštećenja zbog kondenzacije ljeti. Također, loša izolacija utječe i na zdravlje.

Prilikom izrade toplinske izolacije objekta, učestalo se koriste stiropor i mineralna vuna. Oni su izolatori koji su cjenovno pristupačni, učinkoviti te zadovoljavaju koeficijente toplinske provodljivosti. Navedene vrste izolatora toplinske izolacije su zastupljeni i popularni u današnjoj primjeni. Kod izbora materijala ključni su brojni čimbenici koji su spomenuti u radu. Prednost korištenja pluta je to što je on prirodna sirovina, koja se može reciklirati te je tako obnovljiv.

Ovaj rad je strukturiran u četiri cjeline. Na samom početku nalazi sadržaj rada, popis slika i tablica te nakon toga slijedi uvodni dio koji ukratko objašnjava temu i cilj rada te prikazuje strukturu rada. Drugo poglavlje „Definiranje i uporaba tekućeg pluta“ predstavlja teorijski dio, dok treće poglavlje sadrži proračune važnih kriterija odabira materijala. Na samom kraju nalazi se zaključak i popis literature. Podaci korišteni pri izradi završnog rada prikupljeni su iz raznih izvora, stručne literature, znanstvenih i stručnih članaka, internetskih izvora te vlastitih izračuna.

2. DEFINIRANJE I UPORABA TEKUĆEG PLUTA

U ovom poglavlju prikazane su opće informacije o plutu, od njegova nastanka, specifikacija do uporabe i korištenja. Također, istaknute su prednosti njegova korištenja.

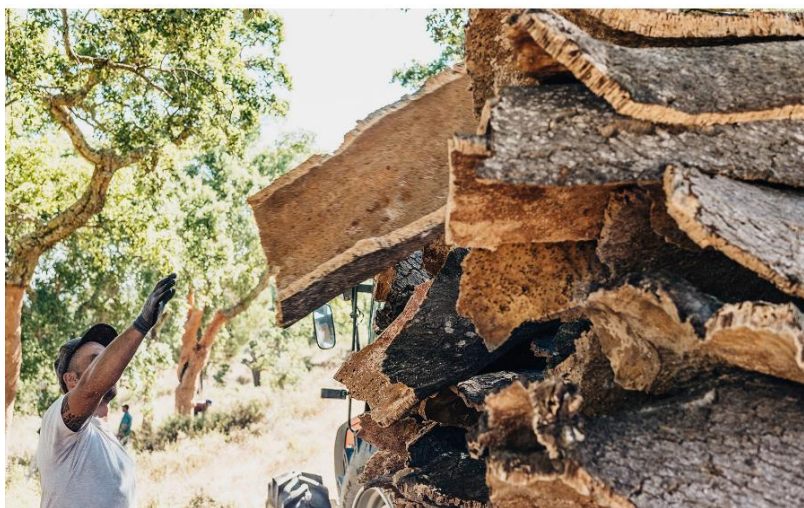
2.1. Opće informacije o tekućem plutu

Pluto osim što je u cijelosti prirodna sirovina, on je obnovljiv i može se reciklirati. Porijeklo pluta je od hrasta plutnjaka, poznatog pod latinskim nazivom *Quercus suber*. Učinkovitost hrasta plutnjaka proizlazi iz njegovog staničnog sastava koja se sastoji od mrtvih stanica čija unutrašnjost postaje ispunjena zrakom poput plina. Pluto je lagano i elastično te se može komprimirati zahvaljujući plinu koji čini čak 90% sastava pluta.

Proizvodnja pluta najzastupljenija je u Španjolskoj i Portugalu, a provodi se na isti način kao i u prošlosti. Procjenjuje se da postoji više od 2,2 milijuna hektara šume pluta, od čega 23% u Portugalu. Osim Portugala i Španjolske, proizvodnja pluta dolazi i iz Italije, Francuske, Maroka, Tunisa i Alžira. Skidanje pluta je jedan od najbolje plaćenih poslova na svijetu zbog potrebe za visokom stručnosti za berbu bez oštećenja. Slika 1 prikazuje koru hrasta plutnjaka nakon berbe.¹

Kora hrasta plutnjaka može se skidati višekratno, prvi put to se radi nakon dvadeset i pet godina starosti, a kasnije svakih sedam do deset. Taj proces se može provoditi otprilike stotinu godina i više. U prosjeku, drvo hrasta može dati oko dvadeset i pet kilograma pluta. Pluto određeno vrijeme nakon skidanja stoji, nakon čega se kuha kako bi omekšalo i kako bi kiseline izišle. Potom slijedi faza sušenja i oblikovanja.

¹ Amorim cork composites; *Cork Oak Forest*, <https://amorimcorkcomposites.com/en/why-cork/facts-and-curiosities/about-oak-forest/> (pristupano 12.08.2022.)



Slika 1: Berba hrasta plutnjaka [1]

Pluto ne propušta vodu i plinove te predstavlja dobru zaštitu od transpiracije, a zbog elastičnosti i čvrstoće njegovih stanica štiti i od mehaničkih oštećenja koja su gotovo uvijek prisutna. „Granule pluta se sastoje od gusto zbijenih četverobridnih stanica bez međustaničnog prostora, a te stanice su ispunjene zrakom.“²

Primjena pluta je raznovrsna što prikazuje slika 2., najpoznatije korištenje pluta je za izradu čepova za boce, osim toga koristi se i u građevinskoj kao i modnoj industriji. Pluto je materijal od kojeg se izrađuju i pojasevi za spašavanje, koristi se i za oblaganje cijevi, razne uloške na zatvaračima i čepovima od kovina. Pluto se čak koristi kao izolacijski materijal u izgradnji svemirskih modula.³

² DK Centar, *Izolacija tekućim plutom*, dostupno na: <https://www.dkcentar.hr/tekuce-pluto/> (pristup 12.08.2022.)

³ Bogdan A., *Građevni materijali: Tekuće pluto za unutarnje i vanjske izolacije*, Građevinar 70 (2018) 12, Hrvatski savez građevinskih inženjera, Zagreb 2018.



Slika 2: Primjena pluta [2]

„Glavne karakteristike pluta su:⁴

- lakoća – teži samo 0.16 g po centimetru kubnom i može plutati,
- fleksibilnost- pluto je jedina čvrsta tvar koja kad se stisne s jedne strane ne poveća volumen s druge strane. To mu omogućava prilagodbe varijacijama u tlaku i temperaturi,
- nepropusnost ,
- otpornost na truljenje – otporan na vlagu, oksidaciju i propadanje,
- izvrstan izolator - toplinski, zvučni i vibracijski,
- prednosti u kvaliteti u građevini,
- Može se reciklirati i 100% je prirodan.“

U Portugalu, hrast plutnjak je nacionalno drvo, šume tog hrasta su također dom od brojnih ugroženih vrsta životinja i kukaca. Zanimljivo je da hrast kutnjak je otporan na

⁴ Amorim cork composites; *About Cork; Facts and curiosities*, dostupno na: <https://amorimcorkcomposites.com/en/why-cork/facts-and-curiosities/about-cork/> (pristup 12.08.2022.)

požare, njegova kora djeluje kao toplinska izolacija i pomaže u smanjenju učestalosti šumskih požara. Kora se bere ručno, malim sjekirama što je prikazano na slici 3.



Slika 3: Berba ručnim sjekirama [11]

Za berbu kore hrasta plutnjaka koriste i magarce kako bi uspjeli doći do nepristupačnih mjesta.⁵

2.2 Svojstva i tehnički podaci

Tekuće pluto je izolacija koju možemo uzeti u obzir kao toplinsku, hidro i zvučnu izolaciju i koristiti ga kao zamjenu za stiropor i kamenu vunu. Pluto ima svojstvo vodonepropusnosti, ali u isto vrijeme visoke paropropusnosti što naravno pogodno

⁵ Preferred by Nature: FSC-certified cork oak forest: a photo essay; dostupno na; <https://preferredbynature.org/newsroom/fsc-certified-cork-oak-forest-photo-essay> (pristupano na 12.08.2022.)

utječe na objekt jer mu omogućava „disanje“ te samim time sprječava pojavljivanje vlage, gljivica i plijesni. Slika 4 prikazuje tehničke karakteristike proizvođača pluta.

TECHNICAL DATA

CHARACTERISTICS	RESULTS	REGULATION
Thermal conductivity	0,059 W/m ² K	EN 12667
Heat flow test	Considerable decrease: 69'15%	
Permeability to water vapor	Class I: Permeable to water vapor	EN 1504-2
Permeability to liquid water	0,05 kg/(m ² ·h ^{0.5}) < 0,1 kg/(m ² ·h ^{0.5}) AS REQUESTED	UNE-EN 1062-3
Adhesion by direct traction	0,9 MPa	UNE-EN 1542
Acoustic absorption class	Type E	UNE-EN ISO 354
Slip resistance	Class 3 (suitable for any surface)	UNE-ENV 12633
Artificial aging (3000 cycles)	No change in appearance, cracking, peeling, blistering, or loss of adhesion	UNE-EN ISO 11507
Fire resistance	Euroclass B - s1 - d0	UNE-EN 13501-1+A1
Asbestos fiber encapsulation	Prevents dispersion of asbestos fiber	UNI 10686
CE marked conformity	Obtained	UNE-EN 1504-2

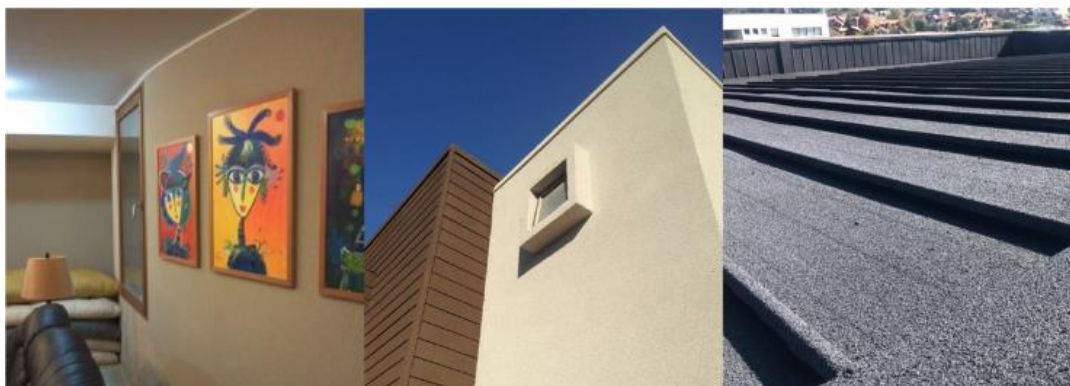
Slika 4: Tehničke karakteristike tekućeg pluta [13]

Problem koji je također često prisutan kod izvođenja toplinske izolacije je pojava toplinskog mosta, što za fasadu od tekućeg pluta nije slučaj zbog toga što je sloj iznimno tanak te samim time se može ravnomjerno nanijeti i na problematičnim mjestima kao što su otvori, tj. špalete otvora i ostati u funkciji završnog sloja fasade bez ikakve daljnje obrade. Estetici doprinosi i mogućnost miješanja pigmenata u smjesu, stoga vizualno gotovo da i ne odskače od klasičnih akrilnih i silikatnih žbuka koje poznajemo kao završni fasadni sloj.⁶

Poduzeće Isolcork specijalizirano je za održiva rješenja pluta i gume za građevinsku industriju. Bave se nanošenjem tekućeg pluta, na unutarnje i vanjske podloge te krovove.

⁶ DK Centar, *Izolacija tekućim plutom*, dostupno na: <https://www.dkcentar.hr/tekuce-pluto/> (pristup 12.08.2022.)

Završna obrada u boji za interijere i eksterijere, elastična je i ekološka, na bazi pluta sa smolom na bazi vode te ima visoku toplinsku otpornost, izolacijska moć... Može se koristiti za vanjsko i unutarnje uređenje fasade, sanaciju krovišta ili završnu žbuku za termo akustičnu izolaciju (EIFS), jer sprječava upijanje vode. Na slici 5 je prikazana primjena tekućeg pluta u unutrašnjem prostoru, vanjski prostor – fasada te krov.⁷



Slika 5: Primjena tekućeg pluta [8]

Preporuke dobavljača koje je potrebno usvojiti su sljedeće:⁸

- čista i suha površina,
- ispravno skladištenje proizvoda – dobro prozračeno, zaštićeno od sunčeve svjetlosti, vode i mraza, na temperaturi između +41° F i +86° F
- Vrijeme skladištenja do 12 mjeseci

Poduzeće Isolcork iz SAD-a specijalizirano je za održiva rješenja za pluto. Prema istraživanju koje su proveli na slici 6 su prikazani rezultati raznih faktora poput otpora na vodenu paru, paropropusnosti, vodonepropusnosti, toplinske izolacijske R-vrijednosti, akustične izolacije i drugih koji su u skladu s normama.

⁷ Isolcork, dostupno na; <https://www.isolcork.cl/en/> (pristup 12.08.2022.)

⁸ Isolcork, dostupno na; <https://www.isolcork.cl/en/> (pristup 12.08.2022.)

TRIALS	RESULT	NORMS
Water vapor resistance factor	0.626	NCh 2457:2014
Water vapor resistivity	3.39 (MN s/gm)	NCh 2457:2014
Permeability	0.008 (MN s/g)	NCh 2457:2014
Water tightness	Waterproofing facades	NCh 2821: of 2003
Thermal insulating R-Value	0.42 (m ² *k/W)	NCh 851 of 2008
Thermal conductivity	0.041 (W/m*k)	NCh 851 of 2008
Acoustic Insulation (Delta L)	ΔLw= 20dB	ISO 10354-2:1998
Leadership in Energy and Environmental Design	LEED-Certified	USGBC

Slika 6: Rezultati istraživanja i norme [8]

Primjena tekućeg pluta: ⁹

- unutarnja i vanjska primjena,
- fasade,
- ravni krovovi,
- balkoni,
- terase,
- hidroizolacija zidova od vlage,
- ispod podnog grijanja,
- na limenim i salomit krovovima,
- čelične konstrukcije,
- čelični spremnici, kontejneri,
- bazeni (protu klizna površina),
- u brodogradnji,
- sanacija vlage.

⁹DK Centar, *Izolacija tekućim plutom*, dostupno na: <https://www.dkcentar.hr/tekuce-pluto/> (pristup 12.08.2022.)

Tekuće pluto razlikuje se od ekspandiranog već prilikom proizvodnje. Ekspandirano pluto proizvodi tako da se granule pluta se izlažu vrućoj vodenoj pari uslijed čega ekspandiraju. Takvo zagrijavanje ekspandira granule pluta i aktivira prirodno vezivo u plutu – suberin, koje povezuje čestice zajedno.

Tekuće pluto se proizvodi na način da se granule pluta miješaju u rotacijskim strojevima s dodavanjem prirodnih masnoća, smola i drugih prirodnih sastojaka. Navedenim postupkom dobiva se pasta koja je gusta, trajna, savitljiva i koja nije ekspandirana pa stoga zadržava u vrlo maloj debljini sve karakteristike ekspandiranog pluta i dobivamo mnogo novih poboljšanih karakteristika koje ima Suberlev tekuće pluto.

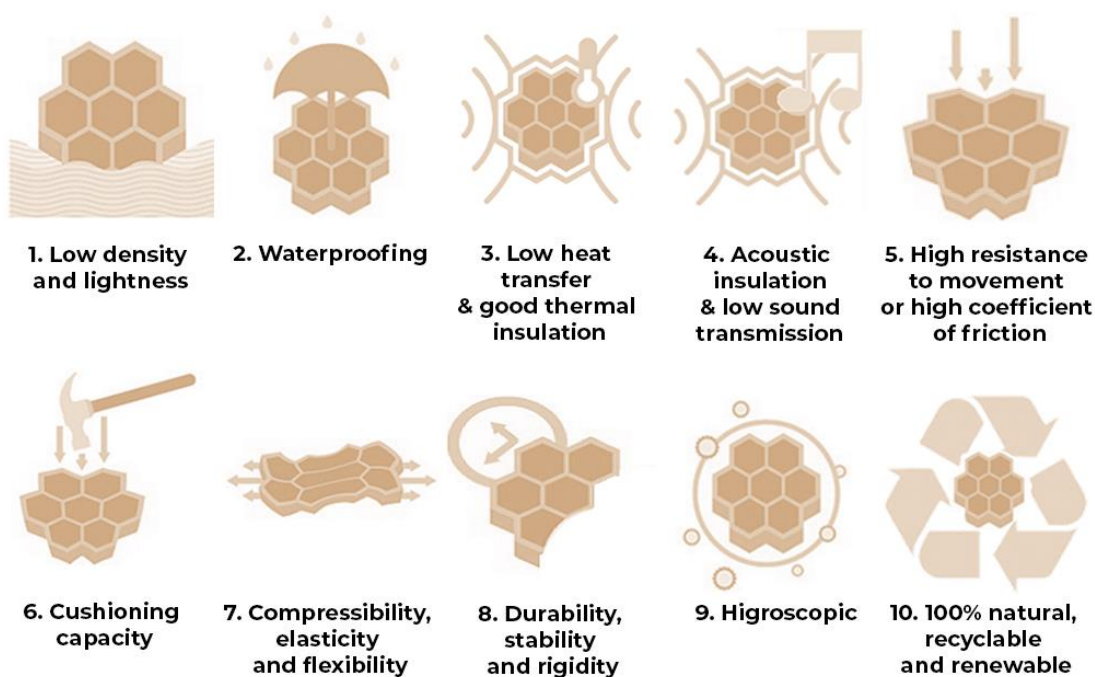
Ekspandirano pluto ima gustoću od svega 100 -150 kg/m³, dok tekuće pluto ima gustoću od 269 – 820 kg/m³, a da je pritom otporna, elastična i fleksibilna). Materijali koji imaju veliku gustoću mogu pohraniti znatne količine topline.¹⁰

¹⁰ DK Centar, *Izolacija tekućim plutom*, dostupno na: <https://www.dkcentar.hr/tekuce-pluto/> (pristup 12.08.2022.)

2.3. Otpornost pluta

Pluto i njegovi aglomerati, zahvaljujući ogromnom broju stanica ispunjenih plinom vrlo sličnom zraku, koji je zarobljen i bez mogućnosti pomicanja ili obnavljanja, zajedno sa sposobnošću apsorpcije vlage u prostoru čini tekuće pluto izolatorom koji uspijeva zadovoljiti i najviše standarde¹¹.

Slika 7 prikazuje karakteristike pluta kao izolatora. Niska gustoća i lakoća, hidro nepropusnost, nizak prijenos topline odnosno dobra toplinska izolacija, zvučna izolacija, velika otpornost na kretanje odnosno visok koeficijent trenja, stišljivost, elastičnost i savitljivost, trajnost, stabilnost, prirodan i obnovljiv...¹²



Slika 7: Karakteristike pluta kao izolatora [7]

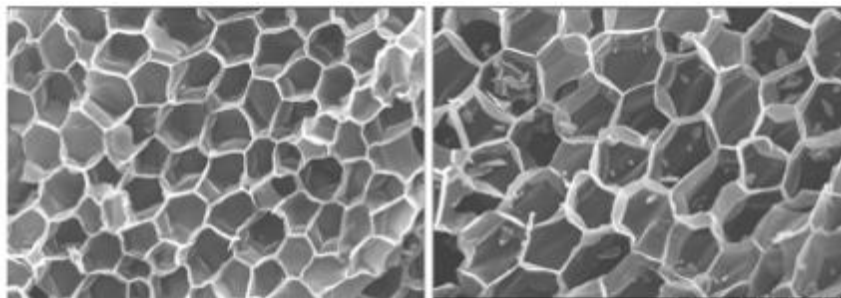
¹¹ Bogdan A., Građevni materijali: *Tekuće pluto za unutarnje i vanjske izolacije*, Građevinar 70 (2018) 12, Hrvatski savez građevinskih inženjera, Zagreb 2018.

¹² Institut Catala del suro, dostupno na: <https://www.icsuro.com/eng/cork-properties/> (pristup 28.08.2022.)

Postoji nekoliko razloga koji omogućavaju plutu ovakve karakteristike. Jedan kvadratni centimetar sadrži čak 50 milijuna malih kuglica zraka koji je zarobljen u stijenkama (prijenos topline s jednog tijela na drugo).

Drugi razlog je taj što tekuće pluto izvlači vlagu iz zidova, a vlaga je pogodan medij za prijenos topline ili hladnoće u zidovima. Tekuće pluto je 100-postotno vodonepropustan materijal, a visoko paropropusan.

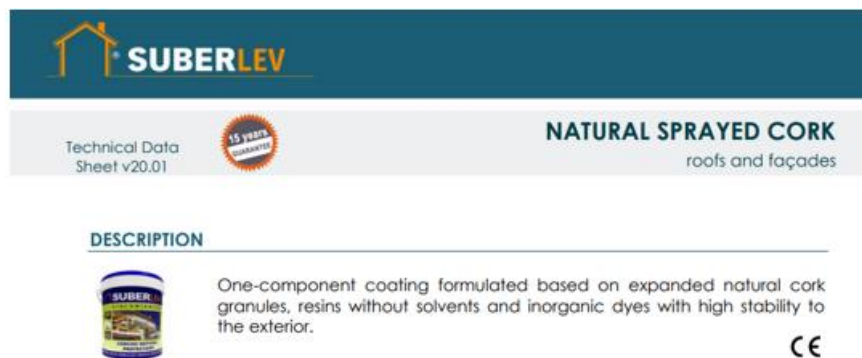
Treći je razlog taj što tekuće pluto ima veliku gustoću. Plutena pasta bezopasna je za čovjeka i okoliš¹³. Slika 8 prikazuje mikroskopski prikaz pluta gdje je vidljiva struktura njegove unutrašnjosti.



Slika 8: Mikroskopski prikaz pluta [6]

Proizvođači daju garanciju od 15 godina na tekuće pluto iako je njegov vijek puno dulji. Vidljivo je na slici 9, a razlog je taj što je još uvijek relativno kratko u upotrebi.

¹³ Bogdan A., Građevni materijali: *Tekuće pluto za unutarnje i vanjske izolacije*, Građevinar 70 (2018) 12, Hrvatski savez građevinskih inženjera, Zagreb 2018.



Slika 9: Garancija [8]

S obzirom na prirodnu antimikrobnu tvar (tanin) koju pluta sadrži, gotovo da nikada ne dolazi do pojave plijesni ili nekih od oblika truleži. Čak se i prašina zbog svojih anti statičkih svojstava ne zadržava na tekućem pluto premazu. Ako je potrebno ukloniti razna onečišćenja s pokrova pluta, važno je pratiti sljedeće korake:¹⁴

1. Površinu je moguće čistiti vlažnim krpama, usisati usisavačem za pranje ili oprati mlazom vode iz vrtnog crijeva.
2. Pluto je moguće četkati ne abrazivnim proizvodima.
3. Masna mrlja se može istrljati terpentinom, etilom ili amonijakom.
4. Tvrđokorne prljavštine se uklanjaju brusnim papirom sitne granulacije zrna.
5. Oštećeno područje moguće je popraviti setom za popravak pluta.

Nedostatkom prskanog pluto premaza smatramo slabiju moć otpornosti kod značajnijih mehaničkih oštećenja. Međutim, oštećena područja je veoma lako sanirati i obnoviti istim materijalom. Dodatni nedostatak je što površina na koju se primjenjuje mora biti poprilično ravna jer sloj koji nanosimo je debljine svega 3 - 4 mm što nije dovoljno za bilo kakvu vrstu izravnavanja ili popunjavanja većih rupa.

¹⁴ *Pluta za prskanje - Tehnologija i primjena*, dostupno na: <https://hr.gardendecorgalore.com/6846794-spray-on-cork-technology-and-application> (pristup 23.08.2022.)

Kao rezultat, na tretiranoj površini dobivamo "prozračnu" oblogu koja se sastoji od 90% prirodnih komponenata, otpornih na ultraljubičasto zračenje, vodu, kiseline i ekstremne temperature¹⁵.

2.4. Način upotrebe i nanošenja

Proizvod se isporučuje u kantama u količini 12 kg po kanti. Sa prosječnom potrošnjom od 2 kg/m² za dva sloja postići će se ukupna debljina cca 3-4 mm. Potrošnja ovisi i o samoj površini. S jednim pakiranjem od 12 kg može se izvesti cca 5-6 m². Kao i kod svakog nanošenja materijala podloga mora biti očišćena, odmašćena i bez dijelova koji mogu otpasti kao što je to primjer kod obnova starih fasada. Slika 10 prikazuje pakiranje tekućeg pluta koje je dostupno na tržištu.



Slika 10: Pakiranje tekućeg pluta [4]

¹⁵ Pluta za prskanje - Tehnologija i primjena, dostupno na: <https://hr.gardendecorgalore.com/6846794-spray-on-cork-technology-and-application> (pristup 23.08.2022.)

Proizvod je potrebno miješati mješačem oko 3 minute dok se ne postigne homogena smjesa uz razrjeđivanje s otprilike 2 dcl vode na jednu kantu. Postupak pripreme odnosno miješanja tekućeg pluta prikazan je na slici 11.



Slika 11: Priprema tekućeg pluta [2]

Spremna smjesa puni se u pištolj za prskanje nakon čega se može krenuti s nanošenjem. Nanošenje se izvodi u slojevima na udaljenosti 40 – 60 cm od površine s tlakom od 2.5 – 3 bara isključivo okomito na površinu. Na slici 12 prikazano je nanošenje tekućeg pluta na zid pomoću pištolja za prskanje.



Slika 12: Nanošenje tekućeg pluta [4]

Preporučuje se površine prijeći s prajmerom na vodenoj bazi prije nanošenja tekućeg pluta (prajmer odabrati ovisno o površini na koju se nanosi).

Velika prednost izolacije tekućeg pluta je to što se može primijeniti direktno na ciglu. To je pogodno za naše podneblje jer postoji velik broj objekata koji su izgrađeni od fasadne cigle. Na slici 13 prikazana je stambena zgrada iz Zagreba na kojoj je primijenjeno tekuće pluto direktno na ciglu.



Slika 13: Primjena tekućeg pluta direktno na ciglu, Zagreb [4]

Tekuće pluto nanosi se u dva sloja, svaki sloj je debljine 1.5 – 2 mm, a vrijeme nanošenja između slojeva iznosi 24 sata pri 20°C. Oprema potrebna za nanošenje su mikser, zračni kompresor s minimalnim protokom 250 l/min i gravitacijski "pištolj" (tj. "pištolj" koji ima ugrađeni lijevak koji se napuni tekućim plutom).

Umjesto lijevka, za dovod pluta do "pištolja" mogu se koristiti prikladne industrijske pumpe visokih performansi. Tekuće pluto može se nanositi i lopaticama za žbuku ("gleterima" ili "špahtlama") u slučaju nepravilnosti na površini, za popunjavanje pukotina ili rupa koje nisu veće od 4-6 mm, i to u tankim slojevima¹⁶.

¹⁶ DK Centar, *Izolacija tekućim plutom*, dostupno na: <https://www.dkcentar.hr/tekuce-pluto/>, (pristup 15.06.2022)

3. PRORAČUNI VAŽNIH KRITERIJA

U nastavku su prikazani proračuni toplinske provodljivosti i difuzije vodene pare.

Kod izbora materijala treba obratiti pozornost na nekoliko kriterija:¹⁷

- toplinska provodljivost,
- protupožarna otpornost,
- difuzija vodene pare,
- gustoća materijala,
- stišljivost,
- trajnost,
- osjetljivost na ovlaživanje,
- cijena materijala.

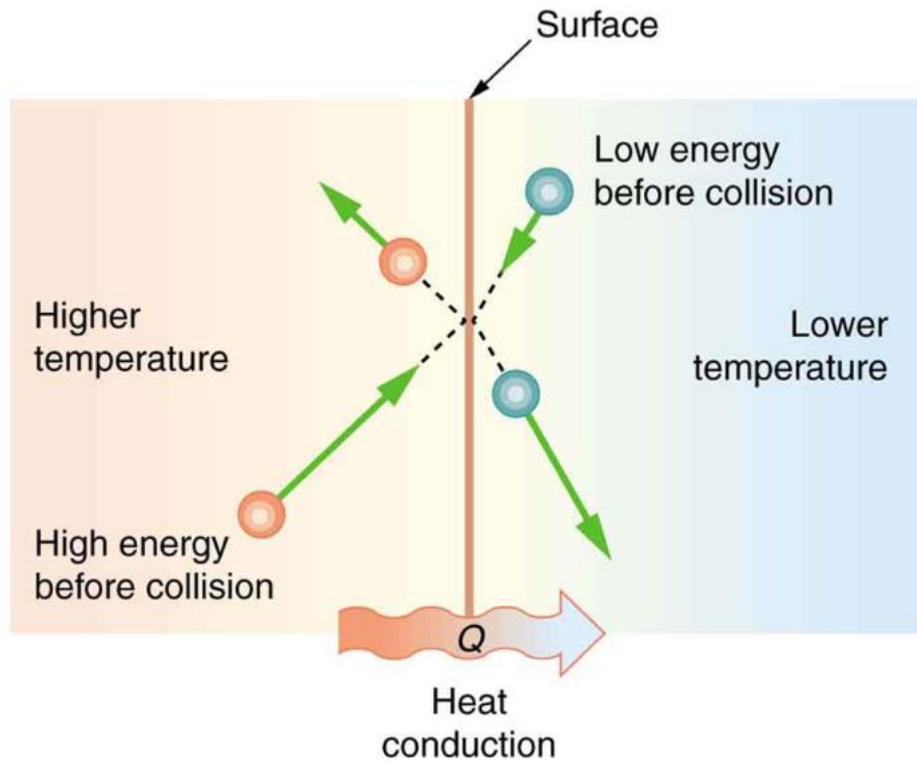
3.1. Proračun toplinske vodljivosti

Cilj izrade proračuna toplinske vodljivosti je pokazati koeficijent ukupne toplinske vodljivosti zida, a za primjer koristiti jednostavni presjek vanjskog zida koji čine samo tri sloja kako bi se što više zadržao fokus na izolaciji.

Slika 14 prikazuje molekula u dva tijela koja se nalaze na različitim temperaturama. Prosječna kinetička energija molekule u vrućem tijelu veća je nego u hladnijem. Ako se dvije molekule sudare, dolazi do prijenosa energije s tople na hladnu molekulu. Takav prijenos topline naziva se toplinska vodljivost.¹⁸

¹⁷ Bogdan A., Građevni materijali: *Tekuće pluto za unutarnje i vanjske izolacije*, Građevinar 70 (2018) 12, Hrvatski savez građevinskih inženjera, Zagreb 2018.

¹⁸ Khan Academy; What is thermal conductivity, dostupno na: <https://www.khanacademy.org/science/physics/thermodynamics/specific-heat-and-heat-transfer/a/what-is-thermal-conductivity> (pristup 29.08.2022.)



Slika 14: Toplinska provodljivost [9]

Tablica 1., 2., i 3., prikazuju izračun na presjeku zida izolacije od ekspaniranog polistirena, kamene vune i staklene vune zbog njihove opće prihvaćene uporabe među korisnicima. Prema tome vidljivo je da je najmanja ukupna toplinska vodljivost zida izračunata kod ekspaniranog polistirena, dok je najveća kod staklene vune.

Tablica 1: Izračun toplinske vodljivosti- ekspanirani polistiren

	d	λ	$R = d/\lambda$	$U = 1/R_{\text{uk}}$
Naziv materijala	Debljina materijala [m]	Toplinska vodljivost [W/mK]	Otpor [m ² K/W]	Ukupna toplinska vodljivost zida U
1. Gipsana ploča Porotherm 25	0,013	0,160	0,081	
2. S	0,250	0,145	1,724	
3. EPS	0,100	0,038	2,632	
			$R_{\text{uk}} = 4,437$	$U = 0,225 \text{ W/m}^2\text{K}$

Tablica 2: Izračun toplinske vodljivosti- kamena vuna

	d	λ	$R = d/\lambda$	$U = 1/R_{uk}$
Naziv materijala	Debljina materijala [m]	Toplinska vodljivost [W/mK]	Otpor [m ² K/W]	Ukupna toplinska vodljivost zida U
1. Gipsana ploča Porotherm 25	0,013	0,160	0,081	
2. S	0,250	0,145	1,724	
3. Kamena vuna	0,100	0,040	2,500	
			$R_{uk} = 4,305$	$U = 0,232 \text{ W/m}^2\text{K}$

Tablica 3: Izračun toplinske vodljivosti- staklena vuna

	d	λ	$R = d/\lambda$	$U = 1/R_{uk}$
Naziv materijala	Debljina materijala [m]	Toplinska vodljivost [W/mK]	Otpor [m ² K/W]	Ukupna toplinska vodljivost zida U
1. Gipsana ploča Porotherm 25	0,013	0,160	0,081	
2. S	0,250	0,145	1,724	
3. Staklena vuna	0,100	0,045	2,222	
			$R_{uk} = 4,028$	$U = 0,248 \text{ W/m}^2\text{K}$

Tablica 4. prikazuje rezultate za lagane ploče od pluta koje su jednake debljine kao i ekspandirani polistiren. Prije izrade proračuna, također je uočljiva razlika. Razlog tomu je što pluto ima viši koeficijent toplinske vodljivosti. U odnosu na ekspandirani polistirena, kamenu i staklenu vunu, lagane plutene ploče imaju nižu ukupnu toplinsku vodljivost zida.

Tablica 4: Izračun toplinske vodljivosti- lagane plutene ploče

	d	λ	R = d/ λ	U = 1/R _{uk}
Naziv materijala	Debljina materijala [m]	Toplinska vodljivost [W/mK]	Otpor [m ² K/W]	Ukupna toplinska vodljivost zida U
1. Gipsana ploča	0,013	0,160	0,081	
2. Porotherm 25 S	0,250	0,145	1,724	
3. Lagane plutene ploče	0,100	0,035	2,857	
			R _{uk} = 4,663	U = 0,214 W/m ² K

Tablica 5. prikazuje izračun toplinske vodljivosti pri korištenju tekućeg pluta. U odnosu na lagane plutene ploče, tekuće pluto razlikuje se prvenstveno u debljini nanošenja. Također, nanošenje tekućeg pluta obavlja se na „licu mjesta“ pomoću pištolja koji su predviđeni za to. Tekuće pluto nanosi se direktno na željenu površinu.

Dobiveni rezultat ovog izračuna je veći koeficijent toplinske vodljivosti, ali i manja debljina izolatora te se samim time dobiva još veća ukupna toplinska vodljivost zida.

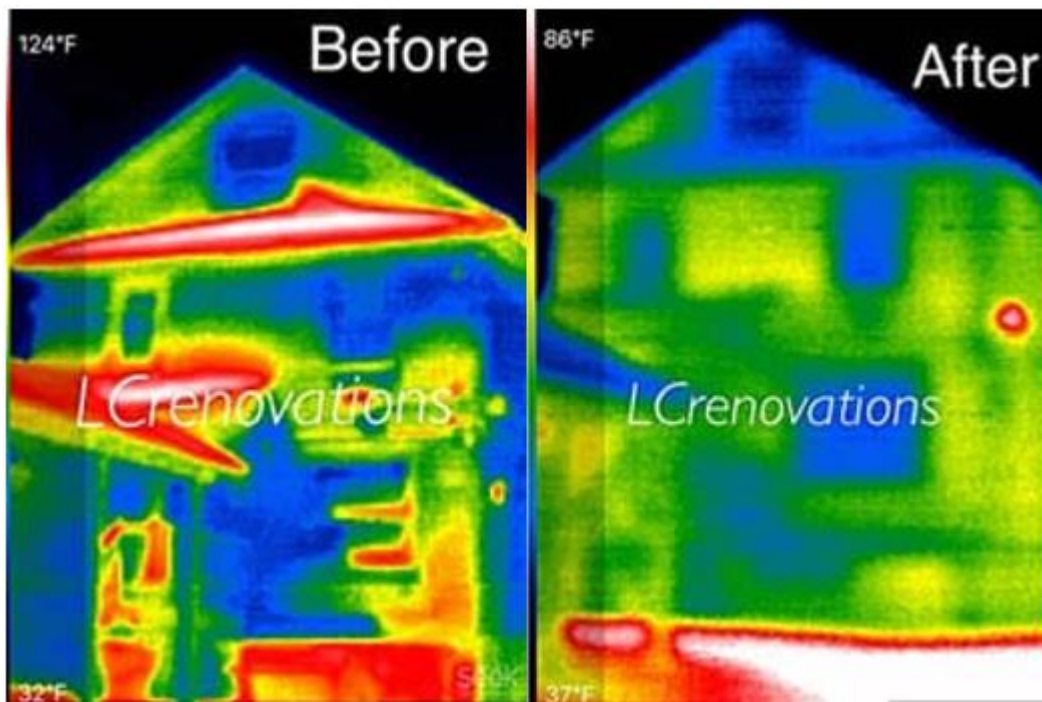
Tablica 5: Izračun toplinske vodljivosti- tekuće pluto

	d	λ	R = d/ λ	U = 1/R _{uk}
Naziv materijala	Debljina materijala [m]	Toplinska vodljivost [W/mK]	Otpor [m ² K/W]	Ukupna toplinska vodljivost zida U
1. Gipsana ploča	0,013	0,160	0,081	
2. Porotherm 25 S	0,250	0,145	1,724	
3. Tekući pluto	0,003	0,059	0,051	
			R _{uk} = 1,856	U = 0,539 W/m ² K

Rezultat dobiven provedenim izračunima jasno pokazuje razliku u toplinskoj vodljivosti između tekućeg pluta i drugih materijala. Ono što uvelike utječe na izbor vrste izolatora je i vrijeme. Za koje vrijeme će izolator doći do postizanja temperature okoline.

Zanimljivost vezana za tekuće pluto kao termo izolacijski materijal je to što bez obzira na vanjsku temperaturu, tekuće pluto zadržava pozitivno 0°C ako se radi o nižim temperaturama, a kod porasta vanjske temperature ne prelazi 35°C. Navedeno svojstvo omogućava da strujanje topline koje je izravno povezano s temperaturnom razlikom između unutarnje i vanjske plohe bude znatno umanjeno u usporedbi s drugim materijalima. ¹⁹

Prema tome, kod porasta vanjske temperature od 85°C koja se stvara uz sloj limenog krova zbog zagrijavanja površine, neće doći do zagrijavanja od 85°C već do 35°C što je znatna i ne zanemariva temperaturna razlika.



Slika 15: Prije/nakon [16]

¹⁹ DK Centar, dostupno na: <https://www.dkcentar.hr/> (pristup 28.08.2022.)

Također uzimamo li u obzir računske operacije važno je obratiti pažnju kod razlike unutarnje i vanjske temperature. U slučaju kada vanjska temperatura iznosi -25°C , a unutarnja 22°C , razlika u temperaturama kod pluta neće iznositi 47°C već 22°C upravo zbog spomenutog svojstva da jezgra pluta ima minimalnu temperaturu od 0°C .²⁰

²⁰ DK Centar, dostupno na: <https://www.dkcentar.hr/> (pristup 28.08.2022.)

3.2. Proračun difuzije vodene pare

Difuzija vodene pare nastaje ako postoji razlika u parcijalnim tlakovima vodene pare s dvije strane tog elementa, a proces se odvija u smjeru nižeg parcijalnog tlaka. Intenzitet difuzije ovisi o: veličini te razlike te karakteristikama i strukturi građevnog materijala. Tablica 6 prikazuje vrijednosti faktora otpora difuziji vodene pare za neke karakteristične materijale koji se koriste u građevinarstvu. ²¹

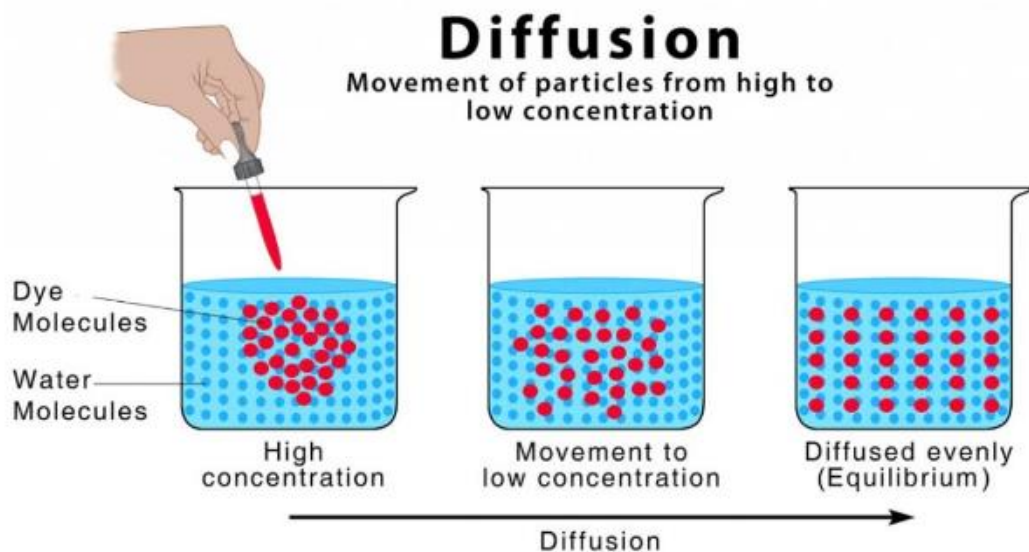
Tablica 6: Približne vrijednosti faktora otpora difuziji vodene pare za neke odabrane materijale [5]

Materijal	Gustoća ρ_v , kg/m ³	Faktor otpora difuziji vodene pare $\mu_{v,e}$
Puna opeka od gline	1800	5/10
Klinker opeka	1900	5/10
Puna fasadna opeka od gline	1800	5/10
Šuplja fasadna opeka od gline	1200	5/10
Prirodni kamen	2000	50
Šuplji blokovi od betona	1000	5/15
Šuplji blokovi od laganog betona	500	5/10
Armirani beton	2500	80/130
Beton s laganim agregatom	2000	6/10
Porobeton	1000	6/10
Cementna žbuka	2000	15/35
Vapnena žbuka	1600	6/10
Gipsana žbuka	1500	6/10
Lagana žbuka	1300	15/20
Toplinsko-izolacijska žbuka	400	5/20
Sanacijska žbuka	1400	6/35
Cementni mort	2000	15/35
Cementni estrih	2000	50
Gipskartonske ploče	900	8
Keramičke pločice	2300	200
Bitumenska traka s uloškom staklenog voala	1100	50 000
Polimerna hidroizolacijska traka na bazi PVC-P	1200	100 000
Polimerna hidroizolacijska traka na bazi PIB	1600	300 000
Polimerna hidroizolacijska traka na bazi CR	1300	100 000
Polimerna hidroizolacijska traka na bazi VAE	1300	200 000
Lomljevine ekspaniranog pluta	≤ 200	3
Pijesak, šljunak, tucanik (drobljenac)	≤ 1700	3
Mineralna vuna (MW)	30 - 200	1
Ekspanirani polistiren (EPS)	15 - 30	60
Tvrda poliuretanska pjena (PUR)	≥ 30	60
Fenolna pjena (PF)	≥ 30	50
Ekspanirano pluto (ICB)	80 - 500	5/10
Drvena vlakanca (WF)	110 - 450	5/10

²¹ Fond za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost: Priručnik za energetska certificiranje zgrada: <https://www.enu.hr/wp-content/uploads/2016/03/Priru%C4%8Dnik-za-energetska-certificiranje-zgrada.pdf> (pristup 15.08.2022.) str.94.

Difuzija vodene pare kroz građevinske elemente nije štetna jer nema negativne posljedice, ali kondenzacija vodene pare u slojevima elemenata uzrokuje degradaciju njihovih toplinsko-izolacijskih svojstava i dolazi do mogućih oštećenja.²²

Difuzija se odnosi na pasivno kretanje molekula ili čestica iz područja više koncentracije u područja niže koncentracije.²³



Slika 16: Difuzija [15]

²² Fond za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost: Priručnik za energetska certificiranje zgrada: <https://www.enu.hr/wp-content/uploads/2016/03/Priru%C4%8Dnik-za-energetsko-certificiranje-zgrada.pdf> (pristup 15.08.2022.) str.95.

²³ Study queries: Diffusion Definition, Types, Importance In Plants, Animals And Cells; dostupno na: <https://studyqueries.com/diffusion/> (pristup 16.08.2022.)

U nastavku rada prikazan je proračun difuzije topline i vodene pare te grafički prikazi za tri slučaja presjeka zida.

Proračun difuzije vodene pare

Slojevi zida i potrebni podatci

	d [m]	λ [W/mK]	μ
1. Gipsana ploča	0,013	0,160	12
2. Porotherm 25 S	0,250	0,145	5
3. Tekuće pluto	0,003	0,059	1

Vanjski i unutarnji uslovi potrebni za proračun

- Neka su unutrašnji i vanjski koeficijenti konvekcije $h_{cu} = 9$ i $h_{cv} = 20$
- Toplinski otpor priljubljenog zračnog sloja iznutra $R_u = \frac{1}{9}$
- Toplinski otpor priljubljenog zračnog sloja izvana $R_v = \frac{1}{20}$
- Temperaturni uvjeti zadaju se preko unutrašnje i vanjske temperature $T_u = 20^\circ$ $T_v = -5^\circ$
- Relativna vlažnost zraka unutra i vani, $RHu = 80$ i $RHv = 60$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\alpha_u} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_v}$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{9} + \frac{0,013}{0,160} + \frac{0,250}{0,145} + \frac{0,003}{0,059} + \frac{1}{20}$$

$$\frac{1}{U} = 2,017 \Rightarrow U = 0,496 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Slika 17: Proračun broj 1 (1.dio)

Temperaturni padovi po slojevima

$$\Delta t = \frac{t_u - t_v}{R_{sk}} \cdot R_{s,i}$$

$$\Delta t_1 = \frac{20 - (-5)}{2,017} \cdot \frac{1}{9} = 12,395 \cdot \frac{1}{9} = 1,377 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_2 = 12,395 \cdot 0,081 = 1,007 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_3 = 12,395 \cdot 1,724 = 21,369 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_4 = 12,395 \cdot 0,051 = 0,630 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_5 = 12,395 \cdot 0,05 = 0,620 \text{ }^\circ\text{C}$$

Temperature na graničnim područjima

$$t_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_1 = 20 - \Delta t_1 = 20 - 1,377 = 18,623 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 18,623 - 1,007 = 17,616 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_3 = 17,616 - 21,369 = -3,753 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_4 = -3,753 - 0,630 = -4,383 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_5 = -4,383 - 0,620 = -5,003 \text{ }^\circ\text{C}$$

Unutrašnji i vanjski parcijalni tlakovi

$$p_w(t) = 0,61078 \cdot e^{\left(\frac{t}{t + 238,3} \cdot 17,2694\right)}$$

$$p_w(20) = 0,61078 \cdot e^{\left(\frac{20}{20 + 238,3} \cdot 17,2694\right)} = 2,326 \text{ kPa}$$

$$p_w(-5) = 0,61078 \cdot e^{\left(\frac{-5}{-5 + 238,3} \cdot 17,2694\right)} = 0,422 \text{ kPa}$$

$$P_u = \frac{80}{100} \cdot p_w(20) = 0,8 \cdot 2,326 = 1,861 \text{ kPa}$$

$$P_v = \frac{60}{100} \cdot p_w(-5) = 0,6 \cdot 0,422 = 0,253 \text{ kPa}$$

Slika 18: Proračun br.1 (2.dio)

Gustoća difuzijskog toka kroz zid

$$q_m = 0,62 \cdot \frac{p_u - p_v}{\sum_1 (d_i \cdot \mu_i)} = 0,62 \cdot \frac{1,861 - 0,253}{1,409} = 0,708 \text{ kPa/m}$$

$$r_1 = 0,013 \cdot 12 = 0,156 \text{ m}$$

$$r_2 = 0,250 \cdot 5 = 1,25 \text{ m}$$

$$r_3 = 0,003 \cdot 1 = 0,003 \text{ m}$$

$$\sum_1 (d_i \cdot \mu_i) = 1,409 \text{ m}$$

Parcijalni pritisci

$$p_1 = p_u - \frac{q_m}{0,62} \cdot (d_1 \cdot \mu_1) = 1,683 \text{ kPa}$$

$$p_2 = p_1 - \frac{q_m}{0,62} \cdot (d_2 \cdot \mu_2) = 0,255 \text{ kPa}$$

$$p_3 = p_2 - \frac{q_m}{0,62} \cdot (d_3 \cdot \mu_3) = 0,253 \text{ kPa}$$

Pritisci zasićenja

$$p_s(20) = 0,61078 \cdot e^{\left(\frac{20}{20 + 238,3} \cdot 17,2694\right)} = 2,326 \text{ kPa}$$

$$p_s(t_1) = 0,61078 \cdot e^{\left(\frac{18,623}{18,623 + 238,3} \cdot 17,2694\right)} = 2,136 \text{ kPa}$$

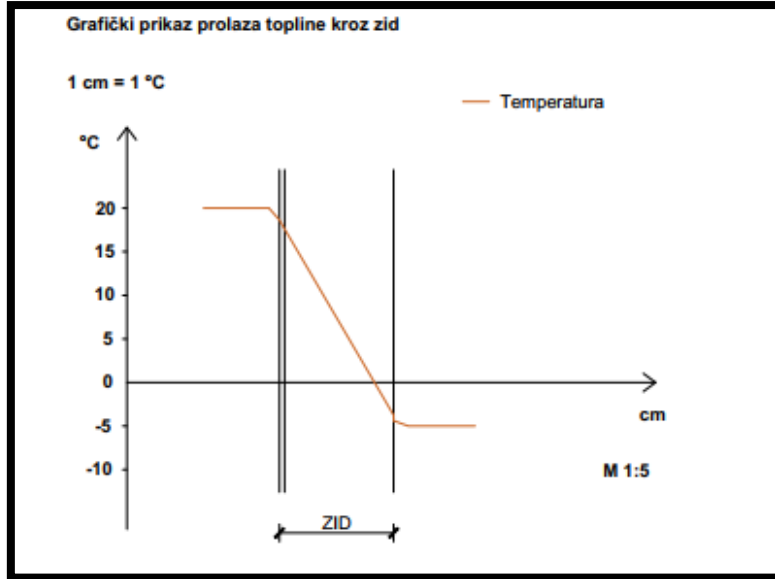
$$p_s(t_2) = 0,61078 \cdot e^{\left(\frac{17,616}{17,616 + 238,3} \cdot 17,2694\right)} = 2,005 \text{ kPa}$$

$$p_s(t_3) = 0,61078 \cdot e^{\left(\frac{-3,753}{-3,753 + 238,3} \cdot 17,2694\right)} = 0,463 \text{ kPa}$$

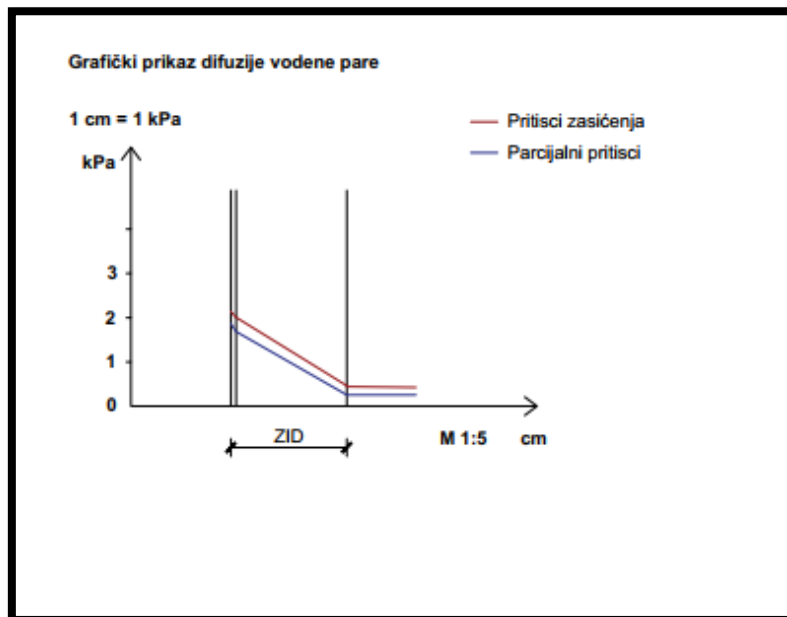
$$p_s(t_4) = 0,61078 \cdot e^{\left(\frac{-4,383}{-4,383 + 238,3} \cdot 17,2694\right)} = 0,442 \text{ kPa}$$

$$p_s(-5) = 0,61078 \cdot e^{\left(\frac{-5}{-5 + 238,3} \cdot 17,2694\right)} = 0,422 \text{ kPa}$$

Slika 19: Proračun br.1 (3.dio)



Grafikon 1: Proračun 1: Prikaz prolaza topline kroz zid



Grafikon 2: Proračun 1: Prikaz difuzije vodene pare

Proračun difuzije vodene pare

Slojevi zida i potrebni podatci

	d [m]	λ [W/mK]	μ
1. Gipsana ploča	0,013	0,160	12
2. Tekuće pluto	0,003	0,059	1
3. Porotherm 25S	0,250	0,145	5

Vanjski i unutarnji uslovi potrebni za proračun

- Neka su unutrašnji i vanjski koeficijenti konvekcije $h_{cu} = 9$ i $h_{cv} = 20$
- Toplinski otpor priljubljenog zračnog sloja iznutra $R_u = \frac{1}{9}$
- Toplinski otpor priljubljenog zračnog sloja izvana $R_v = \frac{1}{20}$
- Temperaturni uvjeti zadaju se preko unutrašnje i vanjske temperature $T_u = 20^\circ$ $T_v = -5^\circ$
- Relativna vlažnost zraka unutra i vani, $R_{Hu} = 80$ i $R_{Hv} = 60$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\alpha_u} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_v}$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{9} + \frac{0,013}{0,160} + \frac{0,003}{0,059} + \frac{0,250}{0,145} + \frac{1}{20}$$

$$\frac{1}{U} = 2,017 \Rightarrow U = 0,496 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Slika 20: Proračun br.2. (1.dio)

Temperaturni padovi po slojevima

$$\Delta t = \frac{t_u - t_v}{R_{u,k}} \cdot R_{u,i}$$

$$\Delta t_1 = \frac{20 - (-5)}{2,017} \cdot \frac{1}{9} = 12,395 \cdot \frac{1}{9} = 1,377 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_2 = 12,395 \cdot 0,081 = 1,007 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_3 = 12,395 \cdot 0,051 = 0,630 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_4 = 12,395 \cdot 1,724 = 21,369 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_5 = 12,395 \cdot 0,05 = 0,620 \text{ }^\circ\text{C}$$

Temperature na graničnim područjima

$$t_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_1 = 20 - \Delta t_1 = 20 - 1,377 = 18,623 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 18,623 - 1,007 = 17,616 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_3 = 17,616 - 0,630 = 16,986 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_4 = 16,986 - 21,369 = -4,383 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_5 = -4,383 - 0,620 = -5,000 \text{ }^\circ\text{C}$$

Unutrašnji i vanjski parcijalni tlakovi

$$p_s(t) = 0,61078 \cdot e^{\left(\frac{1}{1+238,3} \cdot 17,2694\right)}$$

$$p_s(20) = 0,61078 \cdot e^{\left(\frac{20}{20+238,3} \cdot 17,2694\right)} = 2,326 \text{ kPa}$$

$$p_s(-5) = 0,61078 \cdot e^{\left(\frac{-5}{-5+238,3} \cdot 17,2694\right)} = 0,422 \text{ kPa}$$

$$P_u = \frac{80}{100} \cdot p_s(20) = 0,8 \cdot 2,326 = 1,861 \text{ kPa}$$

$$P_v = \frac{60}{100} \cdot p_s(-5) = 0,6 \cdot 0,422 = 0,253 \text{ kPa}$$

Slika 21: Proračun br.2 (2.dio)

Gustoća difuzijskog toka kroz zid

$$q_m = 0,62 \cdot \frac{p_u - p_v}{\sum_1 (d_i \cdot \mu_i)} = 0,62 \cdot \frac{1,861 - 0,253}{1,409} = 0,708 \text{ kPa/m}$$

$$r_1 = 0,013 \cdot 12 = 0,156 \text{ m}$$

$$r_2 = 0,003 \cdot 1 = 0,003 \text{ m}$$

$$r_3 = 0,250 \cdot 5 = 1,25 \text{ m}$$

$$\sum_1 (d_i \cdot \mu_i) = 1,409 \text{ m}$$

Parcijalni pritisci

$$p_1 = p_u - \frac{q_m}{0,62} \cdot (d_1 \cdot \mu_1) = 1,683 \text{ kPa}$$

$$p_2 = p_1 - \frac{q_m}{0,62} \cdot (d_2 \cdot \mu_2) = 1,680 \text{ kPa}$$

$$p_3 = p_2 - \frac{q_m}{0,62} \cdot (d_3 \cdot \mu_3) = 0,253 \text{ kPa}$$

Pritisci zasićenja

$$p_s(20) = 0,61078 \cdot e^{\left(\frac{20}{20 + 238,3} \cdot 17,2694\right)} = 2,326 \text{ kPa}$$

$$p_s(t_1) = 0,61078 \cdot e^{\left(\frac{18,623}{18,623 + 238,3} \cdot 17,2694\right)} = 2,136 \text{ kPa}$$

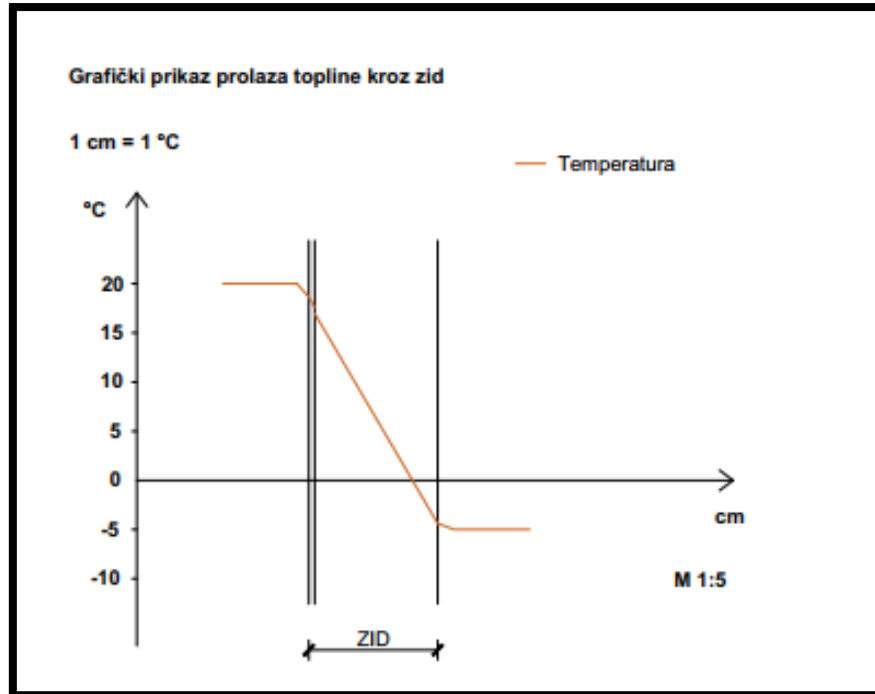
$$p_s(t_2) = 0,61078 \cdot e^{\left(\frac{17,616}{17,616 + 238,3} \cdot 17,2694\right)} = 2,005 \text{ kPa}$$

$$p_s(t_3) = 0,61078 \cdot e^{\left(\frac{16,986}{16,986 + 238,3} \cdot 17,2694\right)} = 1,927 \text{ kPa}$$

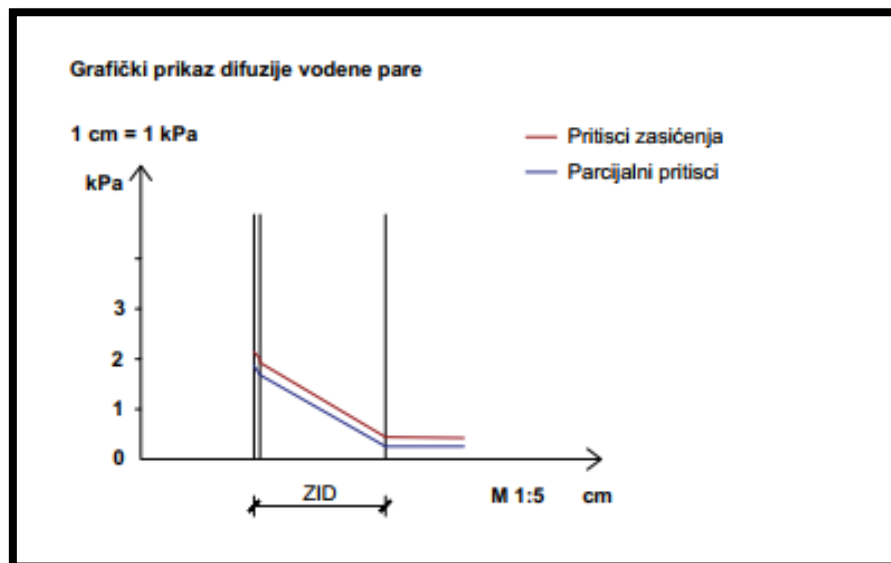
$$p_s(t_4) = 0,61078 \cdot e^{\left(\frac{-4,383}{-4,383 + 238,3} \cdot 17,2694\right)} = 0,442 \text{ kPa}$$

$$p_s(-5) = 0,61078 \cdot e^{\left(\frac{-5}{-5 + 238,3} \cdot 17,2694\right)} = 0,422 \text{ kPa}$$

Slika 22: Proračun br.2 (2. dio)



Grafikon 3: Proračun 2: Prikaz prolaza topline kroz zid



Grafikon 4: Proračun 2: Prikaz difuzije vodene pare

Temperaturni padovi po slojevima

$$\Delta t = \frac{t_u - t_v}{R_{u,k}} \cdot R_{u,i}$$

$$\Delta t_1 = \frac{20 - (-5)}{2,252} \cdot \frac{1}{9} = 11,101 \cdot \frac{1}{9} = 1,233 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_2 = 11,101 \cdot 0,081 = 0,899 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_3 = 11,101 \cdot 1,724 = 19,138 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_4 = 11,101 \cdot 0,286 = 3,175 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_5 = 11,101 \cdot 0,05 = 0,555 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Temperature na graničnim područjima

$$t_i = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_1 = 20 - \Delta t_1 = 20 - 1,233 = 18,767 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 18,767 - 0,899 = 17,868 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_3 = 17,868 - 19,138 = -1,270 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_4 = -1,270 - 3,175 = -4,445 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_5 = -4,445 - 0,555 = -5,000 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Unutrašnji i vanjski parcijalni tlakovi

$$p_s(t) = 0,61078 \cdot e^{\left(\frac{t}{1 + 238,3} \cdot 17,2694\right)}$$

$$p_s(20) = 0,61078 \cdot e^{\left(\frac{20}{20 + 238,3} \cdot 17,2694\right)} = 2,326 \text{ kPa}$$

$$p_s(-5) = 0,61078 \cdot e^{\left(\frac{-5}{-5 + 238,3} \cdot 17,2694\right)} = 0,422 \text{ kPa}$$

$$P_u = \frac{80}{100} \cdot p_s(20) = 0,8 \cdot 2,326 = 1,861 \text{ kPa}$$

$$P_v = \frac{60}{100} \cdot p_s(-5) = 0,6 \cdot 0,422 = 0,253 \text{ kPa}$$

Slika 23: Proračun br.3 (prvi dio)

Gustoća difuzijskog toka kroz zid

$$q_m = 0,62 \cdot \frac{p_u - p_v}{\sum_i (d_i \cdot \mu_i)} = 0,62 \cdot \frac{1,861 - 0,253}{4,406} = 0,226 \text{ kPa/m}$$

$$r_1 = 0,013 \cdot 12 = 0,156 \text{ m}$$

$$r_2 = 0,250 \cdot 5 = 1,25 \text{ m}$$

$$r_3 = 0,100 \cdot 30 = 3 \text{ m}$$

$$\sum_i (d_i \cdot \mu_i) = 4,406 \text{ m}$$

Parcijalni pritisci

$$p_1 = p_u - \frac{q_m}{0,62} \cdot (d_1 \cdot \mu_1) = 1,804 \text{ kPa}$$

$$p_2 = p_1 - \frac{q_m}{0,62} \cdot (d_2 \cdot \mu_2) = 1,348 \text{ kPa}$$

$$p_3 = p_2 - \frac{q_m}{0,62} \cdot (d_3 \cdot \mu_3) = 0,255 \text{ kPa}$$

Pritisci zasićenja

$$p_s(20) = 0,61078 \cdot e^{\left(\frac{20}{20 + 238,3} \cdot 17,2694\right)} = 2,326 \text{ kPa}$$

$$p_s(t_1) = 0,61078 \cdot e^{\left(\frac{18,767}{18,767 + 238,3} \cdot 17,2694\right)} = 2,155 \text{ kPa}$$

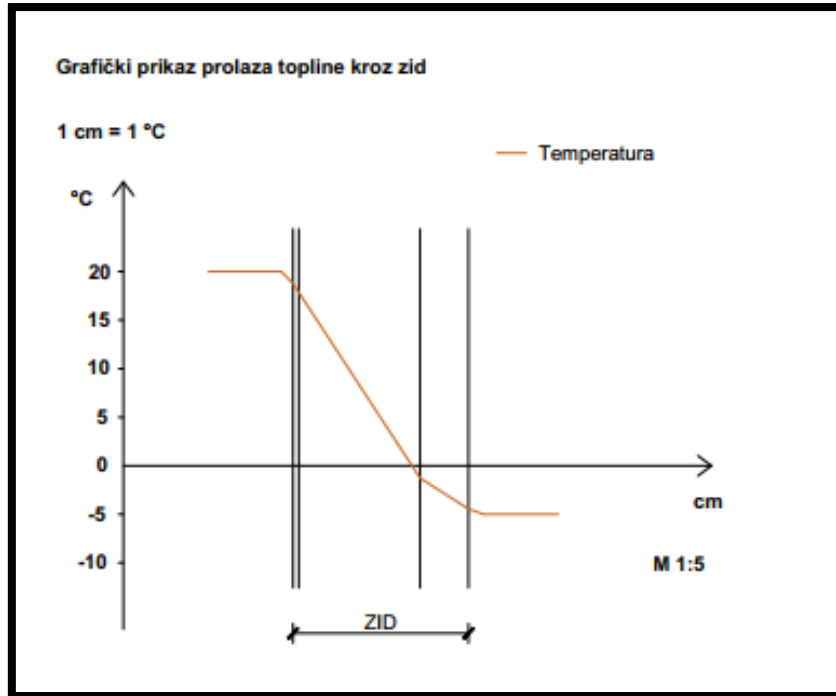
$$p_s(t_2) = 0,61078 \cdot e^{\left(\frac{17,868}{17,868 + 238,3} \cdot 17,2694\right)} = 2,037 \text{ kPa}$$

$$p_s(t_3) = 0,61078 \cdot e^{\left(\frac{-1,270}{-1,270 + 238,3} \cdot 17,2694\right)} = 0,557 \text{ kPa}$$

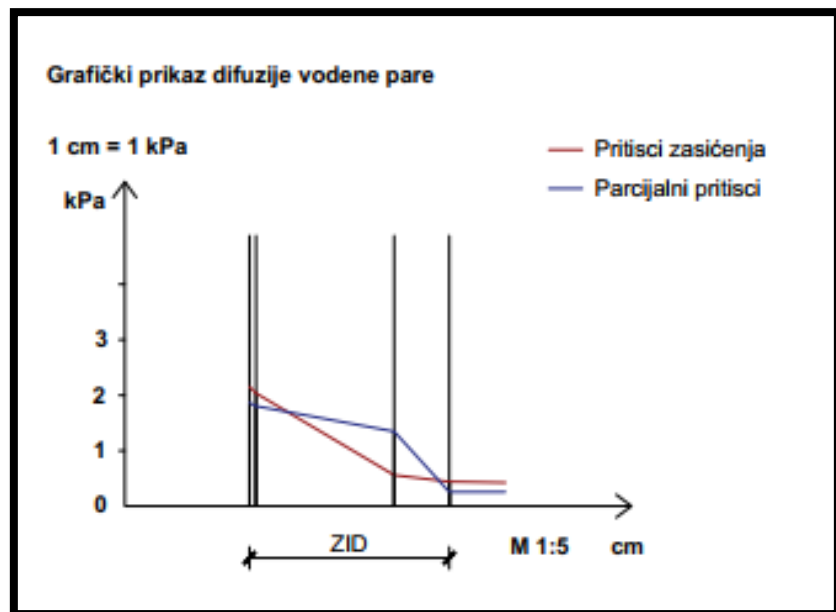
$$p_s(t_4) = 0,61078 \cdot e^{\left(\frac{-4,445}{-4,445 + 238,3} \cdot 17,2694\right)} = 0,440 \text{ kPa}$$

$$p_s(-5) = 0,61078 \cdot e^{\left(\frac{-5}{-5 + 238,3} \cdot 17,2694\right)} = 0,422 \text{ kPa}$$

Slika 24: Proračun br.3 (drugi dio)



Grafikon 5: Proračun 3: Prikaz prolaza topline kroz zid



Grafikon 6: Proračun 3: prikaz prolaza topline kroz zid

Pomoću rezultata proračuna jasno su vidljive prednosti i nedostaci određenih materijala. Na tržištu postoje brojne mogućnosti kada se govori o toplinskoj izolaciji, najzastupljeniji korišteni materijal su ekspanzirane polistiren ploče koje su poznate pod nazivom stiropor. Isto tako, prednosti i nedostaci dobro su poznati korisnicima takve vrste izolacije. Upravo zato, stiropor je dobar za usporedbu s tekućim plutom.

U prikazanim proračunima odabran je jednostavan presjek zida s tri sloja s ciljem zadržavanja fokusa na razlikama u samoj izolaciji. Tekuće pluto ima razne primjene kao i mjesta primjene pa je tako moguće birati i stranu zida na koju se nanosi tekuće pluto. Navedeno je prikazano u proračunima gdje je u jednom proračunu prikazano pluto s vanjske strane zida, a u drugom gdje se pluto nalazi između gipskartonske ploče i zida od porotherm opeke.

Tekuće pluto je u prednosti ako je pažnja na koeficijentu toplinske vodljivosti, ali s obzirom na to da se nanosi u iznimno tankom sloju od svega 3 mm, prema proračunu ne pokazuje toliko izvanredna svojstva.

Kod proračuna difuzije vodene pare, bitno je naglasiti da je pluto paropropusno. Iz grafičkog prikaza jasno je vidljivo kako neće doći do kondenzacije. Linije zasićenih pritisaka i parcijalnih pritisaka se ne preklapaju što nije slučaj i kod stiropora koji je znatno slabije paropropustan te kao izolacijski materijal koji za svrhu ima razdvajanje toplog i hladnog zraka izaziva pojavu kondenzata na svojim stijenkama.

4. ZAKLJUČAK

Grijanje i hlađenje životnog prostora u današnje vrijeme iziskuje visoke troškove, upravo zato treba uvijek pronalaziti učinkovita rješenja koja su u skladu s budžetom. Kod toplinske izolacije objekata, učestali materijali koji se koriste su stiropor i mineralna vuna, oni često zadovoljavaju cjenovni rang i koeficijente toplinske provodljivosti. U odnosu na njih, tekuće pluto nije toliko popularan materijal koji se koristi pri izradi fasada, ali je ekološki prihvatljiviji. Osim toga, potpuno je prirodan i obnovljiv što je njegova velika prednost.

Tekuće pluto nedvojbeno ima potencijal iz više perspektivi, posjeduje svojstva koja ga definitivno mogu svrstati u korisne materijale koji se koriste u graditeljstvu i šire. Pluto je materijal koji se primjenjuje u mnogim područjima, a cilj ovog rada je pokazati njegovu primjenu u izolaciji fasade. Privrženost tradicionalnoj gradnji od opeke i armiranobetonskih konstrukcija izaziva problem kod završnog sloja fasade zbog spojeva između opeka, serklaža koji nisu u savršenom pravcu zida, stupova, nadvoja i sličnog. Navedeni dijelovi konstrukcije smatraju se grubim radovima te stoga nisu uvijek savršeno izvedeni.

Prednost pluta je to što se prilagođava svim neravninama, zadovoljava funkciju, ali ne može ispraviti neravnine što dovodi do vizualnog problema. Tekuće pluto korisno je kod obnove postojećih fasada koje su već izravnale prethodno zid te na taj završni sloj možemo jednostavno nanijeti tekuće pluto što će obogatiti termoizolacijska svojstva same fasade i dati joj nov i svjež izgled. Kao dodatan primjer valjalo bi spomenuti montažne objekte koji imaju već ravnu plohu, recimo osb ploču kao završni sloj. Spojevi se mogu odraditi s filerom od tekućeg pluta, a završni sloj jednostavno nanijeti pod pritiskom iz „pištolja“.

S obzirom na cijenu, prednosti i nedostatke, pluto ima svoju osnovu za ostati u užem izboru kada je riječ o toplinskoj izolaciji, ali uzimajući u obzir raznolikost situacija koje se zatiču na terenu valjalo bi sve staviti na „papier“ shodno potrebi koja se želi zadovoljiti.

LITERATURA

- [1] Amorim cork composites; *Cork Oak Forest*; dostupno na: <https://amorimcorkcomposites.com/en/why-cork/facts-and-curiosities/about-oak-forest/> (pristup 12.08.2022.)
- [2] Bogdan A., Građevni materijali: *Tekuće pluto za unutarnje i vanjske izolacije*, Građevinar 70 (2018) 12, Hrvatski savez građevinskih inženjera, Zagreb 2018.
- [3] DK Centar, dostupno na: <https://www.dkcentar.hr/> (pristup 28.08.2022.)
- [4] DK Centar ; *Izolacija tekućim plutom*,; dostupno na: <https://www.dkcentar.hr/tekuce-pluto/> (pristup 12.08.2022.)
- [5] Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost: *Priručnik za energetske certificiranje zgrada*: <https://www.enu.hr/wp-content/uploads/2016/03/Priru%C4%8Dnik-za-energetsko-certificirane-zgrada.pdf> (pristup 15.08.2022.)
- [6] Gibson L.J.; *Cork: Structure, Properties, Applications*, Arnoldia 7471, 2016, dostupno na: <http://arnoldia.arboretum.harvard.edu/pdf/articles/2016-74-1-cork-structure-properties-applications.pdf>
- [7] Institut Catala del suro, dostupno na: <https://www.icsuro.com/eng/cork-properties/> (pristup 28.08.2022.)
- [8] Isolcork, dostupno na: <https://www.isolcork.cl/en/> (pristup 12.08.2022.)
- [9] Khan Academy; *What is thermal conductivity*, dostupno na: <https://www.khanacademy.org/science/physics/thermodynamics/specific-heat-and-heat-transfer/a/what-is-thermal-conductivity> (pristup 29.08.2022.)
- [10] *Pluta za prskanje - Tehnologija i primjena*, dostupno na: <https://hr.gardendecorgalore.com/6846794-.spray-on-cork-technology-and-application> (pristup 23.08.2022.)
- [11] Preferred by Nature: *FSC-certified cork oak forest: a photo essay*, dostupno na: <https://preferredbynature.org/newsroom/fsc-certified-cork-oak-forest-photo-essay> (pristup na 12.08.2022.)

- [12] Study queries: *Diffusion Definition, Types, Importance In Plants, Animals And Cells*; dostupno na: <https://studyqueries.com/diffusion/> (pristup 16.08.2022.)
- [13] Suberlev: *Natural sprayed cork; roofs and façades*; dostupno na: http://www.suberlev.com/fichas_tecnicas/ficha_tecnica_corcho_proyectado_cu_biertas_fachadas_eng.pdf (pristup 28.08.2022.)
- [14] Vipeq's Thermal CorkShield™; *The Properties of Cork*, dostupno na: <https://www.thermalcorkshieldbc.ca/benefits/> (pristup 10.7.2022.)