

# Izolacijski materijali u zgradarstvu

---

Slunjski, Fran

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:428435>

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

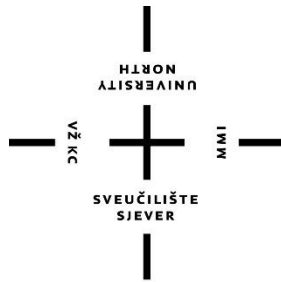
Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-02**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





**Sveučilište  
Sjever**

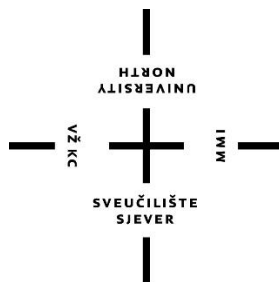
**Završni rad br. 486/GR/2024**

## **Izolacijski materijali u zgradarstvu**

**Fran Slunjski, 0965/336**

Varaždin, rujan 2024. godine





# Sveučilište Sjever

**Odjel za graditeljstvo**

**Završni rad br. 486/GR/2024**

## **Izolacijski materijali u zgradarstvu**

**Student**

Fran Slunjski, 0965/336

**Mentor**

Željko Kos, doc.dr.sc.

Varaždin, rujan 2024. godine

# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za graditeljstvo		
STUDIJ	preddiplomski studij Graditeljstvo		
PRISTUPNIK	Fran Stunjski	MATIČNI BROJ	0965/336
DATUM	09.09.2024.	KOLEGIJ	Zgradarstvo I
NASLOV RADA	Izolacijski materijali u zgradarstvu		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	Insulation materials in building construction		
MENTOR	doc.dr.sc. Željko Kos	ZVANJE	Docent
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. izv.prof.dr.sc. Bojan Đurin		
	2. doc.dr.sc. Željko Kos		
	3. doc.dr.sc. Anelko Cmoja		
	4. Dalibor Kramari , predava		
	5.		

## Zadatak završnog rada

BROJ 486/GR/2024

### OPIS

Pristupnik u radu napraviti pregled i opis izolacijskih materijala koji su neophodni u suvremenom zgradarstvu. Izra unat je gubitak koli ine topline u jednom danu za stanje zida bez i s primjenom toplinsko izolacijskih materijala.

U radu je potrebno obraditi sljede e teme:

- Fizika zgrade i mehanizmi prijenosa topline
- Tradicionalni i suvremeni toplinsko izolacijski materijali
- Primjena i svojstva zvu no izolacijskih materijala
- Hidroizolacijski materijali i njihova primjena

ZADATAK URUČEN 16.04.2024.



## **Predgovor**

Izjavljujem da sam završni rad izradio samostalno služeći se stručnom literaturom i znanjem koje sam stekao na Sveučilištu Sjever uz savjetovanje i praćenje u izradi rada od strane mentora Željka Kosa doc.dr.sc.

*Ovom prilikom zahvaljujem svom mentoru doc.dr.sc. Željku Kosu na predanom vodstvu prilikom izrade ovog završnog rada kao i na pomoći, prenesenom znanju te velikoj podršci. Zahvala ide i svim ostalim profesorima Odjela za graditeljstvo Sveučilišta Sjever.*

*Zahvaljujem se svim svojim prijateljima i kolegama za pomoć, podršku i uspomene stvorene za vrijeme studija.*

*Ipak najveće zahvale idu mojoj obitelji i zaručnici Ivi bez kojih ne bi bio tu gdje jesam.*

## Sažetak

Cilj ovoga završnog rada, bio je napraviti pregled i opis izolacijskih materijala koji su neophodni u suvremenom zgradarstvu. U uvodnom djelu ukratko se spominje povijest izolacijskih materijala, početak uporabe suvremenih izolacijskih materijala te ovojnica zgrade i njezin utjecaj. Spomenuta je fizika zgrade koja nam je potrebna da bi smo bolje razumjeli svojstva izolacijskih materijala. Osim toga, u radu se nalazi kratki pregled tradicionalnih i suvremenih toplinsko izolacijskih materijala i primjena tehničkih izolacija. Spomenut je Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama. U središnjem djelu rada objašnjena su svojstva zvučno izolacijskih materijala, zvuka, buke i prostorne akustike. Navedeni su hidroizolacijski materijali koji su važni za dugotrajnost objekata i opisana su njihova svojstva, način primijene i ugradnje. Napravljen je proračun količine topline za presjek armirano betonskog zida kod kojega je opisana prednost uporabe toplinsko izolacijskih materijala. Na samom kraju prikazuje se formula i primjer proračuna zvučno izolacijske jednostruke pregrade.

Ključne riječi: ovojnica zgrade, fizika zgrade, toplinska izolacija, EPS, XPS, MW, aerogel, zvučna izolacija, plivajući pod, hidroizolacija, TPO, količina topline

## **Abstract**

The goal of this undergraduate thesis was create an overview of insulating materials that are necessary in modern building construction and describe them. The introductory part briefly mentions the history of insulation materials, the beginning of the use of modern insulation materials, as well as building envelopes and their influence. Buildings physics which we need to better understand the properties of insulating materials, are mentioned. In addition, the thesis contains a brief overview of traditional and modern thermal insulation materials and the application of technical insulation. The Technical regulation on energy economy and heat retention in building is mentioned. In the main body of the thesis, the properties of soundproofing materials, sound, noise and spatial acoustics are explained. Waterproofing materials that are important for the longevity are listed and their properties, application and installation methods are described. A calculation of the amount of heat for a section of a reinforced concrete wall was made, where the advantage of using thermal insulation materials was described. At the very end, a formula and an example of a calculation of a single soundproof partition are presented.

**Keywords:** building envelope, building physics, thermal insulation, EPS, XPS, MW, aerogel, sand insulation, floating screed, waterproofing, TPO, amount of heat



## Popis korištenih kratica

**R** toplinski otpor

**R<sub>si</sub>** unutarnji plošni otpor prijelaza topline

**R<sub>se</sub>** vanjski plošni otpor prijelaza topline

**U** koeficijent prolaska topline

**Φ** količina prenesene topline

**Q** količina topline

**λ** koeficijent toplinske vodljivosti

**W** vat

**kW** kilovat

**J** džul

**K** kelvin

**Pa** paskal

**kPa** kilopaskal

**T** temperatura

**ΔT** razlika temperatura

**cal** kalorija

**c** specifični toplinski kapacitet

**SI** međunarodni sustav mjernih jedinica

**°C** celzijev stupanj

**%** postotak

**μ** paropropusnost

**A** površina

**d** debljina sloja

**t** vrijeme

**m** metar

**cm** centimetar

**mm** milimetar

**TI** toplinska izolacija

**ZI** zvučna izolacija

**EPS** ekspanzirani polistiren

**XPS** ekstrudirani polistiren

**ETICS** external thermal insulatio composite system

**PUR** poliuretan

**MW** mineralna vuna

**VIP** vakuum izolacijske ploče

**GFP** plinom ispunjene ploče

**dB** decibel

**R<sub>w</sub>** zvučno izolacijska moć

**PVC** polivinil klorid

**UV** ultraljubičasto zračenje

**APP** modificirani bitumen s plastomernim dodacima

**SBS** modificirani bitumen s elastomernim dodacima

**TPO** termopoliolefini

**HDPE** polietilen visoke gustoće

**LDPE** polietilen niske gustoće

**CG** pjenasto staklo

**DoP** izjava o svojstvima

**AB** armirani beton

# Sadržaj

1. Uvod .....	1
2. Fizika zgrade .....	3
2.1. Osnovni pojam topline.....	3
2.1.1. Toplina .....	3
2.1.2. Temperatura .....	3
2.1.3. Količina topline.....	4
2.2. Prenosenje topline.....	4
2.2.1. Kondukcija .....	4
2.2.2. Konvekcija .....	6
2.2.3. Radijacija .....	7
3. Toplinska izolacija, položaj i svojstva toplinsko izolacijskih materijala .....	9
3.1. Položaj toplinske izolacije .....	10
3.2. Svojstva toplinske izolacije .....	11
4. Vrste tradicionalnih toplinsko izolacijskih materijala.....	18
4.1. Organski TI materijali - prirodni .....	18
4.1.1. Ekspandirani pluto (ploče) .....	18
4.1.2. Pamuk (filc) .....	19
4.1.3. Drvena vlakna .....	20
4.1.4. Konoplja.....	20
4.1.5. Slama.....	21
4.1.6. Ovčja vuna .....	22
4.2. Organski Ti materijali - umjetni .....	23
4.2.1. Ekspandirani PoliStiren – EPS.....	23
4.2.2. Ekstrudirani PoliStiren – XPS .....	26
4.2.3. PUR – poliuretan u pločama i prskani poliuretan .....	30
4.3. Anorgansko toplinsko izolacijski materijali .....	31

4.3.1. Ekspandirani perlit – nasip.....	31
4.3.2. Staklena mineralna vuna - MW .....	32
4.3.3. Kamena mineralna vuna – MW .....	34
4.4. Toplinsko izolacijski materijali složenog porijekla.....	37
5. Suvremeni toplinsko izolacijski materijali .....	39
5.1. Aerogel .....	39
5.2. Vakuum izolacijske ploče – VIP .....	40
5.3. Plinom ispunjene ploče (GAS FILLED PANELS – GFP).....	42
6. Tehničke izolacije .....	44
7. Kako odabrati debljinu TI .....	45
8. Zvučna izolacija u zgradarstvu.....	46
8.1. Zaštita građevina od zvuka .....	46
8.2. Prostorna akustika.....	49
8.3. Primjena i svojstva zvučno izolacijskih materijala.....	50
8.3.1. Zvučno izolacijski materijali zida .....	50
8.3.2. Zvučna izolacija poda i stropa - plivajući pod .....	51
8.3.3. Zaštita od buke i vibracije u industrijskim objektima.....	54
8.3.4. Zvučna izolacija vrata .....	55
9. Hidroizolacija u zgradarstvu .....	56
9.1. Faze u projektiranju .....	56
9.3. Sintetske hidroizolacijske trake .....	60
9.3.1. Sintetska hidroizolacija – ravni krov .....	63
9.3.2. Sintetska hidroizolacija - podzemni dijelovi konstrukcija.....	67
9.4. Tekuće hidroizolacije i premazi .....	68
9.5. Čepasta folija HDPE.....	69
9.6. Pjenasto staklo – CG.....	70
10. Izjava o svojstvima - DoP .....	71

13. Primjeri proračuna.....	72
13.1. Proračun količine topline Q.....	72
13.2. Proračun indeksa zvučne izolacije pregrade – R.....	76
14. Zaključak.....	77
15. Literatura.....	78
Popis slika.....	83
Popis tablica.....	89

# 1. Uvod

Od samih početaka graditeljstva znamo da je stambeni dom bio skroman, najčešće jednostavnog tlocrtnog oblika gdje su sami graditelji bili su poluprofesionalni majstori koji su svoje znanje i vještine prenosili s koljena na koljeno. Veći napredak u graditeljstvu dolazi sredinom 20. stoljeća kada se počinju koristiti novi materijali koji ovojnicu zgrade dodatno štite od buke (zvučna izolacija), vlage (hidroizolacija) i gubitka topline (toplinska izolacija) [1].

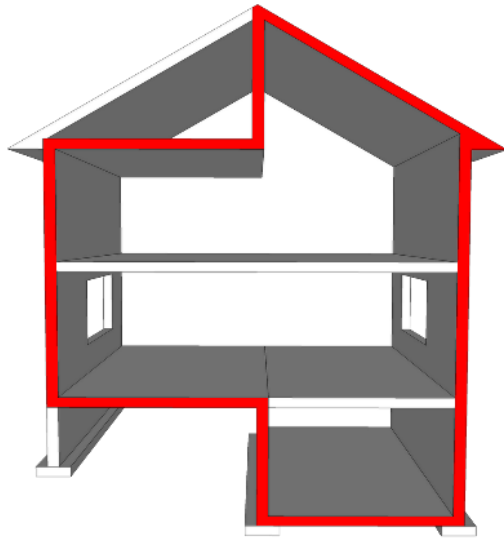
Sama riječ izolacija (tal. *isolare*: odvojiti, odijeliti, od lat. *inusta*: otok). Izolacija u graditeljstvu označava zaštitu konstrukcije ili unutarnjeg prostora od nepoželjnih i štetnih utjecaja (vlaga, toplina i buka) [2].

Suvremeni inženjeri prilikom projektiranja i same izgradnje susreću se s velikim izazovima. Zgrade potrošnjom energije, resursa te emisijom štetnih plinova značajno utječu na vanjski okoliš, ali su odgovorne i za stvaranje poželjnih uvjeta za ljudsko zdravlje, udobnost i produktivnost. Najveći dio izgubljene energije kod obiteljskih kuća s prirodnom ventilacijom odnosi se na transmisijske<sup>1</sup> i ventilacijske gubitke<sup>2</sup> preko ovojnice zgrade. Potrošnja energije osim što financijski utječe na ljude važan je utjecaj unutar zgrade budući da ljudi provedu većinu vremena u zatvorenim prostorima.

---

<sup>1</sup> Gubici topline nastali provođenjem topline kroz ovojnicu zgrade prema okolini i tlu, te prema okolnim prostorima s različitim toplinskim opterećenjem [6].

<sup>2</sup> Nastaju zbog prirodne i prisilne ventilacije [7].



*Slika 1.1. Ovojnica zgrade*

Ovojnica zgrade fizički razdvaja vanjsku od unutarnje okoline, odnosno poželjne utjecaje propušta u unutrašnjost, a nepoželjne odbija ili mijenja. Samo projektiranje ovojnice složen je zadatak zato što je potrebno uzeti u obzir veliki broj čimbenika koji bi osigurali ravnotežu između željenih rezultata i financijskih troškova. Kroz povijest, gradnja je ovisila o dostupnim resursima iz prirode, koji su stanovnicima olakšavali život. U Europi se primjenjivala masivna gradnja koja je u energetske smislu bila najbolje rješenje. Debeli ovojnica zgrade omogućila je zadržavanje topline zimi, zaštitu od pregrijavanja ljeti te je imala dobra akustična svojstva. Sama ovojnica u tradicionalnoj gradnji bila je sastavljena od jednog sloja, odnosno jednog materijala koji je zadovoljavao sve funkcije. S vremenom su se dodavali završni slojevi s unutarnje i vanjske strane, ali njihova je uloga ponajprije bila estetska. Tek s pojavom industrijske revolucije došlo je do korištenja novih građevnih materijala. Industrijskom revolucijom počinje doba suvremenog oblikovanja ovojnice zgrada. Novonastala situacija nametnula je potrebu za zakonima, normama i standardima, tj. znanstveno utemeljenim spoznajama [4].



## **2. Fizika zgrade**

U graditeljstvu postoji grana koja se bavi primjenom fizikalnih zakona pri rješavanju problema zaštite vlage, te akustične i toplinske zaštite. Razvitkom je došlo do proračunskih postupka prema kojima se određeni propisi primjenjuju i načina ugradnje građevnih materijala. Projektna dokumentacija obuhvaća fiziku zgrade u obliku Elaborata racionalne uporabe energije i toplinske zaštite zgrade. Svaki materijal pruža toplinski otpor. Prijenos topline u pojedinim materijalima (kamen, beton, kovine) odvija se brže za razliku od materijala poput pluta, mineralne vune, ekspaniranog polisterena. Stoga se pojedini materijali primjenjuju u pojedinim slojevima kao toplinska izolacija [8].

Kod prijenosa topline provođenjem, potrebno je povećati toplinski otpor ( $R$ ), a to postizemo upotrebom slabo provodljivih materijala, odnosno materijala niskih  $\lambda$  vrijednosti. Ispravnim odabirom i načinom ugradnjom toplinske izolacije izbjegavamo pojavu toplinskog mosta.

### **2.1. Osnovni pojam topline**

#### **2.1.1. Toplina**

Poznato je da se tvari mogu pojaviti u tri agregatna stanja, odnosno u čvrstom, plinovitom ili tekućem stanju. Tvari se sastoje od molekula koje su u neprekidnom, nesređenom gibanju. Kod čvrstih tijela molekule se gibaju oko nekog položaja ravnoteže, a kod tekućina i plinova kreću se u raznim pravcima gdje dolazi do međusobnog sudaranja i promjene smjera gibanja.

Toplina nekog tijela jednaka je zbroju kinetičkih energija nesređenog gibanja svih njegovih molekula [9].

Kada je u prostoru  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a vani  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  (toplostajni pad) dolazi do toplinskih gubitaka [15].

#### **2.1.2. Temperatura**

Kontaktom nekog tijela, na koži čovjeka javlja se osjećaj hladnoće ili topline. Toplinu možemo izraziti riječima i time možemo ocijeniti temperaturu na površini tog tijela.

Temperatura je općenito fizikalno svojstvo svih tijela [9].

U SI<sup>3</sup> mjernom sustavu termodinamička temperatura T je prihvaćena kao osnovna fizikalna veličina, a njena jedinica je kelvin (K) [9].

### 2.1.3. Količina topline

Kako bi povećali temperaturu nekog tijela potrebno je dovesti tom tijelu određenu količinu topline. Količina topline Q je fizikalna veličina koja označava toplinsku energiju. Energija prelazi s jednog tijela na drugo (dodirom ili zračenjem).

Mjerna jedinica za količinu topline je joule (J). Ranije se koristila jedinica kalorija (cal) [10].

$$1 \text{ cal} = 4,1868 \text{ J}$$

Specifični toplinski kapacitet (c) je količina topline, potrebna da se u jediničnoj masi nekog tijela povisi temperatura za jedinicu [10].

## 2.2. Prenosjenje topline

Prirodni proces do kojeg dolazi čim postoji razlika temperatura. Smjer prenošenja uvijek se vrši u pravcu niže temperature.

Toplina se može prenositi na tri načina koji se razlikuju po fizikalnom obliku i to su: [10]

- vođenje (kondukcija)
- prijelaz strujanjem (konvekcija) i
- prijelaz zračenjem (radijacija)

### 2.2.1. Kondukcija

Toplina se može prenositi u plinovitim, tekućim i čvrstim sredinama. Potrebno je dobro poznavanje ove pojave jer je od velike važnosti za građevne materijale. Vođenje ili kondukcija (eng. *Heat Conduction*) uzrokovana je molekularnim sudaranjem pri čemu dolazi do prijenosa topline. Energija topline prenosi se iz područja viših temperatura u područje

---

<sup>3</sup> Međunarodni sustav jedinica (znak SI, prema franc. *Sytme internationale d'unités*) sustav mjernih jedinica, razvijen iz Metarskog sustava jedinica, međunarodno prihvaćen 1960., nakon čega je općenito prihvaćen gotovo u cijelom svijetu [10].

nižih temperatura. Na mikro razini dolazi do bržeg titranja molekula toplijeg dijela pri čemu dolazi do prijenosa energije molekula do hladnijeg dijela sistema [11]. Prijenos topline kondukcijom kroz materijale ne odvija se istom brzinom.

Koeficijent toplinske vodljivosti  $\lambda$  predstavlja jednu od osnovnih toplinsko fizikalnih karakteristika materijala (W/mK) [10].

Zakon vođenja topline prema Fourier-u (1) iznosi:

$$Q = \lambda \cdot A \cdot [(\Theta_2 - \Theta_1) / d] \cdot t, \text{ gdje je} \quad (1)$$

$Q$  = količina topline

$\lambda$  = koeficijent toplinske vodljivosti

$A$  = površina

$\Theta_2 - \Theta_1$  = razlika temperature

$d$  = debljina sloja

$t$  = vrijeme

Toplinski tok je količina topline  $Q$  koja prolazi u jedinici vremena:

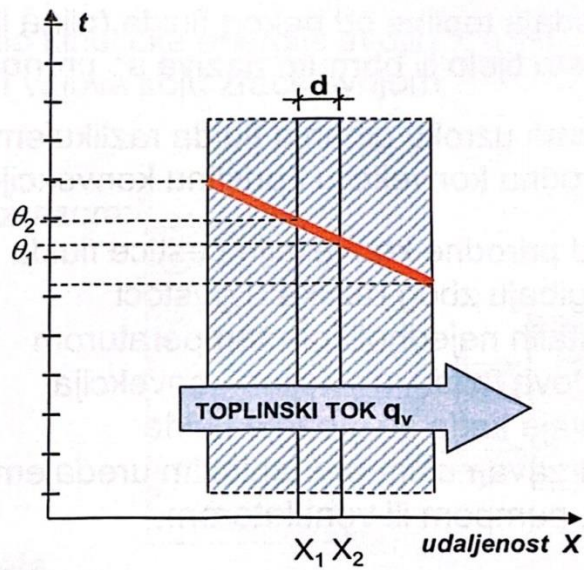
$$\Phi = Q / t \text{ (W)}$$

Toplinski tok koji prolazi jedinicom površine zove se gustoća toplinskog toka:

$$q = Q / (t \cdot A) \quad (\text{W/mK})$$

Gustoća toplinskog toka vođenjem iznosi:

$$q_v = \lambda (\Theta_2 - \Theta_1) / d$$



Slika 2.2.1. Prikaz grafa prenošenja topline kondukcijom

## 2.2.2. Konvekcija

Konvekcija ili strujanje (eng. *Convective Heat Transfer*) je prijenos topline koji je moguć samo u tekućinama i plinovima. Do prenošenja topline konvekcijom dolazi kada se toplina nekog tijela u gibanju predaje na neko čvrsto tijelo. Primjer konvekcije je djelovanje radijatora kada fluid na jednom mjestu prima toplinu i svojom strujom je prenosi na neko drugo mjesto. Energija topline prenosi se iz područja viših temperatura u područje nižih temperatura pri čemu dolazi do strujanja zraka, odnosno toplina se raznosi u prostor. Postoje dvije vrste konvekcije (prirodna i prisilna).

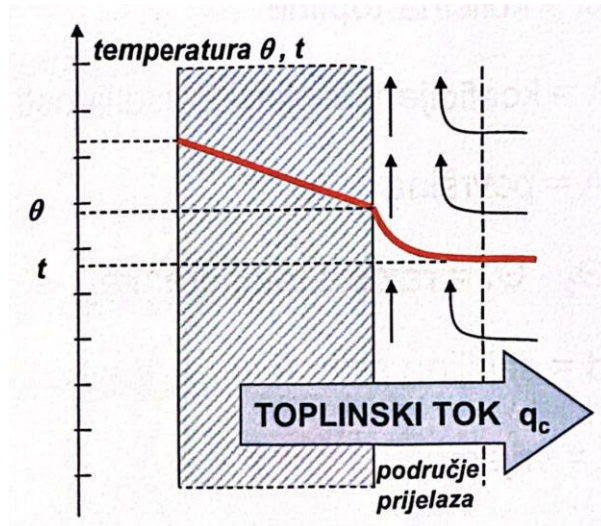
Razlika u gustoći nastala nejednolikim temperaturnim djelovanjem fluida koja izaziva gibanje čestica naziva se slobodna konvekcija, odnosno prenošenje topline strujanjem [9].

Gibanje koje je uzrokovano gibanjem uređaja (npr. ventilator) naziva se prisilna konvekcija [11].

Gustoća toplinskog toka  $q_c$  dana je izrazom:

$$q_c = h_c (\Theta - t), \text{ gdje je}$$

$h_c$  je plošni koeficijent prijelaza topline konvekcijom. Njegova vrijednost se utvrđuje eksperimentalno, a ovisna je o brzini zraka uz promatranu površinu, o orijentaciji površine i o smjeru toplinskog toka [9].



Slika 2.2.2. Prikaz grafa prenošenja topline konvekcijom

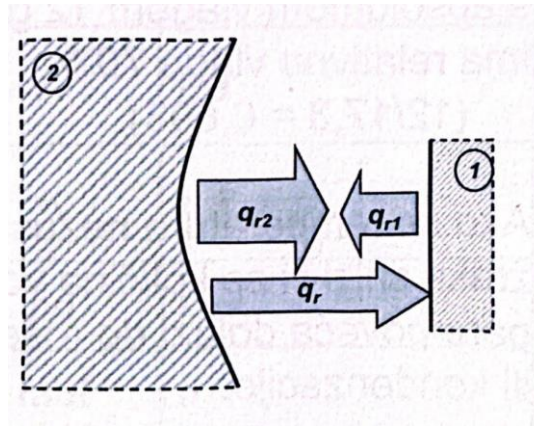
### 2.2.3. Radijacija

Kod radijacije (eng. *Radiation*) topline se prenosi na način da zagrijano tijelo odašilje elektromagnetsko zračenje, a hladnije tijelo upija energiju zračenja i na taj način se zagrijava. Prijenos topline moguć je samo u plinovitim tvarima i vakuumu. Toplinske zrake prenosi se brzinom svjetlosti ( $c = 3 \cdot 10^8 \text{ms}^{-1}$ ) [11, 12].

Gustoća toplinskog toka  $q_r$  zračenjem dana je izrazom:

$$q_r = h_r (\Theta_2 - \Theta_1) \cdot f$$

$h_r$  je koeficijent prijelaza topline zračenjem ( $\text{W/m}^2\text{K}$ ), ovisi o koeficijentima emisije  $\varepsilon_1$  i  $\varepsilon_2$  površina tijela 1 i 2 koja izmjenjuju toplinu zračenjem [9].  $f$  je bezdimenzionalna veličina koja je određena međusobnim odnosom tijela.



Slika 2.2.3. Prenošenje topline radijacijom

### **3. Toplinska izolacija, položaj i svojstva toplinsko izolacijskih materijala**

Na području Republike Hrvatske toplinska izolacija pojavljuje se osamdesetih godina 20. stoljeća. Pojavljuje se u obliku termo žbuka koja je osigurala zdravu mikroklimu u prostoru, spriječila je pojavu vlage te je omogućila uštedu energije.

Da bi se spriječio gubitak topline u građevinama koje se grade od nosivih konstrukcijskih materijala (malih toplinskih svojstva), ugrađuje se TI kao ispuna između elemenata nosivih konstrukcija ili kao vanjska ili unutarnja obloga. Današnjim propisima suvremena gradnja nalaže da se sve vanjske strane konstrukcije trebaju toplinski zaštititi. Zadatak arhitekata i građevinara je dobar odabir i pravilna primjena TI materijala pri projektiranju i izvođenju. Time se postiže energetska efikasnost zgrada. Stupanj potrebe zaštićenosti zgrada od gubitaka topline je propisan pa se prema njemu i odabranom konstrukcijskom materijalu bira TI materijal i debljina slojeva računa prema uvjetovanom koeficijentu otpora protoku topline kroz pregradu (zid) [14]. Iz prakse nam je poznato da konstrukcijski građevinski materijali nisu dobri vodiči topline niti su dobri izolatori. Povećanjem poroznosti materijala povećava se toplinsko izolacijska vrijednost materijala, ali smanjuje se mehanička otpornost i slabi zaštita od buke. Kada porozni materijali dođu u kontakt s vlagom oni postaju hidrofolni<sup>4</sup> budući da se toplinsko izolacijska vrijednost materijala smanjuje povećanjem vlažnosti. Tehnološki, ekonomski i ekološki uvjeti pri suvremenom projektiranju i građenju postaju sve složeniji [14].

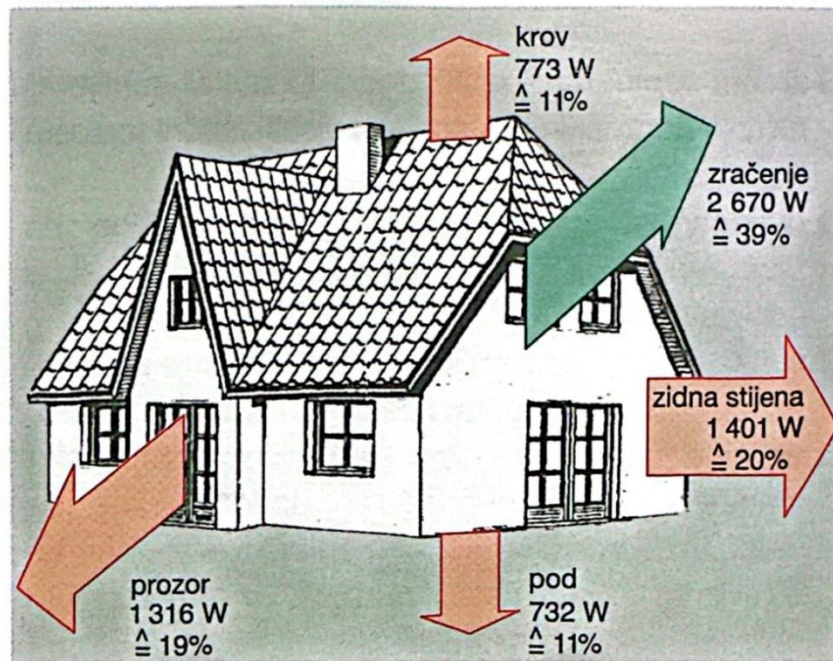
Razlog zbog kojega se suvremeni građevinski materijali ugrađuju u konstrukcije jesu toplinska zaštita (zimsko razdoblje) i toplinska stabilnost (ljetno razdoblje).

Toplinska zaštita u zimsko razdoblje (slika 3.1.) utječe na energijski utrošak. Da bi se smanjio utrošak energije na grijanje građevina u posljednjih nekoliko desetljeća povećan je zakonski zahtjev za toplinsku zaštitu. Kod niskih vanjskih temperatura u prostor se mora privesti toliko energije koliko se gubi preko toplinskog omotača zgrade. Svako izgaranje okaminskih tvari (zemni plin, ugljen) štetno djeluje na zrak te se preporuča što manje trošenje okaminskih goriva jer time ćemo zaštititi okoliš, a to možemo postići dobrim odabirom i pravilnom primjenom toplinsko izolacijskih materijala [16].

---

<sup>4</sup> Osobina molekula da odbije vodu [13].

Toplinska stabilnost (ljetno razdoblje) služi kao zaštita konstruktivnih dijelova od visokih temperatura. Pojavom visokih temperatura dolazi do toplinskog naprezanja. Druga svrha toplinske stabilnosti je postizanje ujednačene temperature unutarnjeg prostora, smanjuje zračenja topline u prostor (interijer) i služi kao zaštita da ne dođe do pregrijavanja obodnih pregrada.



Slika 3.1. Toplinski gubici obiteljske kuće, vanjski toplostaj (temperatura):

$-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a prostorijski toplostaj:  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$

### 3.1. Položaj toplinske izolacije

Radi postizanja ispravnog fizikalnog procesa najpovoljnija je vanjska strana konstrukcije. Kod ugradnje unutar slojeva vanjske konstrukcije ili na unutarnjoj strani ne dolazi do postizanja ispravnog fizikalnog procesa. Postoje slučajevi kada se toplinska izolacija postavlja s unutarnje strane, ali je ona namijenjena za prostore koji se privremeno griju ili kod kojih je potrebno brzo zagrijavanje. Toplinsku izolaciju možemo položiti bliže vanjskog strani zida, unutar same konstrukcije, bliže unutarnjoj strani zida i u cijeloj debljini građevnog djela.



### 3.2. Svojstva toplinske izolacije

Učinkovita toplinska izolacija zidova, podova i krovnih prostora od velike je važnosti za stvaranje osjećaja udobnosti interijera. Energetski štedljiva izolacija isplati se od prvoga dana, daje nam jamstvo ugodnog stanovanja u svako godišnje doba, godišnje smanjene pogonskih troškova, produljuje životni vijek građevinama te doprinosi održivoj zaštiti klime. Kada su vanjski izolirani zidovi topli s unutarnje strane ugodni su na dodir. Time postizemo zaštitu od štetnih kondenzacija, gotovo da nema propuha jer je temperaturna razlika zraka i površine zida manja od 3°C. Sobna temperatura može se sniziti, a da osjećaj ugone ostane isti. Sobna temperatura snižena za 1 °C može smanjiti potrošnju energije i do 6%.

Toplinska provodljivost  $\lambda$  (W/mK) je fizikalna veličina koja nam govori kako toplina prolazi kroz tvari i glavno je svojstvo za odabir toplinske izolacije. (slika 3.2.1.) Određuje se eksperimentalno i ovisi o vlažnosti, temperaturi i gustoći tvari. Toplinska provodljivost (2) računa se pomoću sljedećeg izraza [15]:

$$\lambda = \frac{Q}{A \cdot \Delta T} \cdot \frac{d}{t} \quad [\text{W/mK}], \text{ gdje je} \quad (2)$$

$\lambda$  = koeficijent toplinske provodljivosti

Q = količina topline (J)

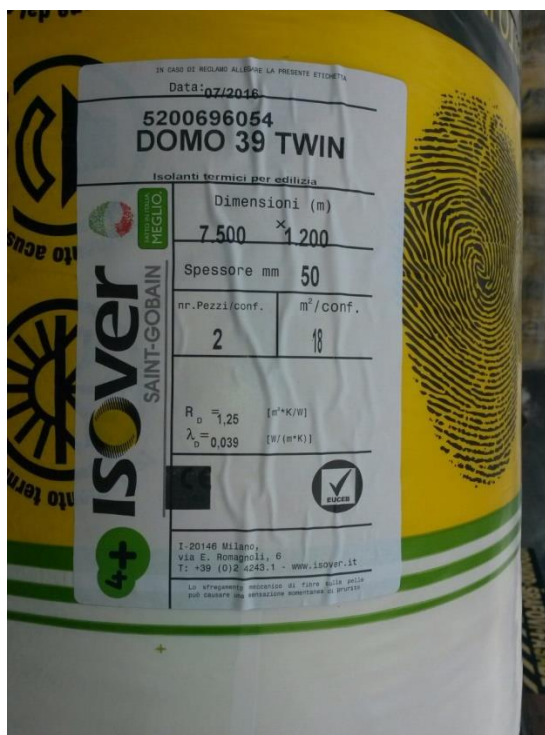
A = površina (m<sup>2</sup>)

$\Delta T$  = razlika temperature (K)

d = debljina materijala (m)

t = vrijeme prolaza topline (s)

Njene vrijednosti mogu biti promjenjive kod jedno te istog materijala. U današnjem zgradarstvu minimalnom debljinom možemo postići dobru TI vrijednost. Toplinsko izolacijski materijali koji imaju male vrijednosti toplinske provodljivosti zovu se toplinski izolatori. Materijali s velikom vrijednošću toplinske provodljivosti nazivaju se vodiči topline.



Slika 3.2.1. Prikaz koeficijenta toplinske provodljivosti  $\lambda = 0,039$  (W/mK) na deklaraciji mineralne staklene vune proizvođača Isovler – Saint Gobain

Tablica 1. Toplinska provodljivost ( $\lambda$ ) [W/mK] različitih materijala

## Toplinska provodljivost različitih materijala

TVAR	TOPLINSKA PROVODLJIVOST ( $\lambda$ ) L [W/mK]
Zrak (20 °C)	0,025
Voda (20 °C)	0,580
Staklo	0,800
Cigla (šuplja)	0,600
Beton	2,000
Ekspandirani polistiren	0,030 – 0,040
Kamena vuna	0,035 – 0,040

Još jedno svojstvo koje utječe na toplinske gubitke je koeficijent prolaska topline (U). Njegova vrijednost kao i kod koeficijenta toplinske provodljivosti ( $\lambda$ ) treba biti što manja da bi objekt bio bolje toplinski izoliran. To je zapravo količina topline koju građevni element gubi u 1 sekundi po  $m^2$  površine kod razlike temperature od 1 K [17]. Mjerna jedinica za koeficijent prolaska topline (3) je  $W/m^2K$ , a računa se pomoću sljedećeg izraza:

$$\Phi = A \cdot U \cdot (T_1 - T_2) [W/m^2K], \text{ gdje je} \quad (3)$$

$\Phi$  = količina prenesene topline u 1 sekundi (W)

A = površina kroz koju toplina protječe ( $m^2$ )

U = koeficijent prolaska topline ( $W/m^2K$ )

$T_1$  = viša temperatura s jedne strane strukture

$T_2$  = niža temperatura s druge strane strukture

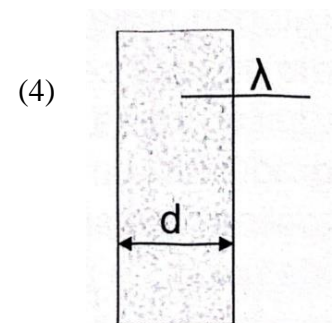
Svojstvo koje također treba uzeti u obzir je toplinski otpor (R). To je otpor koji se pruži prilikom prolaska topline kroz materijal. Vrijednost toplinskog otpora (R) za razliku od koeficijenta toplinske provodljivosti ( $\lambda$ ) i koeficijenta prolaska topline (U), treba biti što veći da bi objekt bio bolje toplinski izoliran. Ovisi o strukturi, vrsti materijala i njihovim pojedinim debljinama. Toplinski otpor je recipročna vrijednost koeficijentu prolaska topline. Mjerna jedinica u kojoj izražavamo otpor je  $(m^2K)/W$ . Vrijedi sljedeće:  $\Delta R < 1,0 (m^2K)/W$  [18].

Postoje homogeni i nehomogeni slojevi građevinski elementi zgrade. Homogeni materijali (slika 3.2.3) se sastoje od samo jednog materijala i njegove granične površine su međusobno paralelne. Ako nam je poznata toplinska provodljivost i debljina, toplinski otpor homogenih materijala (4) možemo izračunati pomoću izraza [9]:

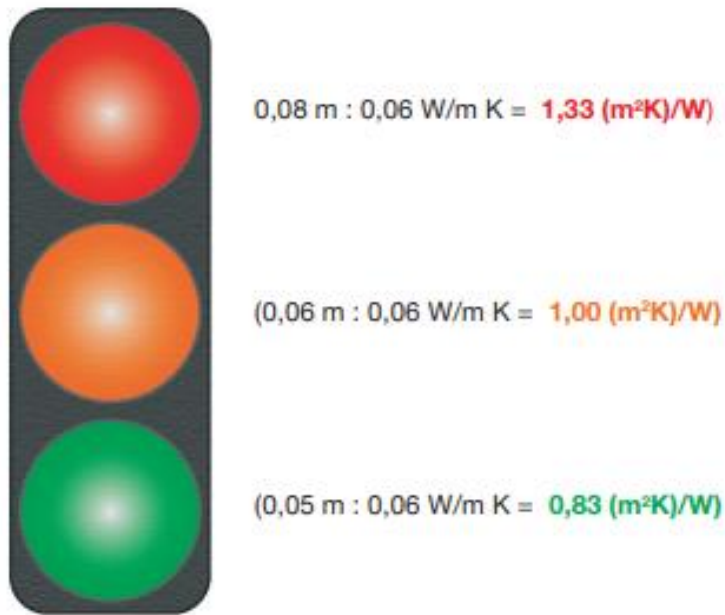
$$R = d / \lambda (W/m^2K), \text{ gdje je}$$

d = debljina sloja materijala u građevinskom elementu

$\lambda$  = projektna vrijednost toplinske provodljivosti materijala ( $W/m^2K$ )



Slika 3.2.2. Homogena građevna pregrada



Slika 3.2.3. Debljina izolacije podijeljena s koeficijentom toplinske vodljivosti =  $\Delta R$  vrijednosti

Građevinski elementi koji imaju više slojeva (5) češći su u građevinskoj praksi te ih možemo izračunati pomoću izraza [9]:

$$R_n = d_1 / \lambda_1 + d_2 / \lambda_2 \quad (5)$$

Građevinski element koji se sastoji od više homogenih (6) materijala (slika 3.2.5.), ukupan toplinski otpor iznosi:

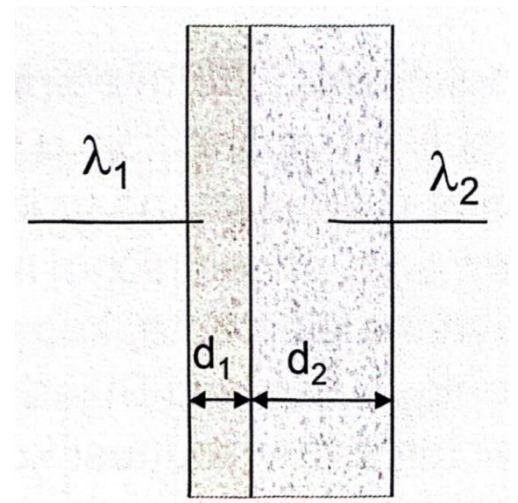
$$R_T = R_{SI} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}, \text{ gdje je } (6)$$

$R_{SI}$  = unutarnji plošni otpor prijelaza topline

$R_1, R_2 \dots R_n$  = projektne vrijednosti toplinskog

toka svakog sloja

$R_{se}$  = vanjski plošni otpor prijelaza topline



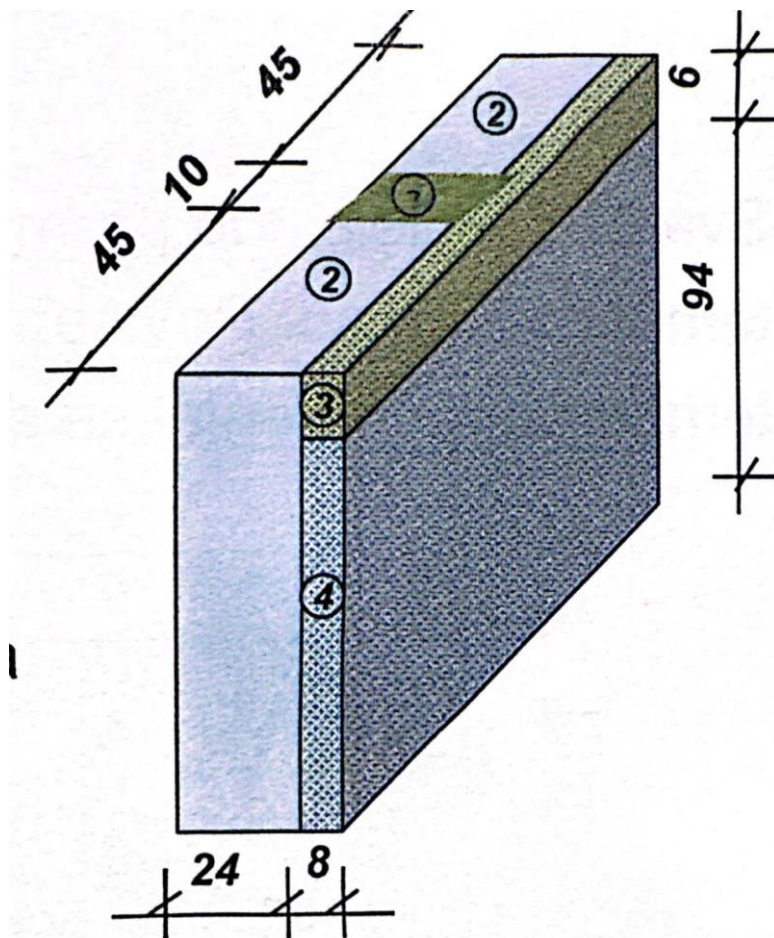
Slika 3.2.4. Građevinski element iz više sloja

Kod proračuna nehomogenih (7) materijala (slika 3.2.6.) uzima se udio površina svakog dijela s različitim toplinskim svojstvima. Kada su slojevi paralelni s površinom uzima se aritmetička sredina gornje i donje granične vrijednosti otpora [9].

$$R_T = (R'_T + R''_T) / 2, \text{ gdje je} \quad (7)$$

$R'_T$  = gornja granična vrijednost ukupnog toplinskog otpora

$R''_T$  = donja granična vrijednost ukupnog toplinskog otpora



Slika 3.2.5. Građevinski element sastavljen od nehomogenih materijala

Vrijednosti svakog građevinskog elementa zgrade ne smiju biti veće od normirane vrijednosti Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (NN110/08). Prema HRN EN ISO 6946:2002 dodatak D u određenim slučajevima vrijednosti prolaska topline  $U$  mogu se ispraviti ako ukupan ispravak  $U$  vrijednosti iznosi manje od 3% [9].

Čvrstoća je svojstvo TI koja se kao uvjet postavlja samo ako to konstrukcija zahtjeva. Ako se na TI postavlja teret potrebna je velika tlačna čvrstoća. Za izvedbu TI u ravnim

krovovima određena je minimalna do srednja tlačna čvrstoća. Na kontaktnim pročeljima, ovisno o vrsti i debljini žbuke određena je minimalna tlačna i vlačna čvrstoća. TI kao ispuna potkonstrukcija ne zahtijeva tlačnu čvrstoću materijala.



*Slika 3.2.6. Toplinska izolacija ravnog krova XPS pločama*

Zahtjev o požarnoj zaštiti građevine nalaže da se u određenim situacijama, ovisno o mjestu ugradnje u konstrukciji ugrađuju negorivi materijali. Ako to nije uvjet u konstrukciju se mogu ugrađivati negorivi i gorivi materijali. Materijali su razvrstani prema klasama A i B. Klasa A su negorivi materijali razvrstani u dvije grupe A1 i A2. Klasa B su gorivi materijali u tri grupe B1, B2 i B3 [9]. Kamena i staklena vuna, porobetonske ploče su negorivi ili slabogorivi materijali dok su poliuretani i fenolne ploče gorivi i pri gorenju stvaraju otrovne plinove.

Paropropusnost je svojstvo materijala kojom se izražava količina vodene pare u gramima koja prolazi kroz površinu materijala ( $m^2$ ) u nekom vremenskom roku (npr. 24 sata) [19]. Bezdimenzionalna veličina koja se označava  $\mu$ . Kod vanjski pozicija TI materijala (mineralna vuna je paropropusna kao i zrak  $\mu \geq 1$ ) poželjna je visoka paronepropusnost. Kod unutarnjih pozicija TI materijala (XPS  $\mu = 50 - 200$ , foamglas  $\mu = 70000$ , odnosno apsolutna parna brana) [9].

Pri odabiru TI moramo obratiti pozornost na svojstva vodoneupojnosti i postojanosti na vibracije, starenje i truljenje. Vodoneupojni materijali su anorganskog ili organskog umjetnog porijekla (npr. XPS). Primjenjuju se isključivo na pozicijama gdje je IT izložena vodi.

## **4. Vrste tradicionalnih toplinsko izolacijskih materijala**

Pojavom novih materijala u 20. stoljeću dolazi do velikih promjena u detaljima i slojevima gradnje koji su zamijenili do tada klasičnu masivnu gradnju (debeli zidovi). Razvojem nosivih konstrukcija dolazi do pojave novih materijala koji su omogućili oblikovanje ovojnica zgrada. No taj razvoj nametnuo je potrebu za zakonima, normama i standardima, tj. znanstveno utemeljenim spoznajama. TI materijali prema porijeklu mogu se podijeliti:

1. organski TI materijali - prirodni
2. organski TI materijali - umjetni
3. anorganski TI materijali
4. TI materijali složenog porijekla (višeslojni)

### **4.1. Organski TI materijali - prirodni**

#### **4.1.1. Ekspandirani pluto (ploče)**

Visoko kvalitetne ploče (slika 4.1.1.) koje služe kao alternativna zamjena mineralne vune i polistirena. Ploče se dobivaju mljevenjem hrasta plutnjaka i ekspandiranjem čestica koje se kasnije režu u ploče raznih dimenzija. Ploče se ne mrve i ne gnjiju što im je prednost, a njihova slabost je dug transport jer se uvoze iz Afrike, Portugala i Španjolske. Ploče se mogu dobiti i na način prešanjem čestica pluta povezanih bitumenom ili nekim drugim ljepilom. Pluto kao građevinski materijal može se isporučiti u pločama, ekspandiranim granulama (rastresito stanje) ili u obliku traka. Mogu se primjenjivati unutar i izvan zgrade. Ploče su negorive i imaju visoku apsorpciju zvuka. Osim navedenih prednosti može se koristiti kao ukrasna površina.





*Slika 4.1.1. Ekspandirani pluto (ploče)*

#### **4.1.2. Pamuk (filc)**

Pamuk (slika 4.1.2.) je prirodan organski materijal koji je na tržištu prisutan tek nekoliko godina. Cjenovno nije skup i dobar je toplinski izolator (koeficijent toplinske provodljivosti  $\lambda$  0,040 W/mK). Dodavanjem borove soli poboljšava se protupožarna otpornost. Da bi se zaštitio od gamadi dodaje se biocid koji može uzrokovati alergijsku reakciju kod ljudi. Organska kao i mineralna vlakna mogu prodrijeti u pluća i štetiti zdravlju. Najviše se upotrebljava kao izolacijski materijal u Pakistanu i Egiptu zbog cijene i dostupnosti.



*Slika 4.1.2. Pamuk*

### 4.1.3. Drvena vlakna

Ploče od drvenih vlakna (slika 4.1.3.) s dodatkom mineralnih veziva su organski TI materijal koje se oblikuju u izolacijske ploče. Ploče su negorive, velike čvrstoće, ali slabije toplinske provodljivosti (koeficijent toplinske provodljivosti  $\lambda$  0,090 W/mK). Dobivaju se preradom drvenih otpadaka u koje se dodaje ljepilo. Tvrde ili meke ploče od drvenih vlakna upotrebljavaju se u kombinaciji s nasutim izolacijskim materijalima.



*Slika 4.1.3. Drvena vlakna (ploče)*

### 4.1.4. Konoplja

Izolacijom od konoplje (slika 4.1.4.) možemo postići izvrsne toplinske, zvučne i protupožarne parametre. TI parametri slični su kao i kod ostalih prirodnih izolacija s koeficijentom toplinske provodljivosti  $\lambda$  je 0,040 [W/mK]. Najveća prednost izolacija od konoplje je ta da ima visoku propusnost i provođenje vlage koje omogućuju zdravu mikroklimu kuće čime se prirodno štiti od plijesni i bakterija. Visoka propusnost i provođenje vlage jesu razlozi zbog kojih izolacija od konoplje ima sposobnost zadržavanja vlastitog oblika u vlažnim uvjetima, a pritom da ne mijenjaju svoja TI svojstva. Rukovanje izolacijskim pločama od konoplje pri ugradnji je sigurno i bez opasnosti od iritacije kože ili dišnog sustava. Primjena izolacije od ploča konoplje je široka i koristi se za ispunu zidova, izolaciju podova, tavana i krova te za izolaciju unutarnjih ili vanjskih zidova. Ploče nemaju konstruktivnu ulogu i za potporu se koriste drveni ili metalni nosači. Proces proizvodnje s energetskeg gledišta nije zahtjevan te nema utjecaj na onečišćenje okoliša.



*Slika 4.1.4. Vlakna od konoplje (ploče)*

#### **4.1.5. Slama**

Potreba za zelenom gradnjom je sve veća i u fokus dolaze prirodni materijali koji imaju odlične toplinsko izolacijske karakteristike, a koje ne zagađuju okoliš. Slama je prirodan, ekološki, energetski održiv, pristupačan i gotovo besplatan materijal. Proizvodnja slame u svijetu je veća od potražnje tako da se svake godine višak spali kao poljoprivredni otpad. U graditeljstvu najpovoljnija je rižina slama koja sadrži silicijev dioksid. Silicijev dioksid pruža veliku otpornost na vlagu. U Hrvatskoj ne postoji velika proizvodnja slame kao izolacijski materijal i zbog toga je skuplja od običnih izolacijskih materijala. Slama kao izolacijski materijal (slika 4.1.5.) u graditeljstvu se koristi u obliku blokova i panela. Prešanjem slame ostaje minimalni postotak zraka u pločama. To osigurava dobra TI svojstva čije vrijednosti ovise o gustoći i postotku vlage. Da bi se slama zaštitila od vanjskih utjecaja potrebno je zidove ožbukati vapnenim mortom jer time omogućujemo prolazak vlage i sprječava se truljenje. Slama je gorivi materijal, ali proizvodi od slame koji se koriste u izgradnji zbog minimalne količine zraka gotov da su nezapaljivi. Najveća opasnost je voda odnosno truljenje uslijed vlage. Pravilnom ugradnjom, slama kao građevni materijal može trajati i do 100 godina, a većina proizvođača daje rok trajanja od 25 godina [21]. Slama nema nutritivnih vrijednosti tako da ne postoji opasnost od insekata i glodavca, a kada se ožbuka postaje neprobojna za njih.



*Slika 4.1.5. Ugradnja slame kao izolacijski materijal*

#### 4.1.6. Ovčja vuna

Za razliku od ostalih, izolacija od ovčje vune je životinjskog porijekla. Ovčja je vuna prirodna, sigurna, i ekološki prihvatljiva. Vuna ima visoku čvrstoću, dobar je toplinski izolator i otporna je na požare. Ima višu razinu otpornosti na gorenje od drugih materijala proizvedenih od celuloze. Topi se kada dođe u kontakt s izvorom plamena. Svojstvo vune je higroskopnost i stoga će apsorbirati i osloboditi vodenu paru, a pritom da ne mijenja svoja TI svojstva. Vuna ne uzrokuje iritaciju kože i dišnog sustava te je zbog toga prihvatljiva [22]. Za vrijeme hladnijih dana vuna apsorbira toplinu iz vlage u zraku. Za vrijeme toplijih dana oslobađanje vlage ima učinak hlađenja na vlakna koja smanjuju protok topline. Za postizanje najboljih svojstva gustoće i čvrstoće, vuna se koristi u kombinaciji s drugim recikliranim vlaknima (poliesterom) niske gustoće. Primjenjuje se u starijim konstrukcijama, podovima i za izolaciju cijevi. Koeficijent toplinske provodljivosti  $\lambda$  je 0,040 – 0,045 [W/mK]

*Tablica 2. Usporedba ovčje vune s drugim izolacijskim materijalima*

Izolacijski materijal	Toplinska provodljivost (W/mK)	Utjelovljena energija (GJ/m <sup>3</sup> )	Koeficijent apsorpcije zvuka (500 – 2000 Hz)	Apsorpcija vode (% wt/wt)
Ovčja vuna	0,037	0,11	0,77 (60 mm)	do 35 %
Staklena vuna	0,032 – 0,04	0,83	0,65 (100 mm)	0,2 %
Polistirenska pjena	0,033 – 0,035	3,03	0,35 (50 mm)	0,03 – 0,1 %

## 4.2. Organski Ti materijali - umjetni

### 4.2.1. Ekspandirani PoliStiren – EPS

Polistirenske ploče (slika 4.2.1.) su plastični pjenasti materijal dobiven postupkom ekspandiranja. Sastoje se od 98% zraka, izuzetno je lagan i plutajući pa imaju dobra izolacijska i zvučna svojstva [23]. U većini slučajeva je bijele boje i sastoji se od međusobno povezanih malih kuglica polistirena (0,1 – 2,0 mm) koje su dobivene od sirove nafte, pentana i usporivača plamena, a baziraju se na molekulama stirena. Predeksandirane granule pomoću pare (100 °C) ekspandiraju i povećavaju svoj volumen za 20 do 40 puta. Nakon izlaza predeksandirane granule idu u silose da sazriju na zraku gdje bi se trebale zadržati 6 do 24 sata. Zatim se formiraju u blok forme pod velikom količinom pare i tako nastaju blokovi 0,5 do 1,0 m<sup>3</sup>, a mogu biti i veći. Blokovi trebaju odležati 7 do 45 dana jer se u tom periodu ohlade i stabiliziraju. Nakon toga se blokovi mogu rezati (zagrijanom žicom), a da se ploče ne saviju. Ploče se režu u debljinama od 10 mm do 200 mm, a mogu i biti veće [24].

Ekonomski su povoljniji od drugih materijala. Postojan, paropropusan, samogasiv (Eurorazred E), dugotrajan, dobrih mehaničkih svojstva, odličan toplinski i zvučni izolator. Mehanička svojstva materijala ovise o gustoći. Važno svojstvo materijala je tlačna čvrstoća.

Tablica 3. Tehnički podaci stiropora

Tip proizvoda			EPS 50	EPS 70	EPS 100	EPS 150	EPS 200	EPS F STANDARD	EPS F PREMIUM	EPS F PLUS (graftni)	EPS EL	EPS PG
Svojstvo	Simbol	Jednica mjere										
Deklarirana toplinska provodljivost	$\lambda_D$	W/mK	0,041	0,038	0,037	0,035	0,035	0,039	0,037	0,032	0,041	0,033
Zapaljivost			Eurorazred E (teško zapaljiv)									
Gustoća	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	~ 12	~ 15	~ 20	~ 25	~ 30	~ 14	~ 16	~ 16	~ 15	~ 30
Tlačna čvrstoća	CS(10)	kPa	≥ 50	≥ 70	≥ 100	≥ 150	≥ 200					≥ 200
Čvrstoća na savijanje	BS	kPa	≥ 75	≥ 115	≥ 150	≥ 200	≥ 250	≥ 115	≥ 135	≥ 135		≥ 250
Vlačna čvrstoća	TR	kPa						≥ 120	≥ 150	≥ 150		
Stišljivost	CP	mm									≤ 4	
Dinamička krutost	SD	MN/m <sup>3</sup>									≤ 30 (23/20 mm)	
Dugotrajna vodoupojnost pri potpunom uranjanju	WL(T)	%			≤ 3	≤ 3	≤ 3					≤ 2
pri djelomičnom uranjanju	WL(P)	kg/m <sup>2</sup>						≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5		
Paropropusnost	$\mu$		20 - 40	20 - 40	30 - 70	30 - 70	30 - 70	20 - 40	20 - 40	20 - 40	20 - 40	30 - 70
Temperaturna postojanost kratkotrajna		°C	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
dugotrajna		°C	75	75	80	80	80	75	75	75	75	80

Maksimalna dozvoljena radna temperatura EPS-a ovisi o trajanju i intenzitetu opterećenja pod povišenom temperaturom. Ukoliko EPS nije pod opterećenjem podnosi kratkotrajnu temperaturu do 100 °C. Maksimalna trajna temperatura neopterećenog materijala iznosi 75 do 85 °C [26]. Kod niskih temperatura ne dolazi do strukturnih promjena tako da može podnijeti i ekstremno niske temperature. Povećanjem gustoće povećava se otpornost na povišene temperature. Porastom gustoće pada toplinska vodljivost. Debljinom EPS-a postižemo bolja izolacijska svojstva, ali kod same ugradnje treba odrediti i odgovarajuća mehanička svojstva. Prema kemijskom sastavu EPS (tablica 4) je u dodiru s drugim otporan na većinu materijala.

Tablica 4. Kemijska svojstva i (ne)postojanost

Voda, morska voda Uobičajeni građ. materijali kao vapno, cement, gips Razrijeđene kiseline, alkali Bitumen Ljepila i boje na bazi vode Alkohol	<b>Postojan</b>
Parafinska ulja, biljna i životinjska ulja i masti Dizelsko gorivo, vazelin	<b>Uvjetno postojan</b>
Hladni bitumen i bitumenske mase sa razrjeđivačima (Resitol) Životinjsko gnojivo Razrjeđivači (aceton, eter, nitro, benzol) Normal i Super benzin	<b>Nepostojan</b>

EPS ne upija vodu, nije topljiv u vodi niti povećava svoj volumen. Nakon držanja 28 dana potpuno uronjenog u vodi, voda se upija samo površinski [26]. Nakon vađenja iz vode potpuno se osuši pri čemu se ne narušavaju njegova TI svojstva. EPS je moguće reciklirati u obliku laganog stiropora za beton ili granula koje se dodaju u tlo radi povećanje prozračnosti tla.

EPS je moguće proizvesti u raznim oblicima i formama, a označuje prema klasi tlačne čvrstoće. Npr. EPS 70 znači:

- EPS označava Ekspandirani PoliStiren
- 70 označava tlačnu čvrstoću u kPa

S razvojem tehnologija nastala je nova generacija EPS-a, grafitni stiropor (slika 4.2.2.). Dodatkom grafitnih čestica znatno se povećavaju TI svojstva. Grafitni stiropor ima do 20 % veća [27] TI svojstva što znači da je umjesto EPS ploča debljine 15 cm dovoljna ploča grafitnog stiropora od 12 cm (20 %). Nedostatak grafitnog stiropora je cijena koja je zbog same izvedbe i tehnologije nešto veća od EPS-a. Drugi nedostatak grafitnog stiropora je njegova tamna boja koja se lako zagrija pod sunčevom svjetlošću što može dovesti do toplinskog širenja i odvajanja od zida [27].



Slika 4.2.1. Ekspandirani PoliStiren



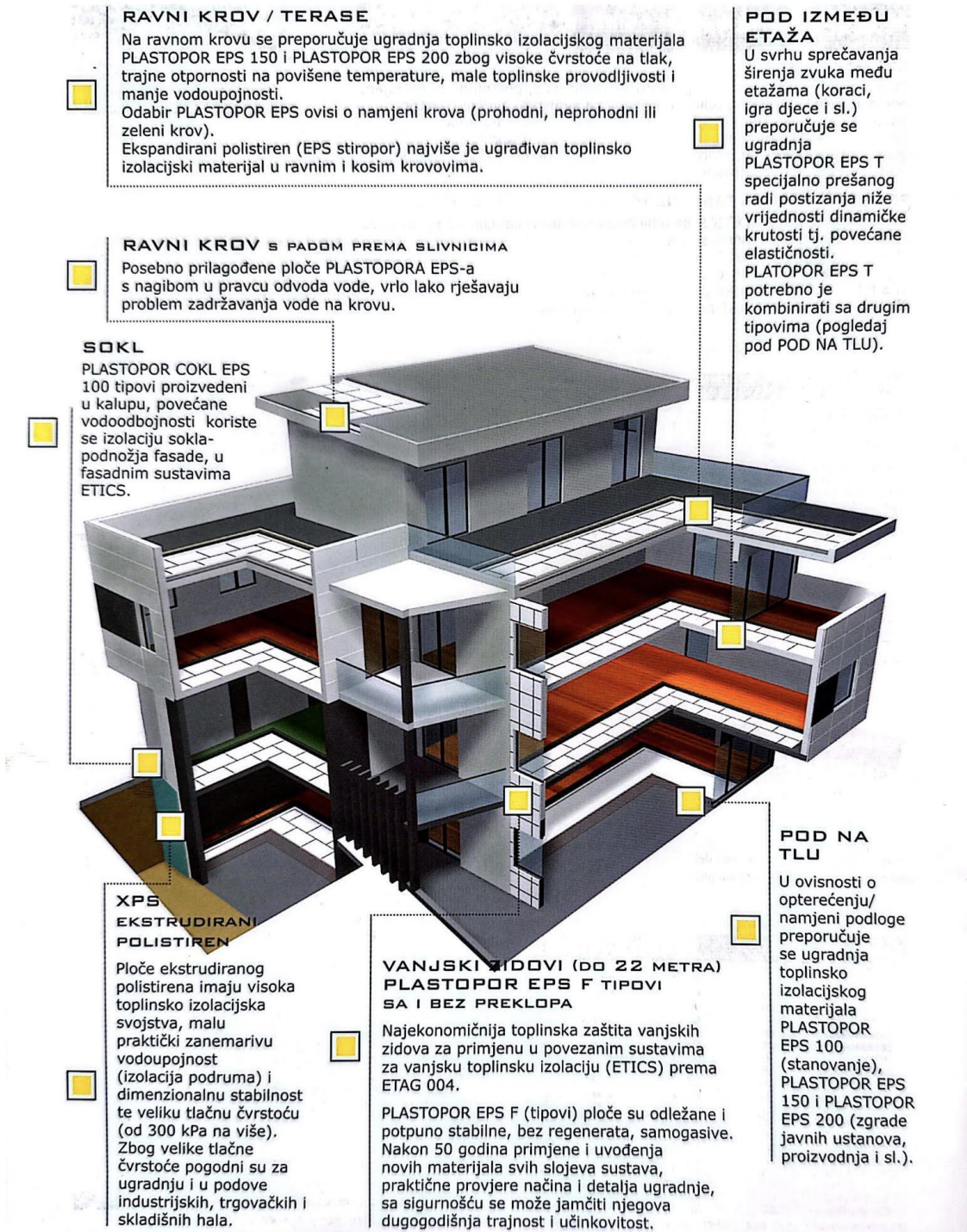
Slika 4.2.2. Grafitni stiropor

Fasadni stiropor primjenjuje se za fasadne toplinske sustave (ETICS<sup>5</sup>). Samogasiv u sustavu ETICS sa odličnim razredom reakcije na požar B-d0. Prema pravilniku o otpornosti na požar koje građevine moraju zadovoljiti u slučaju požara (Narodne novine 29/2013 i 87/2015) prema podskupinama zgrada koje su također definirane istim Pravilnikom ETICS sustava na bazi stiropora ugrađuje se do zgrada skupine ZPS 5 (visina do 22 m) [25].

Koeficijent toplinske provodljivosti  $\lambda$  EPS-a iznosi 0,039 do 0,035 [W/mK], dok je za grafitni stiropor 0,032 [W/mK].

---

<sup>5</sup> Kontaktne fasade ili ETICS (eng. *External Thermal Insulation Composite System* = Povezani sustav za vanjsku toplinsku izolaciju) su kompaktno višeslojno izolacijsko rješenje dizajnirano za poboljšanje energetske učinkovitosti novih i postojećih zgrada [28].



Slika 4.2.3. Područja primjene EPS-a i grafitnog stiropora

## 4.2.2. Ekstrudirani PoliStiren – XPS

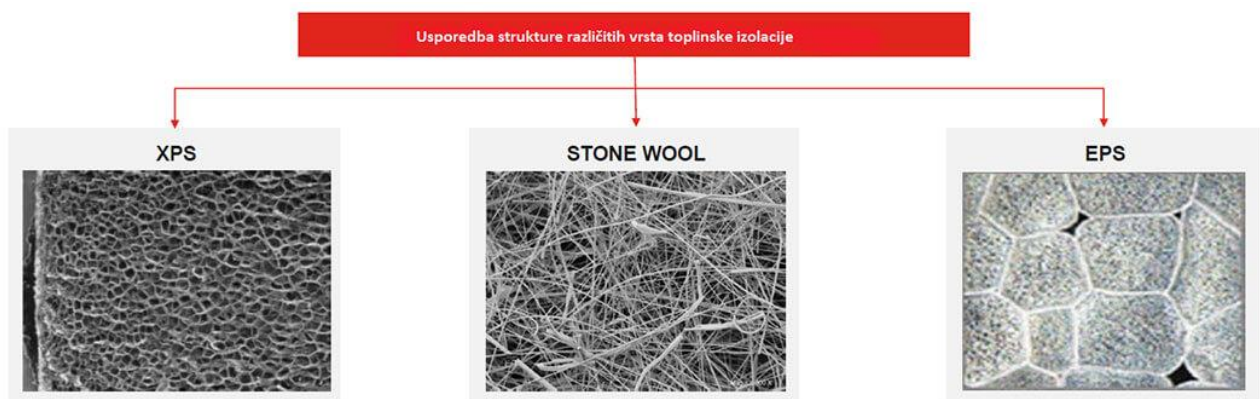
Prve ekstrudirane polistirenske ploče proizvedene su još 1940-ih godina u vojne svrhe. Uočena je velika otpornost na vodu i vlagu, ali su i zapaženi po svojim TI svojstvima. U



samom graditeljstvu počinju se primjenjivati 1960-ih. Naziv za XPS ploče je i stirodur. Polistirenske ploče nastale su postupkom ekstruzije. Proces ekstruzije omogućuje nam veliku gustoću materijala i zatvorene ćelije koje nam pružaju izuzetnu TI. Stirodur ploče nastaju procesom ekstrudiranja polistirenske pjene i mogu biti debljine od 20 do 200 mm. Koriste se za toplinsku izolaciju temelja i podnožja odnosno vanjska područja s malim i srednjim opterećenjima. Također se koriste i za toplinsku izolaciju zidova podruma stambenih objekata i ukopanih garaža do maksimalne dubine od 4 m. Zbog visoke otpornosti na vlagu primjenjuje sebi u područjima s visokom razinom vlage (temelji, podrumi, krovovi i podovi). Površina XPS ploča može biti glatka ili hrapava „napolitanka“. Postoje četiri varijante površinskih struktura XPS ploča, a to su:

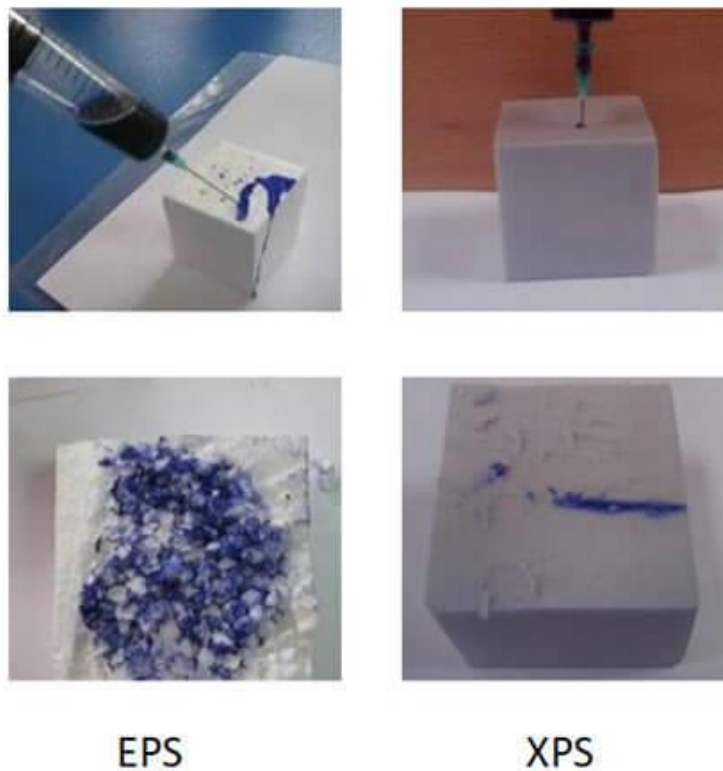
- glatka površinska struktura i ravan rub
- glatka površinska struktura i rub na utor „falc“
- hrapava površinska struktura i ravan rub
- hrapava struktura i rub na utor „falc“

Osim izvanrednih TI svojstva, XPS je materijal koji se ističe svojim mehaničkim svojstvima. Zbog velikih mehaničkih svojstva materijal je otporan na deformacije te se zbog toga primjenjuje u područjima izloženim velikim opterećenjima. Kao i EPS, stirodur ploče spadaju u grupu termoplastičnih polimera koji nisu otporni na visoke temperature. Zbog svojih karakteristika otporan je na ekstremne temperaturne promjene i smrzavanja bez trajnih oštećenja. Područja primjene XPS ploča je kao toplinska zaštita temelja i podruma, toplinska izolacija na zasutim podrumskim zidovima, izolacija ravnih krovova, toplinska izolacija betonskih konstrukcija i kao izolacija kod saniranja loše izvedenih krovova.



Slika 4.2.4. Struktura XPS ploča (lijevo)

Koeficijent toplinske provodljivosti  $\lambda$  iznosi 0,033 [W/mK] što ga čini kvalitetnim toplinskim izolatorom. Zbog minimalne apsorpcije (slika 4.2.5.) ne upija vodu tijekom rada, ne bubri i ne raspada se te je dugotrajan i postojan.



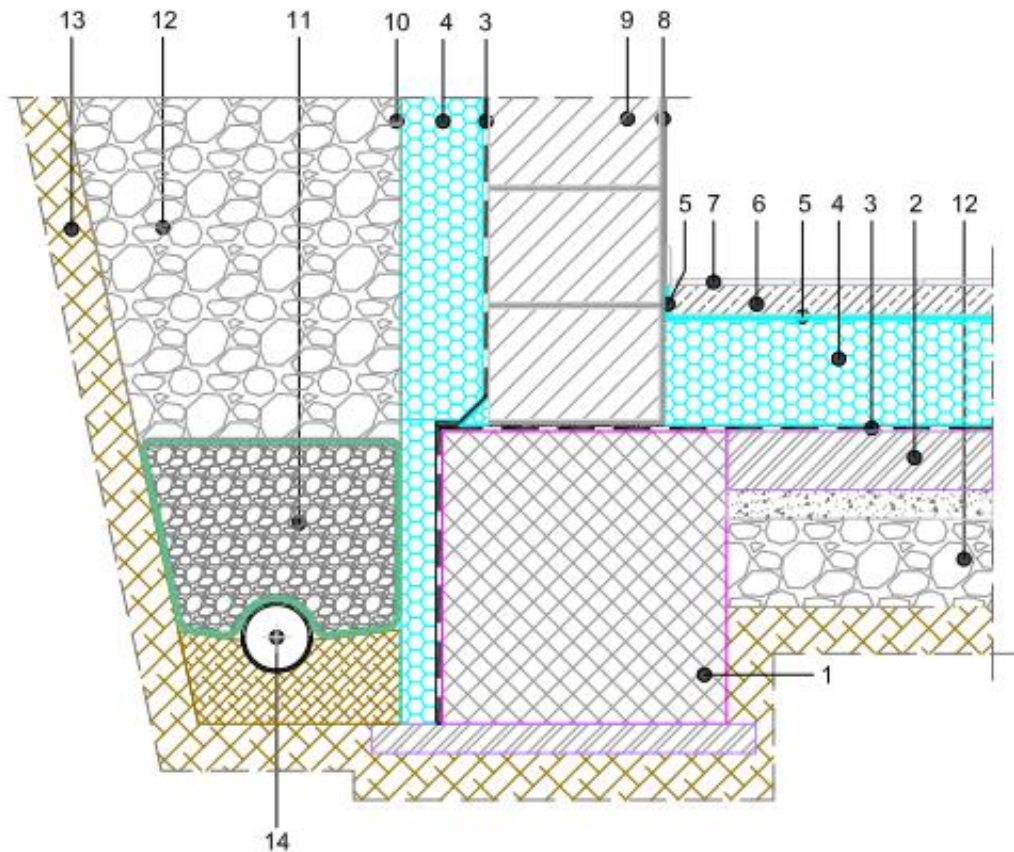
Slika 4.2.5. XPS ima gotovo nulti koeficijent upijanja vode

Tablica 5. Tehničke karakteristike XPS-a

Termoizolacijske ploče XPS D50, hrapava površina			
Usklađene tehničke specifikacije	EN 13164:2012 + A1:2015		
Svojstva	Metoda testiranja	Jed. mjere	Izmjerene vrijednosti
Reakcija na požar, Euro klasa	EN 1350-1	-	Klasa E
Toplinska provodljivost		W / m <sup>2</sup> K	0,033
Toplinski otpor	EN 13164-ZA1	m <sup>2</sup> *K/W	1,55
Debljina, klasa T1		mm	50
Širina		mm	600
Duljina		mm	1250
Tlačna čvrstoća pri 10% deformacije, CS (10)		kPa	≥ 500

XPS djeluje bez štetnih utjecaja na okoliš te je siguran, a to potvrđuje [29]:

1. Eco - certificate VITALITY LEAF
2. LEED expert evaluation
3. Ne emitira štetna sredstva
4. Visokostabilan



**SASTAV SISTEMSKOG RJEŠENJA** (dimenzije usklađeni s proračunom građevne fizike):

- |   |                    |
|---|--------------------|
| 1. ARMIRANI BETON   | 8. UNUTARNJA ŽBUKA |
| 2. PODLOŽNI BETON   | 9. VANJSKI ZID     |
| 3. HIDROIZOLACIJA   | 10. FIBRANWor SF32 |
| 4. FIBRANxps 300-L  | 11. ŠLJUNAK        |
| 5. EKSTRUDIRANA PE FOLIJA<br>KAO IZOLACIJA OD UDARNOG ZVUKA | 12. DROBLJENAC     |
| 6. CEMENTNI NAMAZ   | 13. ZEMLJA         |
| 7. KERAMIČKE PLOČICE  | 14. DRENAŽNA CIJEV |

*Slika 4.2.6. Položaj XPS-a (sloj 4) kod temelja*

Stirodur možemo prepoznati i po raznim pastelnim bojama (plava, zelena, narančasta), ali boja ne mijenja njegova svojstva već predstavljaju samo različite proizvođače.

### 4.2.3. PUR – poliuretan u pločama i prskani poliuretan

Poliuretanska pjena nastaje miješanjem izocijanita i poliola. PUR dolazi u obliku ploča (slika 4.2.8.) ili se može nanositi prskanjem (slika 4.2.7). Prskanje se izvodi pomoću specijaliziranih uređaja pod visokim tlakom kod kojih se njen volumen povećava 100 do 200 puta i prilagođava se svakom obliku. Obrada i ugradnja PUR ploča ne iziskuje nikakve posebne alate. Način rezanja je sličan kao i kod EPS ploča. Reže se ugrijanim nožem. Upotrebom adekvatnog alata jednostavno se mogu brusiti i bušiti. Rub ploče dolazi u obliku rub na utor „falc“. Takav spoj sprječava mogućnost nastavka toplinskih mostova. Ploče imaju visoku tlačnu čvrstoću pa su ploče dimenzijski stabilne i pod opterećenjem. Pjene mogu biti sa otvorenim i zatvorenim ćelijama [31]. Pjena otvorenih ćelija osigurava visoku propusnost pare. Sprječava pojavu gljivica i algi te osigurava visoku zvučnu izolaciju. Pjene sa zatvorenim ćelijama imaju veću gustoću i time osiguravaju bolja toplinska svojstva. Veća difuznost vodene pare i manja apsorpcija vlage sprječava pojavu kondenzacije. Uz niske toplinske koeficijente toplinske provodljivosti, dobrih mehaničkih svojstva, posjeduju i hidroizolacijska svojstva. PUR spada u grupu termostabilnih polimera. Počinju se razgrađivati na temperaturama od 150 do 200 °C dok gore na temperaturama višim od 300 °C. Brzina izgaranja ovisi o količini usporivača požara koji su dodani prilikom proizvodnje PUR-a. Pri gorenju ispuštaju štetne pirolitičke plinove koji su štetni za čovjeka. Za vrijeme gašenja obavezne su maske s kisikom. Prilikom prskanja obavezno je nošenje zaštitnog odijela radi zaštite do kože i dišnog puta.



*Slika 4.2.7. Nanošenje prskanjem*



*Slika 4.2.8. PUR – poliretan u pločama*

### **4.3. Anorgansko toplinsko izolacijski materijali**

#### **4.3.1. Ekspandirani perlit – nasip**

TI materijali čija je prednost negorivost, ali sama proizvodnja iziskuje puno energije. Perlit je prirodno modificirani anorganski materijal vulkanskog porijekla. Sirovina se u procesu proizvodnje kratkotrajno zagrijava na temperaturi iznad 1000 °C. Prilikom zagrijavanja sirovina otpušta kemijske spojeve iz stijene i povećava svoj volumen. Dobivena sirovina je vrlo lagana, ekološki prihvatljiva i negoriva. Perlit nema štetnog utjecaja na okoliš pa se njegove granule mogu koristiti kao dodatak tlu radi povećanja prozračnosti [30]. Materijal se koristi u rasutom stanju, pločama i kao dodatak žbukama (perlitna toplinska žbuka). Može se koristiti kao nasip za poravnavanje u podovima i stropovima te kao izolacijski materijal u pločama između konstrukcija, izolacija jezgre zida i na fasadama. Ugradnjom perlita u vertikalne konstrukcije dolazi do slijeganja nasutog materijala [51]. Zbog toga se upotrebljavaju kao punila toplinsko izolacijskih žbuka. Koeficijent prolaska topline  $\lambda$  je 0,045 do 0,070 [W/mK]. Primjenjuje se u zgrada kulturnog dobra.



*Slika 4.3.1. Ekspandirani perlit - nasip*

### 4.3.2. Staklena mineralna vuna - MW

Vuna od mineralne staklene vune više gustoće namijenjena je za toplinsku, zvučnu i protupožarnu izolaciju. Sirovine za dobivanje staklene vune su pijesak ( $\text{SiO}_2$ ), vapno ( $\text{CO}_2$ ) i soda ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) uz dodatak starog stakla [33]. Staklo i sirovine tale se na temperaturama od  $1300\text{ }^\circ\text{C}$ . Rastaljena masa pretvara se u vlakna (slika 4.3.2.) u koja se dodaju veziva od umjetnih smola (bakelit). Za postizanje vodoodbojnosti dodaje se silikon. Nakon toga materijal poprima oblik i mehanička svojstva. Vezivo se stvrdnjava u peći. U početku je staklena vuna bijele boje, ali nakon tog procesa počinje poprimiti žutu boju. Ecose® [34] tehnologija veziva bez fenola i formaldehida. Bazirana je na obnovljivim materijalima, a ne na umjetnim kemikalijama. Za proizvodnju potrebno je manje energije. Za razliku od klasičnih žutih mineralnih staklenih vuna ovu ćemo prepoznati po smeđoj boji (slika 4.3.3.). Velika prednost takve vune sa stajališta ugradnje je ta da je mekanija na opip, jednostavnija za rukovanje i ne nadražuje. Vuna se reže na željeni oblik i dimenziju.



*Slika 4.3.2. Staklena vlakna*

Gotov proizvod je u obliku filčeva i ploča (slika 4.3.4.). Staklena mineralna vuna primjenjuje se za izolaciju i zaštitu potkrovlja (kosih krovova), slijepih podova, za ispune drvenih konstrukcija zidova i stropova, ali na mjestima gdje izolacija nije itložena tlačnom opterećenju. Niski koeficinet toplinske provodljivosti  $\lambda$  0,032 do 0,044 [W/mK] osigurava dobru toplinsku zaštitu zgrade. Prednost staklene mineralne vune da je ekološki prihvatljiv

Tablica 6. Usporedba staklene mineralne vune s drugim materijalima

Toplinsko izolacijski materijal	Gustoća $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Toplinska provodljivost $\lambda$ [W/mK]	Potrebna debljina [cm] za U=0,35 W/m <sup>2</sup> K	Faktor otpora difuziji vodene pare $\mu$	Relativni trošak za U=0,35 W/m <sup>2</sup> K
Mineralna (kamena i staklena) vuna	10 - 200	0,035 - 0,050	9 - 11	1	1
Ekspandirani polistiren (EPS)	15 - 30	0,035 - 0,040	9 - 10	60	0,50 - 0,80
Ekstrudirana polistirenska pjena (XPS)	$\geq 25$	0,030 - 0,040	8 - 10	150	2,5
Tvrda poliuretanska pjena (PUR)	$\geq 30$	0,020 - 0,040	7 - 9	60	5 - 8
Drvena vuna (WW)	360 - 460	0,065 - 0,090	16 - 20	3/5	4 - 6

materijal, lako se oblikuje i ugrađuje, u skladu je sa propisima i zahtjevima za požare i dostupan je u različitim gustoćama (11 do 45 kg/m<sup>3</sup>). Kao i većina materijala, staklena mineralna vuna ima i nedostatke. Ima nisku otpornost na vlagu, ako nije dovoljno debela zrak prodire kroz nju, zbog svoje fleksibilnosti ne može samostalno stajati i nije otporna na mehaničke učinke.



Slika 4.3.3. Ecosse® mineralna staklena vuna smeđe boje



*Slika 4.3.4. Staklena mineralna vuna (UNIFIT 035)*



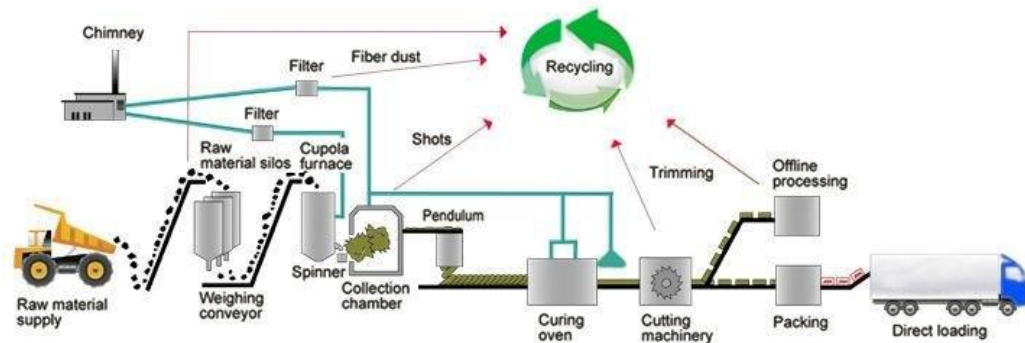
*Slika 4.3.5. Izolacija potkrovlja staklenom mineralnom vunom*

### **4.3.3. Kamena mineralna vuna – MW**

Kamena mineralna vuna koristi se za toplinsku, zvučnu i protupožarnu zaštitu. Nastaje sličnim procesom kao i staklena mineralna vuna. Kameni minerali (bazalt i dolomit) uz dodatak pomoćnih energenata (diabaza s dodatkom kokosa) ubacuju se u peći i tale se na temperaturama oko 1300 °C. Dobivena masa dovodi se do kotača centrifuge, gdje se raspoređuje u vlakna. Kroz te kotače upuhuje se zrak koji masu razbijaju u kapljice i raspršuje



nastale kapljice u vlakna. Za povezivanje vlakna dodaju se veziva. Takva masa dolazi do sustava za slaganje vune koji je važan za stvaranje dobri TI svojstva. Ravnomjieran raspored vlakna i njihova isprepletenost stvaraju više mjesta za zadržavanje zraka. Takva vuna odlazi u posebne komore na proces sazrijevanja na temperaturi od 270 °C. Nakon sazrijevanja vuna se reže na potrebne dimenzije i pakira se [35].



*Slika 4.3.6. Proces dobivanja kamene mineralne vune*

Glavna obilježja kamene mineralne vune jesu nizak koeficijent toplinske provodljivosti, negorivost materijala (A1 i A2), prilikom gorenja minimalno se oslobađaju otrovni plinovi, visoka paropropusnost, zanemarivi temperaturni rad (0,05 mm/m/100 °C), odlična apsorpcija zvuka otpornost na starenje, raspadanje, mrvljenje, insekte, mikroorganizme i kemijske agense.



*Slika 4.3.7. Široki spektar proizvoda koji odgovara svakoj aplikaciji*

Područja primjene je širok. Kamena mineralna vuna može se koristiti kao toplinska, zvučna i protupožarna izolacija prilikom izgradnje ili rekonstrukcija stambenih i nestambenih objekata.

Kod kosih krovova kamena mineralna vuna služi kao toplinska, zvučna i protupožarna zaštita gdje izolacija nije izložena tlačnom opterećenju. Ako nije moguće dodatno toplinski izolirati prostor unutar ili ispod krovne konstrukcije onda se vuna zbog zahtjevne nosivosti ugrađuje u punoj površini iznad rogova. U tom slučaju treba obratiti pažnju na opterećenja završnog pokrova, pokretna opterećenja i nagib krova.

Za izolaciju pregradnih unutarnjih zidova u sustavima s metalnim ili drvenim potkonstrukcijama služi kao ispuna šupljina, odnosno kao toplinska, zvučna i protupožarna izolacija.

Može se primijeniti i za izolaciju i zaštitu podova u tavanima i podovima na tlu gdje je potrebno izvesti hodne površine. U potkrovljima se iznad njih mogu postaviti OSB ploče i sl. dok kod podova na tlu treba postaviti ploče s većom tlačnom čvrstoćom.

Kod izolacija vanjskih zidova – kontakt fasada pričvršćivanje ploča na zid izvodi se pomoću certificiranog morta za lijepljenje koji se nanosi po rubu ploče i točkasto po cijeloj ploči (slika 4.3.8.). Nakon toga se pričvršćuje certificiranim udarnim pričvršnicama (slika 4.3.9.) s metalnim klinom (6 do 8 kom/m<sup>2</sup>)



*Slika 4.3.8. Učvršćivanje ploča od kamene mineralne vune*



*Slika 4.3.9. Udarna pričvrtnica s pocinčanim čeličnim trnom*

Za izolaciju vanjskih zidova – ventilirana fasada bez obzira na visinu i broj etaža služi za toplinsku i zvučnu izolaciju.

Kamene mineralne vune mogu se i primijeniti za izradu ravnog krova. Služe kao toplinska i zvučna izolacija klasičnih prohodnih, neprohodnih i zelenih krovova na betonskoj podlozi ili na čeličnim profiliranim konstrukcijama.

Izolacija stropova garaža i podruma isključivo je namijenjena za toplinsku izolaciju pogleda garaža, međukatnih konstrukcija ispod negrijanog prostora i izolaciju karakterističnih toplinskih mostova.

#### **4.4. Toplinsko izolacijski materijali složenog porijekla**

Mogu biti „kombi“ ploče s EPS jezgrom (slika 4.4.1.) i „kombi“ ploče s MW (slika 4.4.2.) jezgrom. Izrađene su od EPS-a ili MW-a i dva sloja mineralizirane drvene vune. U mineraliziranu vunu dodaju se cementna veziva da bi se dobila kompaktna cjelina. Površina ploča je hrapava s iznimnom prionjivošću žbuka i ljepila. Ploče pružaju i visoku mehaničku otpornost.

Za EPS i MW koeficijent toplinske provodljivosti iznosi 0,039 [W/mK]. Svojstvo „kombi“ ploča je dobra prionjivost s betonom, teško je zapaljiv (samogasiv) materijal, neutralan je u dodiru s građevinskim materijalima i metalima i jednostavno ga je formirati i obrađivati prilikom ugradnje.

Namjena ploča je toplinska izolacija fasadnih sustava, toplinska izolacija stropova međukatnih konstrukcija ispod negrijanog prostora, izolaciju karakterističnih toplinskih mostova. Ugrađuju se na način obloženog betona i izgubljene oplata. Ploče dolaze najčešće u dimenzijama 2000 x 500 mm.



Slika 4.4.1. „kombi“ ploče s EPS jezgrom

**KOMBI PLOČA  
SA KAMENOM VUNOM**



Debljina (mm)	Toplinska vodljivost $R_g \lambda_g$ (W/mK)	Toplinski otpor $R_g$	m <sup>2</sup> na paletji
35	0.040	0.75	110
50	0.040	1.15	80
75	0.040	1.80	50
100	0.040	2.40	40
125	0.040	3.00	32

WW-C/3 HRN EN 13168 L1-W1-T1(T3)-S1-P1-CS(Y)50-B5(N)500-CL3-TR15

Dimenzija ploče: 2000x500 mm  
Koeefijent toplinske provodljivosti  $\lambda_g$ : 0,040 W/mK

Slika 4.4.2. „kombi“ ploče s MW jezgrom

## 5. Suvremeni toplinsko izolacijski materijali

### 5.1. Aerogel

Moderni izolacijski materijal koji se sastoji od 90% zraka. Nano tehnologija omogućila je stvaranje izdržljivog proizvoda koji je istovremeno tanak i fleksibilan. Njegova TI svojstva su do osam puta veća nego kod tradicionalnih TI materijala. Uz izvanredna TI svojstva materijal zbog svojih hidrofobnih svojstva je skoro sasvim vodootporan. Zbog malih pora ima bolju toplinsku otpornost nego zrak. Materijal niske gustoće, velike fleksibilnosti, otporan je na gaženje, jednostavne obrade i ugradnje. To je suhi gel koji je nastao sušenjem silicijskog gela. Sušenjem gela sprječava se kolaps pora.

Materijal niskog koeficijenta toplinske provodljivosti  $\lambda$  0,014 [W/mK]. Olakšava montažu u skućenim prostorima, smanjuje troškove prijevoza i skladištenja. Visoka izolacijska svojstva tijekom cijelog perioda korištenja. S obzirom da je to polimer koji ne stari koji nema plijesni može se bez ikakvih dorada primjenjivati više puta. Materijal male mase u odnosu na tradicionalne materijale. Otporna je na plamen (slika 5.1.) i emisiju dima te nije štetan za okoliš.

Koristi se kao izolator tehnoloških postrojenja za TI podova i zidova s unutrašnje i vanjske strane. No još uvijek nisu otkrivene sve mogućnosti primjene ovoga materijala. Materijal koji se koristi za tehničko i tehnološko otklanjanje nedostataka ako dođe do pogreška pri izvođenju radova bez štetnog djelovanja na konstrukciju.



*Slika 5.1. Aerogel*

Postoje samoljepljive trake pod nazivom Thermalblok koje se koriste za uklanjanje toplinskih mostova [37]. Kod niskih temperatura ne dolazi do strukturnih promjena tako da može podnijeti i ekstremno niske temperature od -200 °C do 0 °C. Još jedna odlika materijala je da je izdržljiv na visokim temperaturama od 100 °C do 650 °C.

Može se primjenjivati kao dopuna tradicionalnim TI materijalima, na mjestima gdje je nužna primjena tankih slojeva izolacije. Postoje i aerogel izolacija u krutim pločama (dimenzija 1200 x 600 mm) koje se koriste za unutarnju primjenu. Ploče se sastoje od aerovune na koju je s jedne strane postavljena obloga od gips-vlakanaste ploče s parnom branom [37]. Može se i primijeniti za TI pročelja, ali s obzirom na visoku cijenu materijal se koristi za otklanjanje nedostataka koji nastanu prilikom projektiranja i izvođenja.

Tablica 7. Svojstva aerogela

SVOJSTVO	VRIJEDNOST	NAPOMENA
Gustoća	3-350 kg/m <sup>3</sup>	Uglavnom iznosi oko 100 kg/m <sup>3</sup>
Unutarnja površina	600-1000 m <sup>2</sup> /g	Određeno pomoću apsorpcije i desorpcije dušika
Poroznost	75-99,9 %	Najčešće 95 %
Srednji promjeri pora	~ 20 nm	Određeno pomoću apsorpcije i desorpcije dušika
Primarni promjer čestica	2-5 nm	Određeno elektronskim mikroskopom
Poissonov faktor	0,2	Ne ovisi o gustoći. Sličan je kao kod gustih silikata.
Modul elastičnosti	10 <sup>6</sup> -10 <sup>7</sup> N/m <sup>2</sup>	Vrlo malen u odnosu prema gustim silikatima
Tlačna čvrstoća	0,15-0,30 N/mm <sup>2</sup>	
Vlačna čvrstoća	0,020 N/mm <sup>2</sup>	
Lomna žilavost	~ 0,8 kPam <sup>1/2</sup>	Određeno savijanjem u 3 točke
Refrakcijski indeks	1,0-1,05	Vrlo malen za kruti materijal
Talište	> 1200 °C	
Otpornost na visoke temperature	do 500 °C	Određene vrste mogu podnositi i veće temperature.
Koeficijent toplinske rastezljivosti	2,0-4,0 · 10 <sup>-6</sup>	Određeno ultrazvučnim metodama
Toplinska vodljivost u zraku	0,016 W/mK	
Toplinska vodljivost u vakuumu	0,004 W/mK	
Električna otpornost	10 <sup>15</sup> ohm-cm	
Dielektrična konstanta	~ 1,1	Za gustoću od 100 kg/m <sup>3</sup> . Vrlo mala za kruti materijal.
Brzina prolaza zvuka	100 m/s	Za gustoću od 70 kg/m <sup>3</sup> . Jedna od najmanjih brzina za kruti materijal.

## 5.2. Vakuum izolacijske ploče – VIP

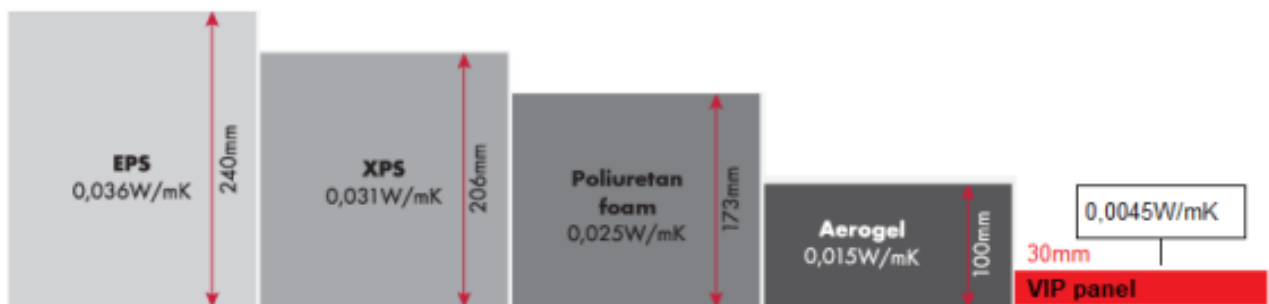
Novi proizvod na tržištu koji nije aktivan u standardnoj stambenoj izgradnji. Cijena proizvodnje znatno je skuplja od tradicionalni TI materijal. Prednost VIP ploča (slika 5.2.3) je ušteda prostora budući da nije potrebna velika debljina proizvoda koja bi osigurala tražena TI svojstva. Ploče su ispunjene GFP (eng. *Gas-Field Panels*) nisko emitirajućim plinovima. Od svih plinova najmanju provodljivost ima plin kseon. Ostali plinovi koji se koriste su kripton, argon i zrak. Ploče se sastoje od vanjskog sloja, jezgrene vrećice i vakumirane jezgre. Metalne

presvlake i višeslojne barijere od metaliziranih polimernih slojeva pružaju zaštitu od vanjskih utjecaja. Isušivači u jezgri apsorbiraju plinove i vodenu paru koja prodire kroz vanjske slojeve. Prilikom zatvaranja vanjskog sloja kada je iz panela izvučen sav zrak dolazi do stvaranja vakuuma. Time se postižu izvanredna TI svojstva. Kod tradicionalnih TI materijala pore su ispunjene zrakom koje ubrzavaju prijenos topline. U vakuumu prijenos topline nije moguć zato što nema medij (zrak) koji bi izvršio prijenos. Stanje vakuuma postiže se za vrijeme tvorničke proizvodnje. Za odabir jezgre biraju se materijali s minimalnim porama. Najčešće se za jezgru koriste materijali na bazi silicijevog dioksida.

No mogu se koristiti i drugi materijali poput:

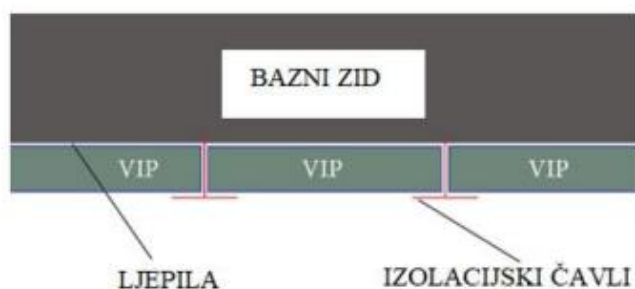
- PUR i EPS (pjenasti materijali)
- ekspanzirani perlit i silikatni aerogel (prašasta verzija baznog materijala)
- staklena vuna (vlaknasta baza)

Odabir kvalitetnog vanjskog sloja koji štiti jezgru je velike važnosti zato što on pruža zaštitu samog panela od mehaničkih i fizičkih oštećenja. Njegova izdržljivost je od ključne važnosti. Kada bi došlo do vanjskog oštećenja ovojnice, dolazi do povećanja toplinske provodnosti u jezgri i paneli prestaju biti funkcionalni. Metalne folije, razni polimeri i metalizirani filmovi predstavljaju materijale koji učinkovito štite jezgru. Zaštitni sloj štiti od vanjskih utjecaja je vrsta polimera – PET [38].

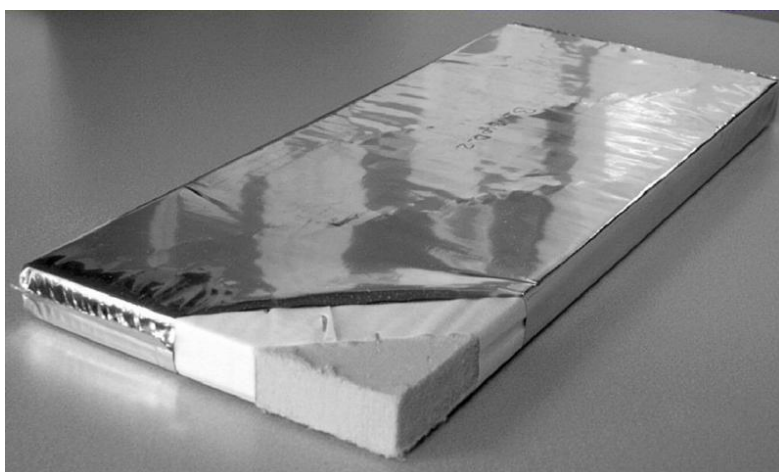


*Slika 5.2.1. Usporedba debljina s obzirom na koeficijent  $\lambda$  tradicionalnih (EPS, XPS i PET) i suvremenih (aerogel i VIP) TI materijala*

Spoj VIP ploča (slika 5.2.2.) odnosno slojevi folije na rubu panela u kojima nema jezgre (ima zraka) rezultiraju pojavu toplinskog mosta. Pravilno i pažljivo postavljanje ploča ostvaruje visoki stupanj energetske učinkovitosti i sprječava nastanak „bubrenja“ fasade koja je zbog visoke cijene nedopustiva.



*Slika 5.2.2. Shematski prikaz montiranja VIP ploča*



*Slika 5.2.3. Vakuumska izolacijska ploča - VIP*

Koeficijent toplinske provodljivosti  $\lambda$  može iznositi samo 0,003 W/mK, a toplinski otpor na samo 20 mm debljine ploča može iznositi 6,66 W/m<sup>2</sup>K što je isto kao i kod deblje TI tradicionalnog materijala.

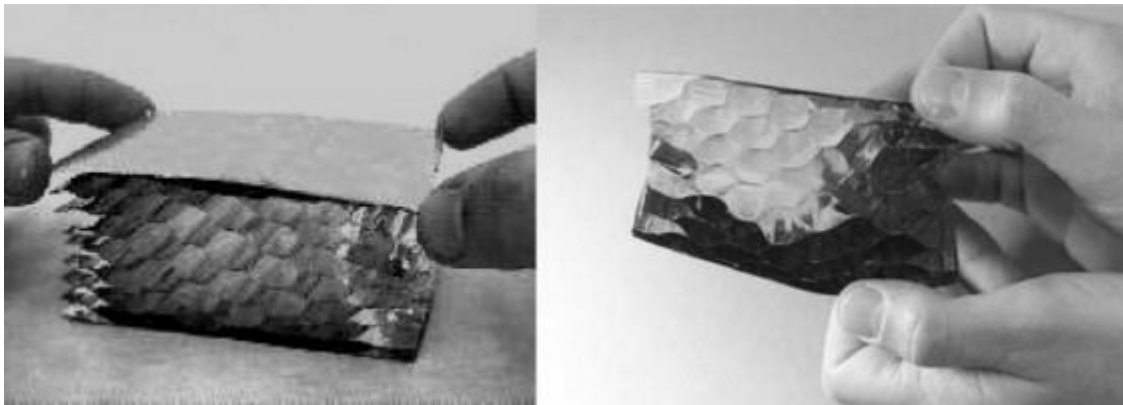
Nedostaci same izolacije su moguća oštećenja tijekom skladištenja, transporta i montaže, ploče se ne smiju rezati da ne dođe do vanjskog oštećenja ovojnice kod kojega dolazi do povećanja toplinske provodljivosti u jezgri, manji toplinski mostovi na spoju izolacija i proizvod je ograničenih dimenzija.

### **5. 3. Plinom ispunjene ploče (GAS FILLED PANELS – GFP)**

Suvremeni izolacijski materijal čije su ploče ispunjene plinom. Mogu biti izrađene kao čvrste ili fleksibilne izolacijske ploče. Ploče se sastoje od zaštitne ovojnice i plina između reflektirajućih slojeva (pregrada). Pregrade su ispunjene plinom koji imaju nižu toplinsku provodljivost od zraka. GFP ploče izrađene su od dvije vrste polimernih filmova. U pregradama se koriste metalizirani filmovi koji potiskuju konvekciju i zračenje, a za nepropusni, potpuno zatvoreni omotač koriste se folije s niskom difuzijom plinske barijere



koja omogućuje da ne iscure plin. Upotrebom šupljih površina niskih emisija dostupnih u obliku tankih metaliziranih polimernih filmova koriste se za smanjenje prijenosa topline zračenjem. Oblik pregrada može biti različit, ali najčešće se koriste pregrade u obliku šesterokuta zbog lakoće proizvodnje. Odabir plina ima važan učinak na kvalitetu i učinak proizvoda. Teži plinovi, odnosno plinovi s većom molekulskom masom imaju nižu toplinsku provodljivost. Zbog tih svojstva koriste se jednoatomski plinovi (kseon, kripton, argon). Trošak proizvodnje i toplinska vodljivost ovise o broju i obliku šupljina, debljini pregrade, odabiru folije i plina. Studije su pokazale mjerenjem i simulacijom toplinskih svojstva da GFP materijali mogu imati široku primjenu u zgradarstvu. Osim zgradarstva mogu se koristiti kao izolacija hladnjaka, zrakovoda i kriogenih posuda. GFP ploče još uvijek nisu uvedene na građevinsko tržište.



*Slika 5.3.1. Pogled na pregradnu strukturu i foliju unutar GFP ploče*

## 6. Tehničke izolacije

Kvalitetna toplinska zvučna i protupožarna izolacija koja ima široku primjenu u industriji i brodogradnji za izolaciju cjevovoda, toplovoda, rezervoara, šupljih međuprostora i dilatacija. Pod proizvode od tehničke izolacije isključivo podrazumijeva proizvode kamene mineralne vune. Prednosti tehničkih vuna je postojanost na visokim temperaturama, jednostavna ugradnja, protupožarna zaštita, toplinska izolacija, visoka akustična svojstva, mehanička otpornost. Proizvodi se mogu kaširati i ojačanom aluminijskom folijom uz pridržavanje minimalne količine potrebne za proizvodnju. Moguća primjena je u obliku rastresite kamene mineralne vune koja je namijenjena za toplinsku, protupožarnu i zvučnu izolaciju mjesta kod kojih nije moguće pristupiti standardnim proizvodima. Rastresita vuna u standardnoj izvedbi nije moguća za izolaciju u kiskanama [39].



*Slika 6.1. Kamena mineralna vuna - rastresita*



*Slika 6.2. Kamena mineralna vuna - žljebak*

## **7. Kako odabrati debljinu TI**

Debljina izolacije propisana je Tehničkim propisom o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (NN 128/15, 70/18, 73/18, 86/18, NN102/20, stupa na snagu 24.09.2020.). Preporučene debljine za kontinentalni dio Hrvatske iznosi 15 do 20 cm, a za primorski dio Hrvatske 12 do 15 cm. Što se tiče obnova i izolacija starih objekata moramo se držati pravila struke i tehničkih smjernica. Za kvalitetnu izvedbu potrebno je odabrati kvalificiranog izvođača. Stare površine imaju površinska oštećenja, niz toplinskih mostova, na mjestima su zidovi pljesnivi. Prvi korak kod izolacije starih zgrada je priprema zidne površine prije ugradnje TI. Površina mora biti čista i odgovarajuće čvrsta. Ugradnjom izolacije zidovi se zatvaraju difuzijski, mora biti paropropusan. Ugrađeni materijal mora biti održiv, dugovječan i izolacija mora biti negoriva.

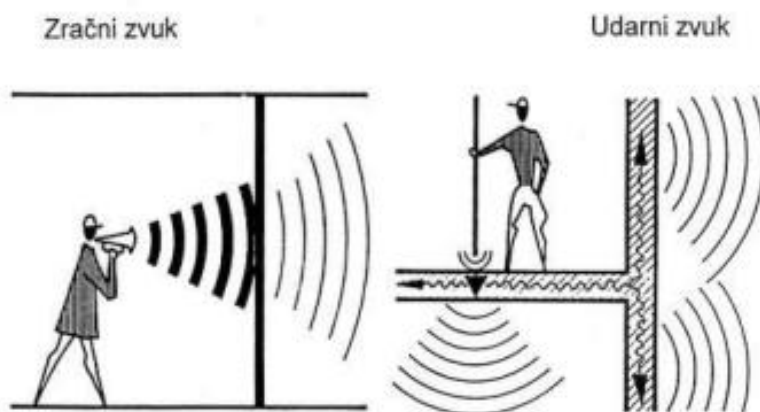
## 8. Zvučna izolacija u zgradarstvu

Unutarnji uvjet za ugodnost prostora je zaštita od buke i akustična kvaliteta prostora. Sama definicija ZI je zaštitna mjera kojom se smanjuje prenošenje zvuka, smanjuje se zvučna propustljivost konstrukcije zgrade i osigurava kvalitetu života. Akustična ugodnost je psihofizičko osoba koje u određenom okruženju ima osjećaj blagostanja u odnosu na određenu aktivnost koju radi [41]. Akustičan proračun obavezan je tamo gdje postoji potreba za zaštitom od buke. Njime se dobivaju podaci o vrsti i količini potrebne ZI. Potrebno je i poznavanje osnovnih svojstva o načinu širenja i prenošenja zvuka. Sama zadaća ZI je zaštita od buke, zvučna izolacija zidova i akustika prostora.

### 8.1. Zaštita građevina od zvuka

Stambenu jedinicu treba zaštititi od buke i šumova izvana ili iz susjednih stanova. Taj problem rješavamo pravilnim izborom materijala, načinom ugradnje materijala i sastavima slojeva. Zvukovni valovi moraju se izolirati među izvorom zvuka i primateljem zvuka, ali da bi se to postiglo moramo poznavati uzrok i prijenosne staze zvuka.

ZI možemo podijeliti u dvije skupine (slika 8.1.1.). ZI od udara buke (prijenos preko konstrukcije ili krutog medija) i ZI od prostorne buke (prijenos putem zračnih valova).



Slika 8.1.1. Prostorna buka (lijevo) i udarna buka (desno)

Postoji nekoliko vrsta zvuka (slika 8.1.2.) [16].

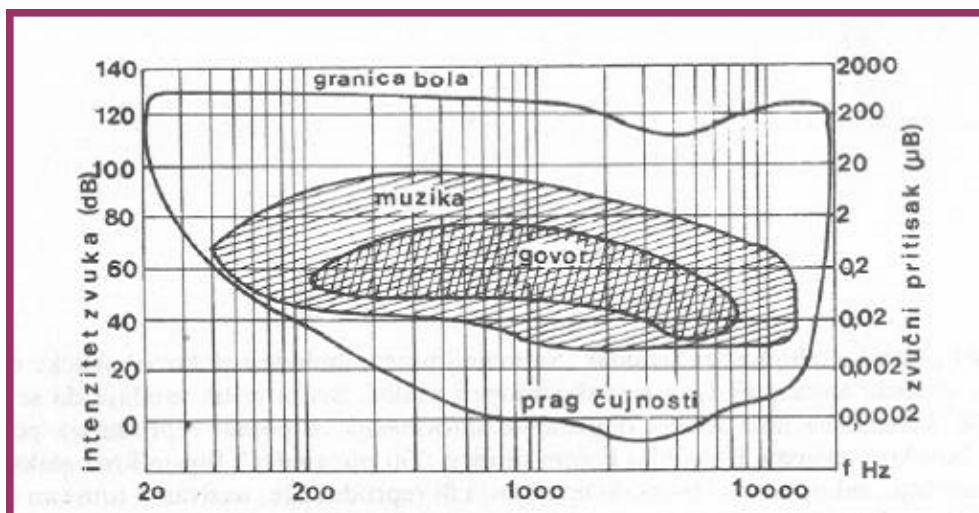
1. Zračni zvuk (uzdušna buka) kod koje se zvuk rasprostire kuglastom od 340 m/s.
2. Titrajni zvuk (vibracijska buka) rasprostire se u čvrstim tvarima, a brzina može biti veća nego kod zračnog zvuka.
3. Kročajni zvuk (koročajna buka) stvara titrajni zvuk koji nastaje hodanjem po podu i prosljeđuje se kao zračni zvuk u prostor.



Slika 8.1.2. Vrste zvuka

No ovdje treba spomenuti i buku. Postoji razlika između zvuka i buke. Buka je svaki neugodan, ometajući i bolan zvuk za čovjeka. Razina zvuka je razabiranje zvuka ljudskim uhom i mjeri se jedinicom „decibel“ (dB). Gruba procjena djelovanje buke na čovjeka [41]:

- do 60 dB (A) psihološko djelovanje (remeti san, onemogućava koncentraciju, itd.)
- od 60 do 85 dB (A) jako psihološko djelovanje (raste krvni tlak povećava se rad srca)
- preko 85 dB (A) dolazi do oštećenja sluha

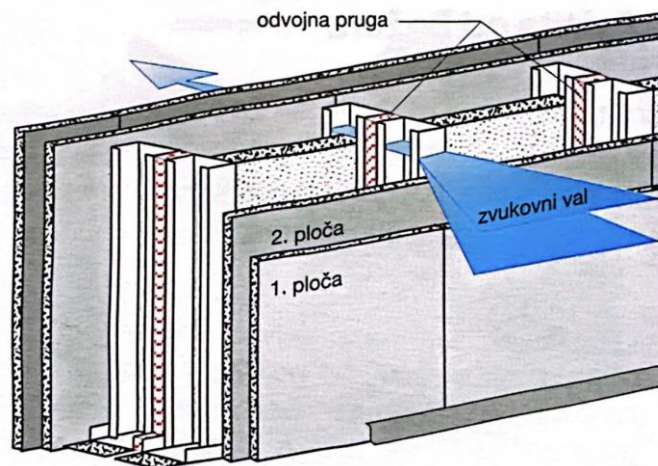


Slika 8.1.3. Osjetljivost ljudskog uha

Osnovna pravila za zaštitu od zvuka [16].

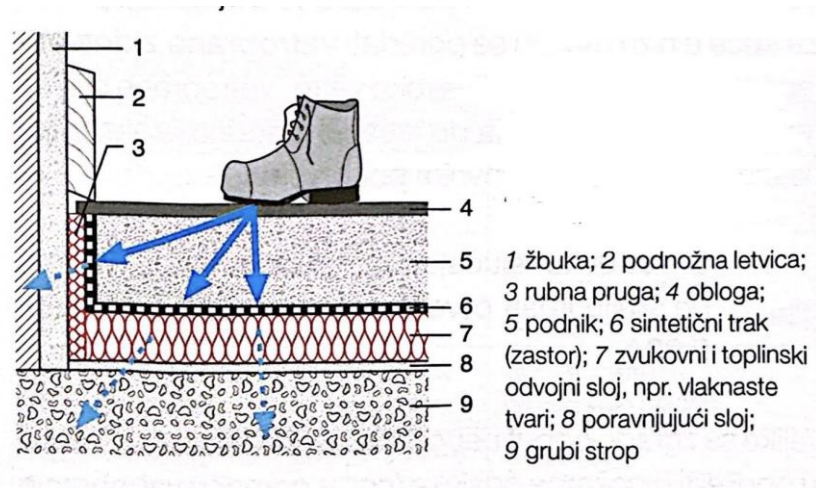
1. Što veću masu, odnosno količinu tvari ima građbeni dio to se bolje izolira od zračnog zvuka.
2. Ako se dobro prekine prijenos staza zvuka titrajni zvuk se izolira. To možemo postići ugradnjom mekih tvoriva ili zračnim slojem.
3. Primjenom zvukopojnih tvoriva zvukovni val se priguši.

Zaštita od zračnog zvuka pri masivnom (punim) građevnim načinom kod jednosložnih građbenih dijelova treba pripaziti bočni prijenos zvuka. Armirano betonski strop može prenositi zvuk u susjednu prostoriju čime se kvari zaštita od buke. Za zgrade građene kosturnim načinom (slika 8.1.4) mjere obrane od zvuka ovise o količini tvari, razmaku unutarnje i vanjske poplate i o tvorivu ispune pretinca [16]. U suhogradnji zaštita od zvuka postiže se raspresanjem slogova.



*Slika 8.1.4. Zvukovni val u zgradama građanim kosturnim načinom*

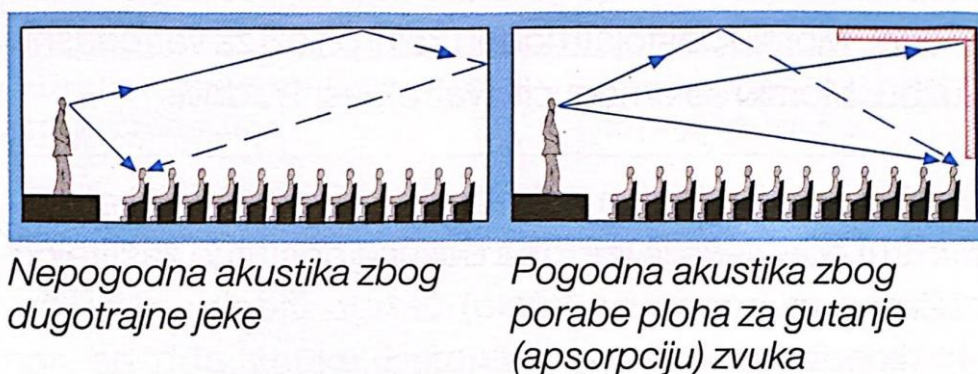
Hodanjem po grubo izrađenom stropu kročajni zvuk (slika 8.1.5.) prenosi se u donje prostorije najprije kao titrajni zvuk, a zatim kao zračni zvuk. Za zaštitu od kročajnog zvuka možemo izvoditi plivajuće podove (poglavlje 8.3.2.) Izvedbom plivajućeg poda treba paziti na pojavu zvukovnih mostova.



Slika 8.1.5. Prijenos kročajnog zvuka u plivajućem podu

## 8.2. Prostorna akustika

Zakoni prostorne akustike bili su poznati drevnim Egipćanima, a kasnije su ih primjenjivali Grci pri gradnji kazališta. Prostorna akustika ili akustika prostorija treba osigurati dobru čujnost na svim mjestima u kazalištima, predavaonicama ili koncertnim dvoranama. Građevnim mjerama prilikom projektirana i izvođenja treba vrlo pogodno oblikovati akustiku građevine. Upravljanje zvukovnih valova poboljšava se čujnost. Da bi se spriječili zvukovni valovi koristimo zvukoodbojne ili zvukoupojne površine. Glatke i tvrde podloge dobro odbijaju zvuk, a otvorene šupljikave i meke površine gutaju zvuk [16].



Slika 8.2.1. Prostorna akustika ili akustika prostorija

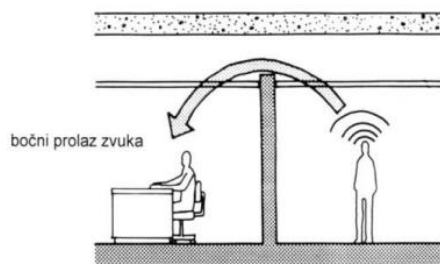
### 8.3. Primjena i svojstva zvučno izolacijskih materijala

Fizikalna veličina koja opisuje građevinsku konstrukciju u pogledu zvučne izolacije od prostorne buke naziva se zvučna izolacijska moć  $R_w$ . Zvučna izolacijska moć  $R_w$  određuje se u laboratoriju i propisana je standardima. Vrijednost se po pravilu daje u tehničkim uvjetima kojim se ostvaruje zvučna izolacija.

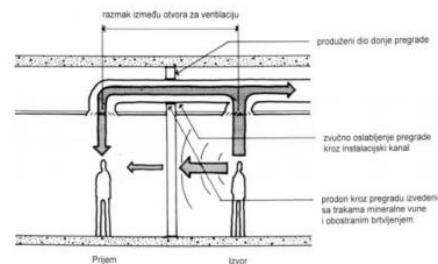
#### 8.3.1. Zvučno izolacijski materijali zida

ZI zida primjenjuje se svugdje gdje postoji mogućnost prodora buke prema mirnijim prostorijama. Prolaznost zvuka kroz zid ovisi o frekvenciji zvuka, debljini zida, strukturi zida i broju slojeva u zidu. ZI pregrade izvodi se u slučaju susjednih prostorija. Prenošenje zvuka iz predajne u prijemnu prostoriju može biti direktnim ili bočnim putem (slika 8.3.1.). Kod jednostrukih pregrada koje su izvedene od jednog materijala (beton, drvo, opeka, itd.) što je veća površinska masa to je veća zaštita od buke. No to povećanje nije ekonomično niti racionalno. Zato se u tim slučajevima koriste dvostruke ili višestruke pregrade koje s relativnom malom površinskom masom postižu velika zvučna gušenja. Dvostruka pregrada sastoji se od dva dijela koji su međusobno odvojenu slojem zraka ili nekim apsorbirajućim materijalom.

Prijenos zvuka između dva prostora kroz prostor spuštenog stropa

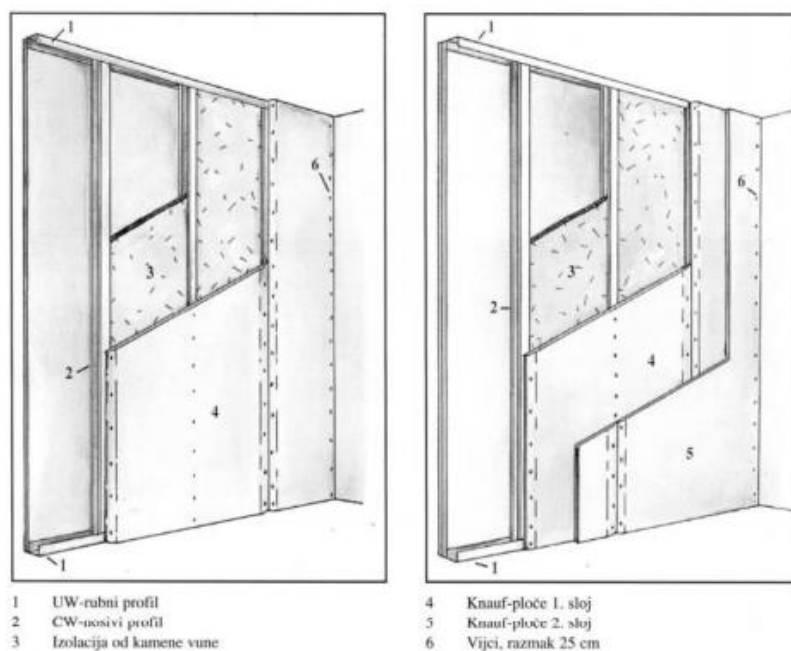


Prijenos zvuka između dva prostora (utjecaj instalacijskih kanala)



Slika 8.3.1. Prijenos zvuka iz predajne u prijemnu prostoriju





*Slika 8.3.2. Pregradni zid s jednostrukom oblogom (lijevo) i pregradni zid s dvostrukom pregradom (desno)*

Zidovi ne smiju imati nikakve pukotine čak ni manje od 1/10 mm jer su takvi otvori idealni zvukovnih mostova za prijenos buke. Krutost je jedno od svojstva koja je važna za izbjegavanje vibracija i rezonancija. ZI se postavlja sa one strane gdje se nalazi izvor buke što sprječava njen daljnji tok i širenje. Materijali koji se koriste za TI uglavnom zadovoljavaju i ZI svojstva.

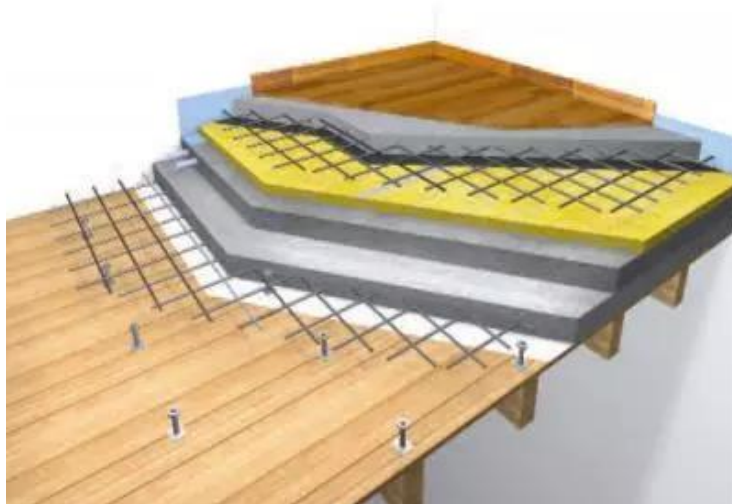
### **8.3.2. Zvučna izolacija poda i stropa - plivajući pod**

U graditeljstvu plivajući pod koristi se u visokim zgradama kako bi se spriječilo prodiranje i prodiranje neželjene buke između međukatnih konstrukcija. Izolacija odvaja površinu po kojoj se hoda od nosivih podova. Na taj način blokiramo višak zvuka koji putuje kroz slojeve, smanjujemo buku i osiguravamo kvalitetu života. Izolacija se može postaviti ispod prostora prizemlja da ne bi smo izgubili toplinu iz prostora. Na taj način smanjujemo gubitak topline. Za izolaciju poda možemo koristiti MW i elasticirani stiropor, ali među najboljim se smatra MW. Dobro izoliran pod može poboljšati energetske učinkovitost doma, smanjiti troškove grijanja i hlađenja. Zimi sprječava gubitak topline, a ljeti prekomjerno zagrijavanje. Dobrom izolacijom održavamo ugodnu temperaturu poda. U izvedbi plivajućih podova moramo pripaziti na pojavu zvukovnih mostova. Sloj glazure (cementni estrih) ne

smije prodrijeti u sloj izolacije i stvrdnuti se. PE folijama i rubnim dilatacijskim trakama odvajamo sloj između izolacije i glazure, odnosno izolacije i zida.

Plivajući pod može se izvoditi na drvenoj (slika 8.3.3. ) i betonskoj međukatnoj konstrukciji (slika 8.3.4.). Sloj izolacije može se lijepiti ili međusobno pričvrstiti na bilo koji način, ali nikad nisu pričvršćeni za sloj podloge. Izvedbom plivajućeg poda umećemo elastičnog elementa između poda i stropa. Na taj način prigušujemo vibracije. Kod drvenih međukatnih konstrukcija, stropovi se moraju konstrukcijski ojačati i prilagoditi novim opterećenjima. Time strop dobiva toplinsku i zvučnu izolaciju postavljanjem izolacijskih ploča. Prednosti plivajućeg poda kod drvenih konstrukcija je strukturno ojačavanje starih drvenih podova, povećavanje vrijednosti toplinske i zvučne izolacije [40].

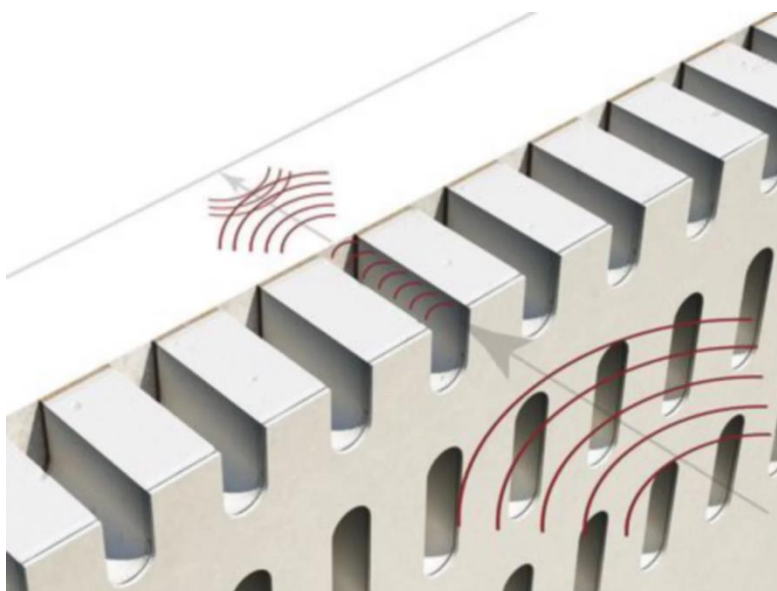
ZI može se i primijeniti na stropu na način da se akustični paneli na određenom razmaku od podloge pričvrste na strop. Na taj se način omogućuje vibriranje na niskim frekvencijama. Time se postiže najbolja apsorpcija zvuka tonova niskih frekvencija. Osim toga koriste se i za smanjivanje pozadinskih buka koje se pojavljuju u koncertnim dvoranama, kazalištima, predavaonicama i sl. Za redukciju pozadinske buke paneli se postavljaju na zid i strop u prostoriji. Što je veća površina pokrivena panelima to je bolja ZI.



*Slika 8.3.3. Plivajući pod na drvenoj međukatnoj konstrukciji*



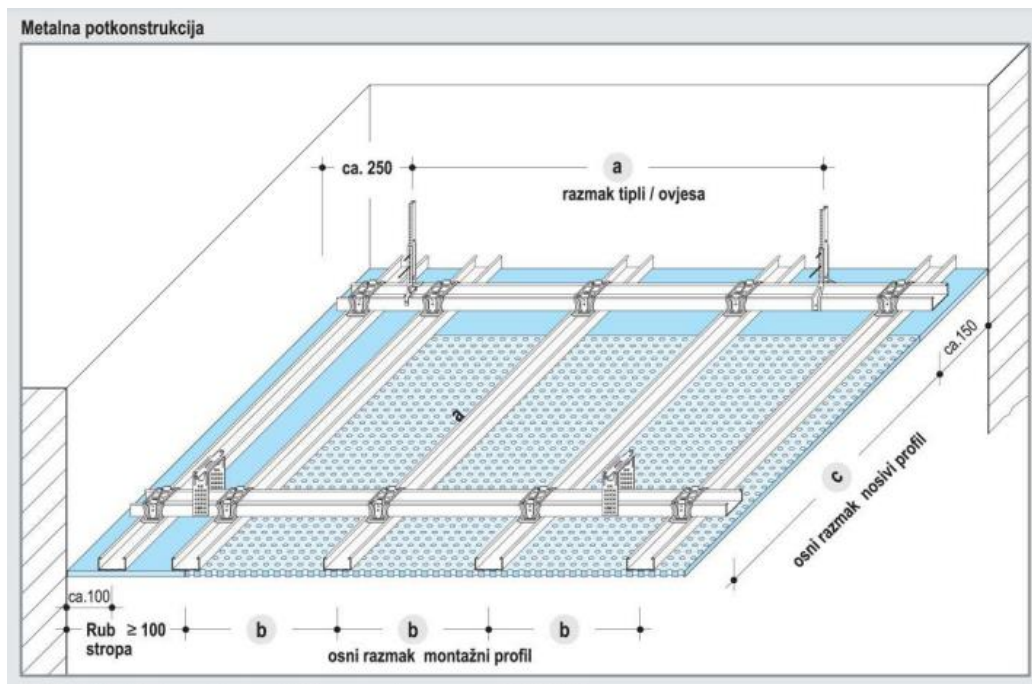
*Slika 8.3.4. Plivajući pod s toplinsko zvučnom izolacijom*



*Slika 8.3.5. Apsorpcija zvuka gips kartonskim pločama*



Slika 8.3.6. Prigušenje zvuka gips kartonskim pločama



Slika 8.3.7. D12 Knauf Cleaneo Akustik stropovi

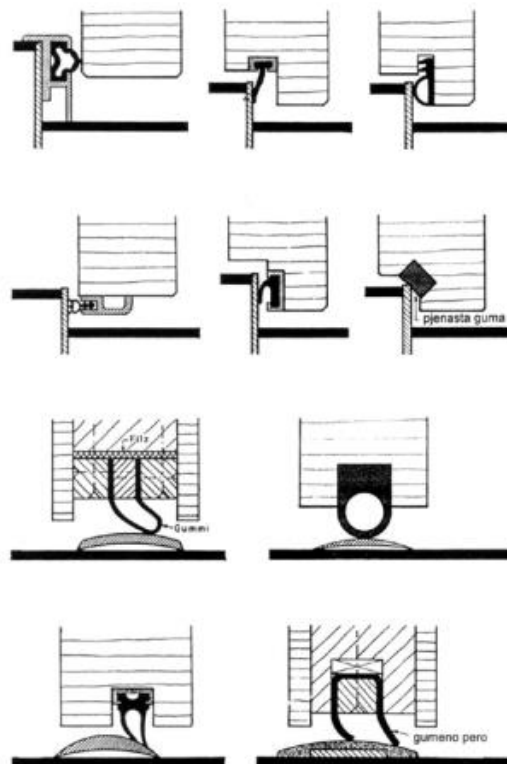
### 8.3.3. Zaštita od buke i vibracije u industrijskim objektima

U industrijskim objektima buku stvaraju strojevi i uređaji. Potrebno je utvrditi frekvenciju zvuka radi pravilnog odabira izolacijskog materijala. Ako je izvor buke jedan stroj moguće je napraviti izolaciju samoga stroja što je ekonomičnije od izolacije cijelog prostora u kojem se nalazi. Instalacija vodovoda rješava se ugradnjom mekih obloga, elastičnih veza i

„prekidima“ na cijevima. Buka samih strojeva umanjuje se ugradnjom elastičnih podmetača. Vibracije teških strojeva mogu štetno utjecati na stabilnost konstrukcije. Rješenje je ugradnja elastičnih oslonca ispod temelja sa dodatnom bočnom izolacijom temelja.

### 8.3.4. Zvučna izolacija vrata

Osim ZI vratnoga krila potrebno je zvučno izolirati dovratnik, spojeve i preklope. Najveći prijenos zvuka odvija se preko vratnoga krila zbog njenog udjela u ukupnoj površini vrata. Ako je vratno krilo ostakljeno, zvučna izolacija samoga ostakljenja ovisi o debljini stakla, vrsti stakla, površini staklenih ploča, kutu upada zvučnih vala na površinu stakla i sl. Da bi dovratnici imali ZI svojstva izrađuju je od drva, metala ili PVC-a. Vrata imaju manju zvučnu izolaciju od pregrada u kojima su ugrađena. Razlog je taj što se otvori ne zatvaraju potpuno nepropusno. Osim preklopa vratnoga krila i dovratnika problem predstavlja preklop vratnoga krila i poda (prag), gdje mora postojati minimalni razmak od 3 mm. Potrebno je pravilno zabrtviti rešku između vratnoga krila i poda. Ako se to dobro ne izvede zvuk će se prenijeti između dviju prostorija bez obzira na zvučno izolacijsku kvalitetu vratnoga krila [49].



Slika 8.3.8. Brtvljenje vratnog krila i poda

## 9. Hidroizolacija u zgradarstvu

Vodonepropusni materijali počinju se koristiti u doba drevne Mezopotamije kombinacijom prirodnog bitumena i pijeska. Kasnije, u doba Rima dolazi do nešto suvremenijih materijala. Korištenjem vapna i pucolana dobili su vodonepropusan materijal koji je štutio, a štiti još danas objekte od utjecaja vode. Na mjestima gdje nije bilo prisutno vulkanskog pepela (pucolan), ljudi su za izvedbu hidroizolacija koristili kombinaciju gline, pijeska i vapna. Ljudi su za zaštitu objekata koristili lokalno dostupne prirodne materijale. S razvojem tehnologija počinje se koristiti rafinirani bitumen koji se koristi i još danas. Sredinom 50-ih godina prošloga stoljeća dolazi do razvoja sintetičkih hidroizolacija. U početku su to bile elastomerne hidroizolacije na bazi kaučuka dok je kasnije došlo do razvoja termoplastičnih folija.

Voda je medij koji oksidacijom uzrokuje koroziju, a smrzavanjem povećava svoj volumen. Većina osnovnih materijala (opeka, drvo, beton, itd.) u graditeljstvu nisu otporni na djelovanje vode. Ljudi su došli do zaključka da se vodi ne smije suprotstavljati već je treba neometano usmjeriti u željenom smjeru [42].

### 9.1. Faze u projektiranju

Projektiranjem treba u obzir uzeti parametre mikrolokacije kako bi se mogao odabrati način zaštite objekta od utjecaja vode. To su nivo podzemnih voda, temperatura, vlažnost zraka, sunčevo zračenje i količina oborina. Poznavanjem tih parametra možemo odabrati način na koji će se zaštititi objekt.

Tehnologijom izvedbe hidroizolacija mora biti jednostavna za ugradnju, cjenovno niska, trajna, otporna na mehanička oštećenja i konkurentna na tržištu. UV zrake uz djelovanje vode štetno utječu na konstrukciju. Voda ulaskom i kroz najsitnije otvore (pore) može štetno djelovati na građevinske elemente te mogu uzrokovati veliku štetu. Kombinacijom drenažnih cijevi, upojnih bunara (zaštita od podzemne vode) i pravilnim sustavom oborinske odvodnje nam pomažu da vodu usmjerimo u željenom smjeru.

Vrsta i slojevi podloge definiraju se u fazi idejnog projekta. Tekuće hidroizolacije primjenjuju se kod geometrijski složenih podloga. Hidroizolacijske trake primjenjuju se kod jednostavnijih podloga bez mnogo prodora. Osim odabira hidroizolacijskog materijala veliku ulogu igra odvodnja. Odvodnja se radi onda kada je razina podzemne vode ispod najniže kote konstrukcije.

Hidroizolaciju treba izvesti u skladu s projektnim zahtjevima jer sama cijena je relativno mala u odnosu na cijenu cijeloga objekta, a neusporedivo mala s cijenom naknadnih sanacija. Funkcionalna je samo onda ako je ispravno ugrađena, a ugradnju izvode educirani izvođači [42]. Faktori koje treba obuhvatiti da bi se pravilno zaštitila građevina jesu:

- vrsta podloge
- dobra izvedba odvodnje i padova
- odabir hidroizolacijskog materijala
- odabir educiranog izvođača



*Slika 9.1.1. Varenje bitumenske trake*

## **9.2. Hidroizolacijski sustav na bazi bitumena**

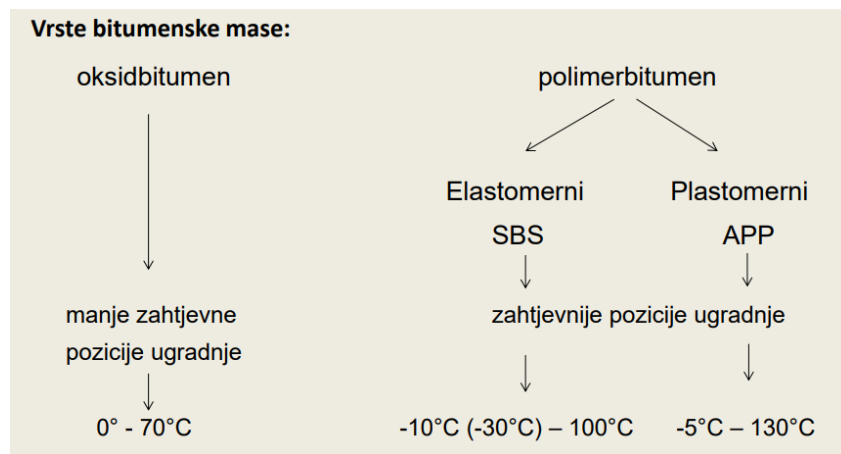
Drugi naziv za bitumen je asfalt ili ugljen katran koja je sastavljena od organskih tekućina. Radi toga je idealan materijal za zaštitu objekata budući da su organske tekućine ljepljive, viskozne i vodootporne. Dobiva se kao ostatak destilacije ili rafinacije nafte [43].

Oksidirani bitumen ili industrijski bitumen koristi se u proizvodnji bitumenskih traka koje nisu izložene vremenskim utjecajima (velikim temperaturnim promjenama). Hidroizolacijske trake od oksidiranog bitumena koriste se za zaštitu jednostavnih građevina od vlage. Primjenjuje se kao hidroizolacija neukopanih građevina. Talište oksidiranog bitumena je iznad 70 °C, a krt je na temperaturama ispod 0 °C. Tlak vodenog stupca je od 2 kPa do 60 kPa.

Modificirani bitumen s plastomernim dodacima (APP) koristi se u proizvodnji hidroizolacijskih traka namijenjenih za zaštitu građevina od vode iz tla, vlage i za zaštitu

ravnih krovova. Trake od plastomernog bitumena imaju točku omekšavanja iznad 130 °C, a na temperaturama ispod -10 °C još ne pucaju.

Modificirani bitumen s elastomernim dodacima (SBS) Koristi se u proizvodnji hidroizolacijskih traka namijenjenih za zaštitu ukopanih građevina i za brtvljenje ravnih krovova. Točka omekšavanja im je iznad 100 °C. Mogu se ugrađivati i kod temperatura nižih od 0°C. Osim kod izvedbe na betonskim konstrukcijama mogu se aplicirati i na drvenim i metalnim konstrukcijama.



Slika 9.2.1. Vrste bitumenske mase

Bitumenska hidroizolacijska traka sastoji se od uložka. Oni traci daju mehaničku otpornost i dimenzijsku stabilnost. Bitumenska masa osigurava vodonepropusnost i omogućuje spajanje s podlogom [44]. Vrste uložka (tablica 8.):

- stakleni voal (V) osigurava dimenzijsku stabilnost
- staklena tkanina (T) osigurava mehaničku otpornost i tlačnu čvrstoću
- poliesterski filc (P) osigurava statička i dinamička opterećenja
- aluminijska folija (AL) osigurava parozapornost

Tablica 8. Vrste uložka

vrste	oznaka
stakleni voal	V, GV
staklena tkanina	GV, GG, T
poliesterski filc	PE/PES, KV, PV
aluminijski uložak	AL



Tablica 9. Karakteristike uloška

Vrsta uloška	Karakteristika		
	Prekidna sila N/50mm	Izduljenje %	Vodonepropusnost kPa
stakleni voal	200-300	1-2	10-60
staklena tkanina	1000-1700	5-10	60-100
poliesterski filc	800-1000	40-50	200-400

Područje primjene bitumenskih traka:

- hidroizolacija ukopanih manje zahtjevnih dijelova građevina koji se nalaze na manje vlažnim terenima
- hidroizolacija ukopanih dijelova građevina koji se nalaze na vlažnim terenima s prisutnošću povremenih podzemnih voda
- hidroizolacija ravnih krovova, balkona i terasa
- parne brane u sustavu ravnih krovova
- hidroizolacija kosih krovova
- hidroizolacija cestovnih površina
- samoljepljive trake koje se polažu direktno na izolaciju EPS-a i XPS-a

Postupak ugradnje bitumenskih traka [45]:

1. Na očišćenu i osušenu betonsku podlogu nanosi se hladni bitumenski prednamaz (slika 9.2.1.)
2. Zatim ide prvi sloj vrućeg bitumenskog premaza na koji se lijepi bitumenska traka koja može biti sa ili bez uloška, ovisno u projektu
3. Nakon otvrdnjavanja nanosi se drugi sloj vrućeg bitumenskog premaza (slika 9.2.2.)

Postupak premaza izvodi se po suhom vremenu i uz temperaturu višu od 10 °C. Ako se radovi izvode zavarivanjem hidroizolacijskih bitumenskih traka u tom slučaju nema vrućeg bitumenskog premaza. Najmanje 20 dana prije početka radova izvođač je dužan nadzornome inženjeru pribaviti dokaze uporabljivosti svih materijala [45].



*Slika 9.2.2. Nanošenje bitumenskog prednamaza*



*Slika 9.2.3. Polaganje ljepenke otvorenim plamenom*

### **9.3. Sintetske hidroizolacijske trake**

U građevinarstvu koriste se za hidroizolaciju ravnih krovova, bazena, brana, kanala, rezervoara za opskrbu vode, podzemne konstrukcije, tunela i odlagalište komunalnog i industrijskog otpada. Prednosti sintetskih hidroizolacija su:

- brzina ugradnje
- trajnost
- zamjenjuje dva sloja bitumenske hidroizolacije
- mogućnost reciklaže (TPO)
- ugradnja vrućim zrakom bez upotrebe otvorenog plamena
- samogasivost
- paropropusnost

- nevidljivi preklopi
- prilagodba krovnoj površini

Sintetska hidroizolacija ovisno o namjeni treba zadovoljavati važeće norme i propise. Sva svojstva proizvoda trebaju se nalaziti u tehničkom listu. Prilikom odabira sintetskih folija treba obratiti pažnju na boju, sirovinu, debljinu, duljinu, širinu, vlačnu čvrstoću pri slomu, masa po jedinici površine, vodonepropusnost, otpornost na paranje, otpornost na difuziju vodene pare, koeficijent lineranog rastezanja, progibljivost pri niskim temperaturama, otpornost na oksidaciju, reakcija na požar, mikrobiološka otpornost, otpornost na UV zrake. Postoje dvije vrste sintetskih hidroizolacija, a to su:

- elastomerne
- termoplastične

Elastomerne hidroizolacije (slika 9.3.1.) dobivaju se procesom vulkanizacije<sup>6</sup>. Na krovovima se malo koriste hidroizolacije na bazi butil gume zato što im spojevi nemaju trajnost. Koriste se na dilatacijama i podzemnim konstrukcijama. EPDM traka je materijal koji ima slična svojstva gume, a nastaje od vulkaniziranih sintetičkih guma sastavljenih od monomera etilena, propilena i diena [42].



*Slika 9.3.1. Elastomerna (EPDM) traka*

Zagrijavanjem termoplastične hidroizolacije omekšavaju te se mogu lako modelirati. One ne nastaju procesom vulkanizacije i kod njih nema umrežavanja. TPO (termopoliolefini) hidroizolacije (slika 9.3.2.) su ekološki prihvatljive zbog mogućnosti recikliranja. Kod TPO hidroizolacija nisu potrebni razdjelni slojevi s toplinskom izolacijom jer za razliku od PVC (polivinil kloridne) nema migracije plastifikatora. Mogu se koristiti zajedno s vrućim

---

<sup>6</sup> Kemijska reakcija kojom se linearne makromolekule poprečno povezuju stvarajući umrežene strukture kada se polimeri prevode iz plastičnog u elastično stanje [42].

bitumenom u kombinaciji s razdjelnim slojem geotekstila ( $200 \text{ g/m}^2$ ). Prednosti TPO-a su bolja otpornost na temperaturu, otpornost na prodiranje korijena i lakši su od PVC-a. Primjenjuju se u vodospremama jer sadrže nemetalne stabilizatore i nemaju biocide. Krući su od PVC-a, ali zato prilikom varenja ne ispuštaju štetne plinove za razliku od ugradnje otvorenim plamenom. Zamjenjuju dva sloja bitumenskih hidroizolacija zbog čega dolazi do uštede ugradnje. Kod TPO hidroizolacija nema migracije plastifikatora u odnosu na EPDM. PVC je jedan od najviše korištenih termoplastičnih hidroizolacija. Dobiva se postupkom polimerizacije monomera vinil klorida gdje nastaje plin iz reakcije etilena s kisikom i kloridnom kiselinom [42]. PVC termoplastična hidroizolacija (slika 9.3.3.) proizvodi se postupkom kalendiranja, ekstrudiranja i premazivanja. Tri tipa sintetskih folija. Neojačane folije koje se proizvode postupkom kalendiranja ili ekstrudiranja, lagano ojačane folije s vlaknima ili tkaninama koje se proizvode postupkom laminiranja dva sloja neojačane folije sa slojem ojačane folije između njih. Direktnim kontaktom PVC folija s bitumenskom hidroizolacijom ili EPS toplinskom izolacijom dolazi do nakupljanja plastifikatora iz PVC hidroizolacije. Time se povećava njena krutost. S razvojem tehnologija došlo je do smanjena migracije plastifikaora iz PVC-a, a postiže se dodavanjem pigmentata, stabilizatora i punila. Ti dodaci omogućuju fleksibilnost, UV stabilnost i otpornost na požar [42].



*Slika 9.3.2. Polaganje TPO folija na ravni krov*



*Slika 9.3.3. PVC termoplastična hidroizolacija*

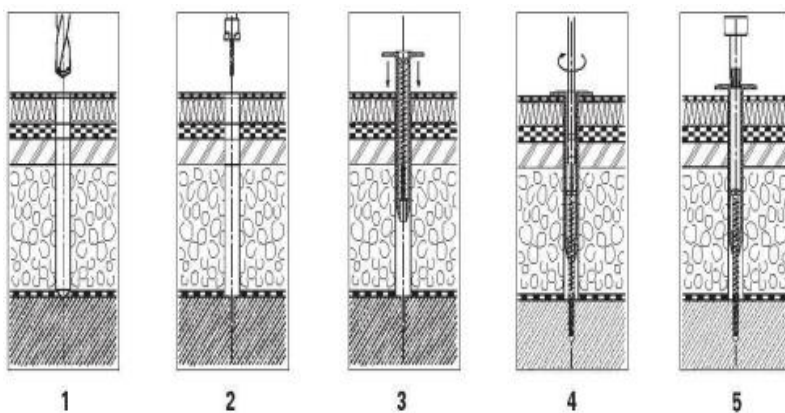
### 9.3.1. Sintetska hidroizolacija – ravni krov

Sintetske folije međusobno se spajaju varenjem vrućim zrakom. Prema načinu ugradnje krovne sintetske folije mogu se podijeliti na:

1. Slobodno položene s balastom (slika 9.3.6.) - ulaze i sustavi hidroizolacija „zelenih“ krovova.
2. Mehanički pričvršne sustave (slika 9.3.4.) - potreban pričvršni pribor (3 do 5 kom/m<sup>2</sup>), tuljci s vijcima, podložne pločice i udarne tiple (slika 9.3.5.).



*Slika 9.3.4. Mehaničko učvršćenje*



*Slika 9.3.5. Polaganje pričvršnica*



*Slika 9.3.6. Slobodno polaganje*

Za sustave balastom širina preklopa iznosi 5 cm, za tople prohodne krovove 8 cm, a za neprohodne mehanički pričvršćene krovove 11 cm [42]. Temperatura zraka varenja za PVC hidroizolaciju iznosi 400 do 450 °C , a za TPO hidroizolaciju 300 do 350 °C. Pri nižim temperaturama zraka u prostoru treba variti s većom temperaturom zraka da bi spoj bio vodonepropustan. Varenje se izvodi ručno (slika 9.3.7.) ili automatski specijalnim (slika 9.3.8.) alatima.



*Slika 9.3.7. Ručno varenje*

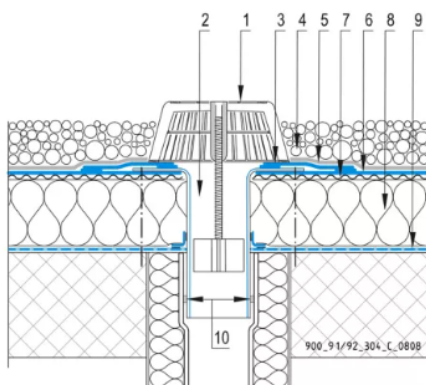


*Slika 9.3.8. Varenje automatskim samohodnim strojem*



*Slika 9.3.9. Nepravilna izvedba padova*

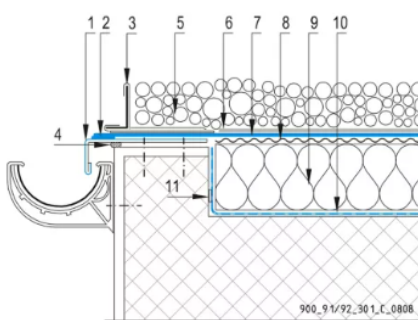
Na horizontalnim površinama treba izvesti padove kako se voda ne bi skupljala na površinama hidroizolacijskih folija. Voda se odvodi pomoću slivnika i oluka. Izradom padova treba voditi računa o svojstvima puzanja i skupljanja betona da ne dođe do bazena u kojem se voda duže zadržava i štetno djeluje na hidroizolaciju [42].



#### CAD DETALJI - BALASTNI KROV - VERTIKALNI SLIVNIK

1. Zaštitna košara
2. Sikaplan®/Sarnafil® gotovi element slivnika
3. Var vrućim zrakom
4. Šljunak
5. Sika zaštitni sloj (po potrebi)
6. Sikaplan®/Sarnafil® membrana, slobodno položena
7. Sika razdjelni sloj (po potrebi)
8. Toplinska izolacija (odobrena od Sika-e), po specifikaciji
9. SarnaVap® parna brana, po specifikaciji
10. Tlačna prirubnica

*Slika 9.3.10. CAD detalj odvodnje vertikalnim slivnikom*



#### CAD DETALJI - BALASTNI KROV - ODVODNI KANAL

1. Sikaplan®/Sarnafil® PVC/TPO laminirani metalni lim
2. Var vrućim zrakom
3. S-Gravelstop Bracket/Profile, graničnik za šljunak
4. Sarnatape® 20, traka za brtvljenje
5. Šljunak
6. Sika zaštitni sloj (po potrebi)
7. Sikaplan®/Sarnafil® membrana, slobodno položena
8. Sika razdjelni sloj (po potrebi)
9. Toplinska izolacija (odobrena od Sika-e), po specifikaciji
10. SarnaVap® parna brana (po specifikaciji)
11. Sarnatape® 20 traka za brtvljenje

*Slika 9.3.11. CAD detalj odvodnje odvodnim kanalom*

Parna brana izvodi se kod toplih krovova. Koriste se dvostruki slivnici koji odvede vodu hidroizolacije i s parne brane. Najčešće se primjenjuje bitumenska parna brana s aluminijskim slojem. Aluminijski sloj je obložen bitumenskim slojem da ne bi došlo do elektrokemijskog procesa. Da ne bi došlo do prodora vode na spojevima koriste se samoljepljive parne prane koje se lijepe na konstrukciju [42].

Kod naknadnog bušenja na ravnom krovu prodori se moraju zabrtviti poliuretanskim trajnoelastičnim kitom. Kod sintetskih hidroizolacija s grubljom površinom dolazi do sakupljanja nečistoća u njihovim naborima koje uzrokuju kemijska i mehanička oštećenja. Izvedba detalja je od velike važnosti kod izvedbe neprohodnih krovova i bazena.

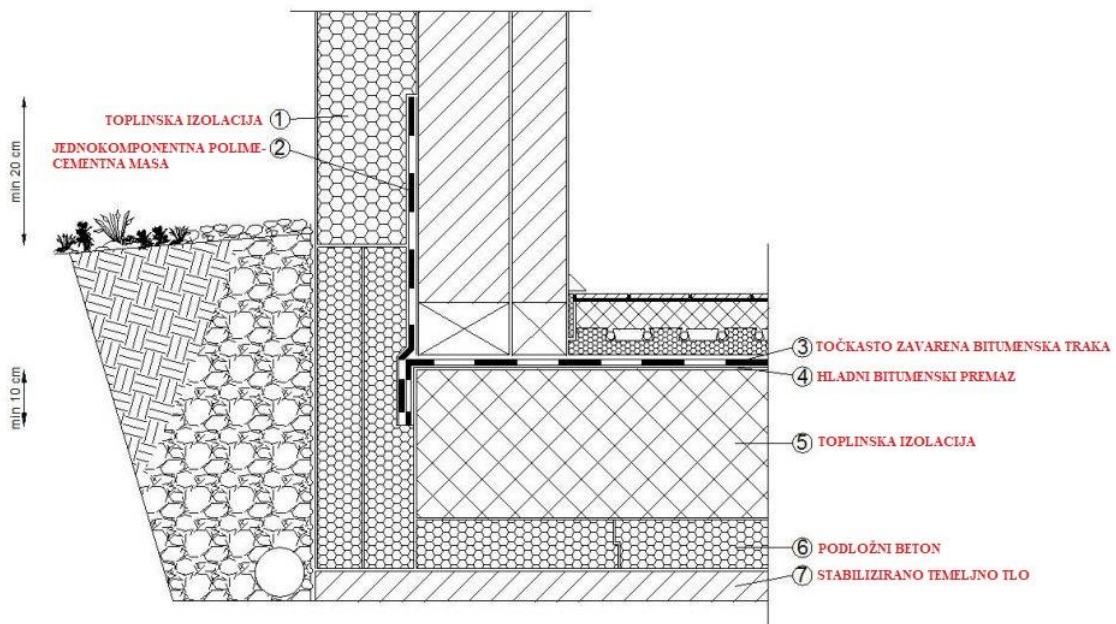


### 9.3.2. Sintetska hidroizolacija - podzemni dijelovi konstrukcija

Zbog stalnog djelovanja podzemnih i oborinskih na tlo, hidroizolacija podzemnih dijelova konstrukcija mora zadovoljiti visoka fizička i mehanička svojstva uz minimalne potrebe održavanja.

Horizontalna hidroizolacija izvodi se iznad podloga izloženih vlazi, odnosno iznad temelja kako bi se spriječilo vertikalno širenje vlage u gornje dijelove (zidovi i podovi). Nakon betoniranja temelja ili podnožnih zidova, horizontalna hidroizolacija odmah se postavlja na njih. Postavlja se i iznad nivoa okolnog terena podignuta za 20 do 30 cm. Nakon prestanka slijeganja zgrade postavlja se hidroizolacija ispod podova.

S vanjske strane podrumskog djela zgrade izvodi se vertikalna hidroizolacija sve do dna podrumskog zida. Izvodi se samo na zgradama s podrumom ili suterenom. Podloga na koju se polaže vertikalna hidroizolacija mora biti izravnata, a izvana zaštićena čepičastom folijom (poglavlje 9.5.), geotekstilom i termoizolacijom kako bi je zaštitili od mehaničkog oštećenja [42].



Slika 9.3.12. CAD detalj vertikalne hidroizolacije na drvenoj podlozi montažne kuće

## 9.4. Tekuće hidroizolacije i premazi

Sustav tekućih hidroizolacija primjenjuje se na ravnim krovovima (i zelenim krovovima), u mokrim i vlažnim prostorijama (ispod keramičkih pločica), na balkonima i terasama, na spremnicima vode, podrumima, fontanama i sl. Procesom stvrdnjavanja tekućih hidroizolacija nastaje vodootporna ovojnica. Postoji nekoliko vrsta tekućih hidroizolacija i premaza:

- na cementnoj bazi
- na bitumenskoj bazi
- na poliuretanskoj bazi



*Slika 9.4.1. Hidroizolacija kupaone tekućim hidroizolacijskim premazom*

Prednosti tekuće apliciranih hidroizolacijskih membrana:

- jednostavna ugradnja
- potpuna prionjivost na podlogu
- otpornost na stagnirajuću vodu, smrzavanje i visoke temperature
- UV otpornost
- paropropusnost
- brz popravak u slučaju mehaničkih oštećenja
- ugradnja bez upotrebe otvorenog plamena
- pristupačna cijena

## 9.5. Čepasta folija HDPE

Polietilenska folija visoke gustoće (HDPE) su folije koje imaju unaprijed oblikovane čepove koji služe za prozračivanje čime se stvaraju idealni uvjeti za konstrukciju. Čepovi također služe za smanjivanje gubitaka topline tijekom zime i sprječavaju ulazak topline tijekom ljeta. U hidroizolacijskom smislu sprječavaju prodor vode i vlage u građevinske materijale. To svojstvo važno je za zaštitu temelja, podruma i vanjskih stijena, odnosno mjesta koja trebaju ostati suha. Čepovi služe i za zaštitu od kondenzacije vlage koja može štetno djelovati na materijale stvaranjem plijesni. Čepasta folija stvara barijeru između toplih i hladnih površina. Folija se projektira u slučajevima pojave podne vlage i procjedne vode. Kod horizontalne hidroizolacije nema potrebe za podložnim betonom već se podloga izrađuje od nabijenog šljunčanog tampona s tankim površinskim slojem uvaljanog pijeska. Polaže se na način da čepovi sjednu na površinski sloj pijeska.

Preklopi se izrađuju spajanjem samoljepljivih traka na butilnoj osnovi. Vertikalni završeci izrađuju se završnim samoljepljivim LDPE (polietilen niske gustoće) folijama. Samoljepljivu stranu čine posebni nanosi polimeriziranog bitumena. Vertikalni završetak može se raditi i običnim LDPE folijama koja se lijepi na čepastu foliju i vertikalnu površinu trakama na butilnoj osnovi.

U slučaju podrumskih armiranobetonskih zidova folija se mehanički pričvršćuje putem točkastih učvršćivača koji su propisani tehničkim specifikacijama proizvođača. Čepići su obavezno okrenuti prema zidu.



*Slika 9.5.1. Postavljanje čepaste folije*

## 9. 6. Pjenasto staklo – CG

Paropropusan materijal otporan na vlagu i vodu, postojan na kemikalije, negoriv, ali nije otporan na smrzavanje. Pjenasto staklo dobiva se od staklenog otpada. Reakcija stakla s ugljenom na visokim temperaturama formira zatvorene ćelije. Uslijed temperaturnih promjena materijal se ne širi i ne skuplja se. Dolazi u obliku blokova i ploča. Koristi se u dodiru s tlom, odnosno u podnožju zgrade i kao TI zidova u tlu. Materijal velike čvrstoće koji može podnijeti konstrukcijska opterećenja [51]. Pjenasto staklo po metru kubnom sadrži 350 miliona zračnih ćelija [53]. Za njegovu proizvodnju potrebno je mnogo energije i cijena mu je visoka.



*Slika 9.6.1. Pjenasto staklo CG*

## 10. Izjava o svojstvima - DoP

Izjava o svojstvima (eng. *declaration of performance = Dop*) je dokument koji sastavlja proizvođač kada na tržište stavlja građevni proizvod. Izjava o svojstvima mora biti usklađena normama ili mora biti u skladu s europskom tehničkom ocjenom koja je za njega izdana. Dokument „prati“ oznaku CE budući da sadrži sve informacije o proizvođaču, građevnom proizvodu, njegovim svojstvima i namjeravanoj uporabi. Tim dokumentom proizvođač preuzima odgovornost za sukladnost građevnog proizvoda s objavljenim svojstvima. Proizvođač mora objaviti barem svojstvo barem jedne bitne značajke građevnog proizvoda [48].

**IZJAVA O SVOJSTVIMA**  
U skladnosti sa normom za građevinske materijale 305/2011  
Br.: 402 AKUSTO

**ISOVER**  
SAINT-GOBAIN

- Jedinstvena identifikacijska oznaka tipa proizvoda:  
402 AKUSTO
- Tip, serijski ili redni broj ili bilo koji drugi element koji omogućava identifikaciju građevinskog proizvoda (članak 11, paragraf 4):  
① AKUSTO TWIN R (db, 30 mm) (vidjeti također i podatke prikazane na etiketi proizvoda: datum, mjesto i vrijeme proizvodnje)  
② AKUSTO R – AKUSTO TWIN R (vidjeti također i podatke prikazane na etiketi proizvoda: datum, mjesto i vrijeme proizvodnje)
- Previdjena uporaba ili previdjene vrste uporabe građevinskog proizvoda u skladu sa važećom harmoniziranom tehničkom specifikacijom, koju preporuča proizvođač:  
Toplinska izolacija u zgradarstvu
- Ime, registrirani trgovački naziv ili registrirani zaštitni znak i kontakt adresa proizvođača (prema članku 11, paragraf 5):  
Sjedište: SAINT-GOBAIN PPC ITALIA S.p.A., Via Etторе Romagnoli, 6- 20146 Milano  
Proizvodnja: Via Bonzetti 32/34- 24043 Vidalengo di Caravaggio (Bg)  
[www.isover.it](http://www.isover.it)
- Po potrebi ime i kontakt adresa ovlaštenog predstavnika, čiji mandat obuhvaća poslove navedene u članku 12, paragraf 2:  
Nije relevantno
- Sustav ili sustavi procjene i provjere konstantnosti karakteristika građevinskih proizvoda, kako je navedeno u Prilogu V:  
AVCP Sistem 1 za reakciju na požar  
AVCP Sistem 3 za ostale karakteristike
- Ako je Izjava o svojstvima građevinskog proizvoda u skladu s harmoniziranim standardom, navesti ime i identifikacijski broj tipa za ocjenu sukladnosti, ako je relevantno:  
EN 13162:2012

CSI SpA (ovlaštena ustanova za certificiranje br. 0497)  
Ova ustanova je izdala potvrdu o sukladnosti kontrole proizvodnje u tvornici, oslanjajući se na sljedeće elemente:  
i) početni nadzor proizvodnog pogona i tvorničke kontrole proizvodnje  
ii) nadzor, procjena i ocjenjivanje i tvorničke kontrole proizvodnje

8. Da li Izjava o svojstvima građevnog proizvoda ima europsku tehničku procjenu:  
Nije relevantno

9. Deklarirano svojstvo:  
Sve značajke navedene u tablici su definirane prema harmoniziranom standardu **EN 13162:2012**

Bitne značajke	Jedinica mjere	Svojstvo		Harmonizirana tehnička specifikacija
		① AKUSTO TWIN R	② AKUSTO R AKUSTO TWIN R	
Reakcija na požar	Reakcija na požar	A1	A1	EN 13162:2012
Karakteristika Euroclass	Reakcija na požar			
Emisija opasnih tvari u okoliš	Emisija opasnih tvari	(a)	(a)	
Indeks apsorpcije zvuka	Apsorpcija zvuka	svojstvo nije definirano	svojstvo nije definirano	
	Dinamička krutost	svojstvo nije definirano	svojstvo nije definirano	
Indeks prijenosa udarne buke (za podove)	Debljina d <sub>c</sub>	svojstvo nije definirano	svojstvo nije definirano	
	Stlačivost	svojstvo nije definirano	svojstvo nije definirano	
	Opor strujanju zraka	svojstvo nije definirano	svojstvo nije definirano	

Slika 10.1. Primjer izjave o svojstvima (DoP) za mineralnu staklenu vunu

Bitne značajke	Jedinica mjere	Svojstvo		Harmonizirana tehnička specifikacija	
		① AKUSTO TWIN R	② AKUSTO R AKUSTO TWIN R		
Indeks zvučne izolacije zračnog zvuka	Opor strujanju zraka		svojstvo nije definirano	EN 13162:2012	
Kontinuirano užareno izgaranje	Kontinuirano užareno izgaranje	(b)	(b)		
Toplinski otpor	Toplinski otpor	m <sup>2</sup> K/W	0,75		1,25 do 2,50
	Toplinska vodljivost	W/(mK)	0,038		0,040
	Debljina	mm	30		50 do 100
Tolerancija debljine	%	T1	T1		
Vodoupojnost	Kratkotrajno upijanje vode	kg/m <sup>2</sup>	WS		WS
	Dugotrajno upijanje vode	kg/m <sup>2</sup>	svojstvo nije definirano		svojstvo nije definirano
Paropropusnost	Protaz vodene pare	m <sup>2</sup> hPa/mg	MU1		MU1
Tlačna čvrstoća	Tlačno naprezanje ili tlačna čvrstoća		svojstvo nije definirano		svojstvo nije definirano
	Točkasto opterećenje		svojstvo nije definirano		svojstvo nije definirano
Trajnost reakcije na vatru kod topline, vremenskih uvjeta, starenja/zgradnje	Značajke trajnosti		(c)		(c)
Trajnost toplinskog otpora kod topline, vremenskih uvjeta, starenja/zgradnje	Toplinski otpor i toplinska vodljivost		(d)		(d)
	Značajke trajnosti		(e)		(e)
Vlačna čvrstoća / Čvrstoća na savijanje	Vlačna čvrstoća okomito na površinu <sup>(f)</sup>		svojstvo nije definirano		svojstvo nije definirano
Trajnost tlačne čvrstoće kod topline, vremenskih uvjeta, starenja/zgradnje	Tlačna čvrstoća		svojstvo nije definirano	svojstvo nije definirano	

- (a) Proizvodi za toplinsku izolaciju ne smiju ispuštati opasne tvari iznad maksimalno dopuštenih vrijednosti prema europskim ili lokalnim propisima. Europska metoda ispitivanja je u fazi razvoja.  
(b) Europska metoda ispitivanja je u fazi razvoja, a standard će se početi primjenjivati kada bude dostupan  
(c) Požarna karakteristika za mineralna vlakna se ne pogoršava s protekom vremena. Klasifikacija Euroclass je povezana sa sadržajem organskog materijala, koji se ne može povećati s protekom vremena  
(d) Toplinska vodljivost proizvoda iz mineralnih vlakana se ne mijenja s protekom vremena. Iskusstvo je pokazalo da je struktura mineralnog vlakna stabilna, te da poroznu strukturu materijala ispunjava samo zrak  
(e) Samo za dimenziju stabilnosti debljine  
(f) Ove značajke utječu na manipulaciju i ugradnju

10. Karakteristike proizvoda prikazane u točki 1 i 2 su u skladu sa deklariranim vrijednostima u točki 9. Ova Izjava o svojstvima je izdana pod punom odgovornošću proizvođača navedenog u Točki 4.

Potpisano u ime proizvođača od strane:

Giulio de Gregorio  
zastupnik generalnog direktora

Vidalengo, 04.11.2015

Potpis



## 13. Primjeri proračuna

### 13.1. Proračun količine topline Q

U ovom djelu napraviti ćemo proračun i usporedbu količine topline za presjek AB zida bez TI i s TI. Prvo ćemo napraviti proračun količine topline Q za AB zid površine 300 m<sup>2</sup> III. klimatske zone ( $t_i = 20\text{ °C}$ ,  $t_e = -10\text{ °C}$ ) bez dodatka MW.

Zadano:

Sloj	Debljina (cm)	$\lambda$ W/mK
Vapneno-cementna žbuka	1	1,000
Armirani beton	20	2,600

Potrebno je izračunati toplinski otpor R (m<sup>2</sup>K/W) koji se pruži prilikom prolaska topline kroz materijal:

$$R_1 = \frac{d}{\lambda_1} \text{ (m}^2\text{K/W)}$$

$$R_1 = \frac{0,01}{1,000}$$

$$R_1 = 0,01 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_2 = \frac{d}{\lambda_2} \text{ (m}^2\text{K/W)}$$

$$R_2 = \frac{0,20}{2,600}$$

$$R_2 = 0,07692 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Za pregrade koje se sastoje od više slojeva materijala toplinski otpor je zbroj otpora za svaki sloj:

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + R_{se} \text{ (m}^2\text{K/W)}$$

$R_{si}$  - unutrašnji plošni otpor prijelaza topline, 0,13 (vodoravno)

$R_{se}$  - vanjski plošni otpor prijelaza topline, 0,04 (uvis, vodoravno, naniže)

$$R_T = 0,13 + 0,01 + 0,07692 + 0,04$$

$$R_T = 0,25692 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Koeficijent prolaska topline  $U$  ( $\text{W/m}^2\text{K}$ ) treba biti što manji da bi objekt bio bolje toplinski izoliran:

$$U = \frac{1}{R_T} \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

$$U = \frac{1}{0,25692}$$

$$U = 3,89226 \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

Toplinski tok koji prolazi jedinicom površine:

$$\Phi = U \cdot A \cdot \Delta t \text{ (W)}$$

$$t_i = 20 \text{ }^\circ\text{C (293,15 K)}$$

$$t_e = -10 \text{ }^\circ\text{C (263,15 K)}$$

$$\Delta t = t_i - t_e$$

$$\Delta t = 30 \text{ K}$$

$$\Phi = 3,89226 \cdot 300 \cdot 30$$

$$\Phi = 35030,35 \text{ W, odnosno } 35,03 \text{ kW}$$

Toplinski tok je količina topline  $Q$  koja prolazi u jedinici vremena, u ovom slučaju 24 h:

$$Q = \Phi \cdot t \text{ (W)}$$

$$Q = 35,03 \text{ kW} \cdot 24 \text{ h}$$

$$Q = 840,72 \text{ kWh}$$

Sada ćemo napraviti proračun količine topline Q za AB zid površine 300 m<sup>2</sup> III. klimatske zone (t<sub>i</sub> = 20 °C, t<sub>e</sub> = -10 °C) s dodatkom MW.

Zadano:

Sloj	Debljina (cm)	λ W/mK
Vapneno-cementna žbuka	1	1,000
Armirani beton	20	2,600
MW	5	0,035
Polimerno-cementno ljepilo	0,5	0,900

Potrebno je izračunati toplinski otpor R (m<sup>2</sup>K/W) koji se pruži prilikom prolaska topline kroz materijal:

$$R_1 = \frac{d_1}{\lambda_1} \text{ (m}^2\text{K/W)}$$

$$R_1 = \frac{0,01}{1,000}$$

$$R_1 = 0,01 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_2 = \frac{d_2}{\lambda_2} \text{ (m}^2\text{K/W)}$$

$$R_2 = \frac{0,20}{2,600}$$

$$R_2 = 0,07692 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_3 = \frac{d_3}{\lambda_3} \text{ (m}^2\text{K/W)}$$

$$R_3 = \frac{0,15}{0,035}$$

$$R_3 = 4,28571 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_4 = \frac{d_4}{\lambda_4} \text{ (m}^2\text{K/W)}$$



$$R_4 = \frac{0,005}{0,900}$$

$$R_4 = 0,00555 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Za pregrade koje se sastoje od više slojeva materijala toplinski otpor je zbroj otpora za svaki sloj:

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_{se} \text{ (m}^2\text{K/W)}$$

$R_{si}$  - unutrašnji plošni otpor prijelaza topline, 0,13 (vodoravno)

$R_{se}$  - vanjski plošni otpor prijelaza topline, 0,04 (uvis, vodoravno, naniže)

$$R_T = 0,13 + 0,01 + 0,07692 + 4,28571 + 0,00555 + 0,04$$

$$R_T = 4,54818 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Koeficijent prolaska topline  $U$  ( $\text{W/m}^2\text{K}$ ) treba biti što manji da bi objekt bio bolje toplinski izoliran:

$$U = \frac{1}{R_T} \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

$$U = \frac{1}{4,54818}$$

$$U = 0,21986 \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

Toplinski tok koji prolazi jedinicom površine:

$$\Phi = U \cdot A \cdot \Delta t \text{ (W)}$$

$$t_i = 20 \text{ }^\circ\text{C (293,15 K)}$$

$$t_e = -10 \text{ }^\circ\text{C (263,15 K)}$$

$$\Delta t = t_i - t_e$$

$$\Delta t = 30 \text{ K}$$

$$\Phi = 0,21986 \cdot 300 \cdot 30$$

$$\Phi = 1978,74 \text{ W, odnosno 1,9787 kW}$$

Toplinski tok je količina topline Q koja prolazi u jedinici vremena, u ovom slučaju 24 h:

$$Q = \Phi \cdot t \text{ (W)}$$

$$Q = 1,9787 \text{ kW} \cdot 24 \text{ h}$$

$$Q = 47,4888 \text{ kWh}$$

Zaključak:

Toplinska energija Q koja prolazi u jedinici vremena pri razlici temperature od 30 °C kroz AB zid debljine 20 cm i površine 300 m<sup>2</sup> koji nema TI skoro je 18 puta veći od zida koji ima TI od MW 15 cm.

### 13.2. Proračun indeksa zvučne izolacije pregrade – R

Pregradni zidovi u stambenim prostorima najčešće se izvode kao jednostruke konstrukcije. Indeks zvučne izolacije pregrade ovisi o vrijednosti zvučne izolacije samoga zida, koja ima dominantan utjecaj i ovisi o bočnim putovima prolaska zvuka. Kod jednostrukog nosivog zida, zvučna izolacija ovisi o njegovoj masi koja se opisuje „zakonom mase“.

$$R = 20 \lg (m \cdot f) - 47,5 \text{ (dB)}$$

Zadano:  $f = 500 \text{ Hz}$

Sloj	Debljina (cm)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )
Vapneno-cementna žbuka	1	1800
Armirani beton	20	2500

Površinska masa građevinske konstrukcije promatrane kao akustički jednostruke je:

$$m = 0,01 \cdot 1800 + 0,2 \cdot 2500$$

$$m = 518 \text{ kg/m}^2$$

Približna vrijednost indeksa zvučne izolacije pregrade (za reduciranu masu od 518 kg/m<sup>2</sup>) iznosi:

$$R = 20 \cdot (\lg 518 + \lg 500) - 47,5$$

$$R = 60,77 \text{ dB}$$

## 14. Zaključak

Ova izazovna vremena, u kojima se susrećemo s klimatskim promjenama, nestabilnim cijenama energenata i povećanjem troškova života, potaknula su razvoj izolacijskih materijala s ciljem smanjena troškova energenata kao i smanjenja daljnjeg utjecaja na klimatske promjene. Ljudi veliki dio svog života provode u zatvorenom prostoru, stoga troše velike količine novaca na poboljšanje kvalitete života u njemu. Taj problem dolazi sve više do izražaja u zemljama članica Europske unije koja svojim politikama želi pridonijeti smanjenju potrošnje energije i resursa. U današnje vrijeme prilikom projektiranja i same izgradnje susrećemo se s velikim izazovima. Pravilnim odabirom zvučno izolacijskih materijala osiguravamo ugodnost unutarnjeg boravka odnosno kvalitetu života. Poznato nam je da voda svojim ulaskom može štetno djelovati na građevinske elemente, ali pravilnom izvedbom i pravilnim odabirom hidroizolacijskih materijala možemo zaštititi građevinske elemente od propadanja. Analizom i obradom rezultata provedenih na proračunu toplinske energije možemo zaključiti da toplinsko izolacijski materijali smanjuju troškove i potrošnju energije.

## 15. Literatura

[1] Z. Živković: Hrvatsko tradicijsko graditeljstvo, Ministarstvo kulture, Uprava za zaštitu kulturne baštine, 2013., str. 37

[https://min-kulture.gov.hr/UserDocsImages/arhiva/Bastina/HTG\\_web.pdf](https://min-kulture.gov.hr/UserDocsImages/arhiva/Bastina/HTG_web.pdf)

(Pristupljeno 09.08.2024.)

[2] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Izolacija> (Pristupljeno 09.08.2024.)

[3] G. Oreški: Tradicionalni i inovativni toplinsko izolacijski materijali. Završni rad, Sveučilište Sjever, Varaždin, 2021.

[4] S. Bašić, N. Vezilić-Strmo, S. Marjanović: Ovojnica zgrade, Građevinar 71, 2019., str. 674 -675

<https://hrcak.srce.hr/file/328458> (Pristupljeno 09.08.2024.)

[5] N. Buzov: Građevni materijali. <https://www.scribd.com/document/510910503/Nenad-Buzov-Gra%C4%91evni-Materijali>, (Pristupljeno 09.08.2024.)

[6] <https://knauf.com/hr-HR/knauf-insulation> (Pristupljeno 09.08.2024.)

[7] Građevinska fizika uvod u građevinsku fiziku <http://ss-graditeljska-zg.skole.hr/upload/ss-graditeljska-zg/images/static3/2070/File/gra%C4%91evinska%20fizika.pdf> (Pristupljeno 09.08.2024.)

[8] <https://tehnicki.lzmk.hr/clanak/fizika-zgrade> (Pristupljeno 09.08.2024.)

[9] P. Donjerković, et. al.: Modul 1, Hrvatska komora inženjera strojarstva, Zagreb, 2013., str. 126-226

[10] <https://www.enciklopedija.hr/clanak/medjunarodni-sustav-jedinica>

(Pristupljeno 09.08.2024.)

[11] <https://www.fkit.unizg.hr/download/repository/prijenosTopline.pdf>

(Pristupljeno 09.08.2024.)

[12] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Prijenos\\_topline](https://hr.wikipedia.org/wiki/Prijenos_topline) (Pristupljeno 09.08.2024.)

- [13] <https://bs.wikipedia.org/wiki/Hidrofobnost> (Pristupljeno 09.08.2024.)
- [14] J. Beslač: Materijali u arhitekturi i građevinarstvu, Školska knjiga, Zagreb 1989., str. 167-168
- [15] A. Perić, I. Kraus, H. Krstić: Koeficijent toplinske provodljivosti tradicijske zemljane kuće iz istočne Hrvatske: studija slučaja, Sveučilište Josipa Juraja Strossmayera u Osijeku, Građevinski i arhitektonski Fakultet Osijek, Osijek, 2021., str. 88  
[https://zt2021.gf.sum.ba/docs/proceedings/14\\_ZT2021.pdf](https://zt2021.gf.sum.ba/docs/proceedings/14_ZT2021.pdf) (Pristupljeno 10.08.2024.)
- [16] S. Schuhr, et. al. Građevinska tehnika osnovni stupanj, Školska knjiga, Zagreb 2008., str. 296-311
- [17] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Koeficijent\\_prolaska\\_topline](https://hr.wikipedia.org/wiki/Koeficijent_prolaska_topline) (Pristupljeno 10.08.)
- [18] Osnove građevinske fizike 2015  
[https://www.fkit.unizg.hr/\\_download/repository/0006\\_Osnove\\_gradjevinske\\_fizike\\_150130\\_RHR\\_Formelheft\\_148x210.pdf](https://www.fkit.unizg.hr/_download/repository/0006_Osnove_gradjevinske_fizike_150130_RHR_Formelheft_148x210.pdf), str. 30 (Pristupljeno 10.08.2024.)
- [19] <https://ipeda.hr/gradnja-krova/kroviste/paropropusnost> (Pristupljeno 10.08.2024.)
- [20] Z. Hanžek, et. al: Tehnički propisi o uštedi toplinske energije i toplinskoj zaštiti u gradama, Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva  
[https://www.ptmg.hr/media/zakoni/tehnikipropisi/Tehni\\_ki%20propis%20o%20u\\_tedi%20energije.pdf](https://www.ptmg.hr/media/zakoni/tehnikipropisi/Tehni_ki%20propis%20o%20u_tedi%20energije.pdf) (Pristupljeno 10.08.2024.)
- [21] izolacija.rs 2023 <https://izolacija.rs/slama-kao-materijal-za-izgradnju-i-termoizolaciju/> (Pristupljeno 11.08.2024.)
- [22] D. Držaić, M. Tomić, A. Džaja, I. Širić, B. Mioč: Mogućnost uporabe ovčje vune u građevinskoj industriji, Hrvatski veterinarski vjesnik, 2017. <https://hrcak.srce.hr/file/307167> (Pristupljeno 11.08.2024.)
- [23] [https://www.masterplast.hr/product\\_subcategory/ekspandirani-polistiren/](https://www.masterplast.hr/product_subcategory/ekspandirani-polistiren/) (Pristupljeno 12.08.2024.)
- [24] <http://stiroart.hr/2014/11/04/sto-je-stiropor-i-kako-nastaje/> (Pristupljeno 12.08.2024.)

- [25] <https://www.plastform.hr/katalozi/katalog-proizvoda/>, str. 5 (Pristupljeno 12.08.2024.)
- [26] <https://webgradnja.hr/specifikacije/384/kempor-ekspandirani-polistiren-stiropor-eps>  
(Pristupljeno 12.08.2024.)
- [27] <https://www.masterplast.hr/blog/grafitni-eps-tehnologija-primjena-i-prednosti/>  
(Pristupljeno 12.08.2024.)
- [28] <https://www.rockwool.com/hr/primjena-proizvoda/izolacija-vanjskog-zida/kontaktna-fasada-etics/>  
(Pristupljeno 12.08.2024.)
- [29] <https://guttashop.hr/ekstrudirani-polistiren-xps-d50> (Pristupljeno 12.08.2024.)
- [30] <http://karl-bachl.hr/bachl-perlit/> (Pristupljeno 12.08.2024.)
- [31] <https://www.pur-sistemi.hr/> (Pristupljeno 12.08.2024.)
- [32] <https://www.saint-gobain.hr/svojstva-mineralne-staklene-vune> (Pristupljeno 13.08.2024.)
- [33] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Staklena\\_vuna](https://hr.wikipedia.org/wiki/Staklena_vuna) (Pristupljeno 13.08.2024.)
- [34] <https://knauf.com/hr-HR/knauf-insulation/ecose-technology> (Pristupljeno 13.08.2024.)
- [35] <https://www.knaufinsulation.rs/vesti/kako-nastaje-kamena-vuna>  
(Pristupljeno 13.08.2024.)
- [36] S. Novak: Mineralne vune kao savršeno rješenje za postizanje standarda nZEB, Hrvatska komora inženjera građevinarstva, Opatija 2021.  
[https://www.hkig.hr/docs/Opatija\\_2021/prezentacije/01-web\\_prezentacije/Izazovi%20gra%C4%91evinske%20fizike/Mineralne%20vune%20kao%20savr%C5%A1eno%20rje%C5%A1enje%20za%20postizanje%20standarda%20NZEB.pdf](https://www.hkig.hr/docs/Opatija_2021/prezentacije/01-web_prezentacije/Izazovi%20gra%C4%91evinske%20fizike/Mineralne%20vune%20kao%20savr%C5%A1eno%20rje%C5%A1enje%20za%20postizanje%20standarda%20NZEB.pdf)  
(Pristupljeno 13.08.2024.)
- [37] P. Komuves: Aeregol i njegova primjena: Materijal neobičnih svojstva, Građevinar 66, 2014., str. 387-388

[http://casopis-gradjevinar.hr/assets/Uploads/JCE\\_66\\_2014\\_4\\_13\\_Zanimljivosti.pdf](http://casopis-gradjevinar.hr/assets/Uploads/JCE_66_2014_4_13_Zanimljivosti.pdf)

(Pristupljeno 13.08.2024.)

[38] L. Budinščak: Materijali i toplinsko izolacijski materijali u zgradarstvu, Završni rad., Sveučilište Sjever, Varaždin, 2020., str. 27-30

[39] <https://knauf.com/hr-HR/knauf-insulation/kompetencije/kako-izolirati/tehnicke-izolacije>

(Pristupljeno 13.08.2024.)

[40] <https://www.saint-gobain.hr/izolacija-poda> (Pristupljeno 14.08.2024.)

[41] Ž. Popović: Zgradarstvo, Naučna knjiga, Beograd 1987., str. 179-190

[42] <https://webgradnja.hr/clanci/hidroizolacije-od-sintetickih-folija/695>

(Pristupljeno 15.08.2024.)

[43] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Bitumen> (Pristupljeno 15.08.2024.)

[44] <https://hr.fragmat.eu/clanci> (Pristupljeno 15.08.2024.)

[45] Centar građevinskog fakulteta d.o.o., et. al.: Opći tehnički uvjeti za radove u vodnom gospodarstvu. 9. Poglavlje – Izolacijski radovi, Hrvatske vode, Zagreb, 2022., str. 11

<https://voda.hr/sites/default/files/2023-02/Poglavlje%209.%20Izolacijski%20radovi.pdf>

(Pristupljeno 15.08.2024.)

[46] <https://webgradnja.hr/clanci/hidroizolacija-podzemnih-dijelova-konstrukcija/701>

(Pristupljeno 15.08.2024.)

[47] R. Rukavina: Sustavi hidroizolacija za energetske obnovu zgrada, Hrvatska komora inženjera građevinarstva, Opatija 2019., str. 5-32

[https://www.hkig.hr/docs/Opatija\\_2019/prezentacije/Lovor/13.%20Cjeloviti%20pristup%20gra%C4%91evinskoj%20fizici%20i%20energetskoj%20obnovi%20zgrada/13.6.%20Sustavi%20hidroizolacija%20za%20energetsku%20obnovu%20zgrada%20-%20Robert%20Rukavina.pdf](https://www.hkig.hr/docs/Opatija_2019/prezentacije/Lovor/13.%20Cjeloviti%20pristup%20gra%C4%91evinskoj%20fizici%20i%20energetskoj%20obnovi%20zgrada/13.6.%20Sustavi%20hidroizolacija%20za%20energetsku%20obnovu%20zgrada%20-%20Robert%20Rukavina.pdf) (Pristupljeno 15.08.2024.)

[48] Ministarstvo prostornog uređenja, graditeljstva i državne imovine, 2024  
<https://mpgi.gov.hr/UserDocsImages/4109> (Pristupljeno 17.08.2024.)

[49] Z. Veršić: Arhitektonska akustika, Sveučilište u Zagrebu, Arhitektonski fakultet, Zagreb, 2017., str. 87-88

[https://www.arhitekt.hr/files/radovi/privitak/427/Arhitektonska\\_akustika\\_Versic\\_Zoran\\_2017.pdf](https://www.arhitekt.hr/files/radovi/privitak/427/Arhitektonska_akustika_Versic_Zoran_2017.pdf) (Pristupljeno 17.08.2024.)

[50] Građevinar 57, Izolacije, 2005., str. 830 - 833

<http://www.casopis-gradjevinar.hr/assets/Uploads/JCE-57-2005-10-10.pdf> (Pristupljeno 03.09.2024.)

[51] Z. Veršić, et. al.: Smjernice za energetska obnovu zgrada sa statusom kulturnog dobra, Ministarstvo kulture i medija, Ministarstvo prostornog uređenja, graditeljstva i državne imovine, Zagreb, 2023., str. 65 – 66

[https://min-kulture.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/\\_Smjernice%20za%20energetska%20obnovu%20zgrada%20sa%20statusom%20kulturnog%20dobra.pdf](https://min-kulture.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/_Smjernice%20za%20energetska%20obnovu%20zgrada%20sa%20statusom%20kulturnog%20dobra.pdf) (Pristupljeno 03.09.2024.)

[52] <https://www.gradnja.me/clanak/325/Pjenasto-staklo-kao-izolacioni-materijal>

(Pristupljeno 03.09.2024.)



## Popis slika

Slika 1.1. Ovojnica zgrade Izvor: <a href="https://solidsteelbuildings.com/what-is-a-building-envelope/">https://solidsteelbuildings.com/what-is-a-building-envelope/</a> (Pristupljeno 10.08.2024.).....	2
Slika 2.2.1. Prikaz grafa prenošenja topline kondukcijom Izvor: P. Donjerković, et. al.: Modul 1, Hrvatska komora inženjera strojarstva, Zagreb, 2013.....	6
Slika 2.2.2. Prikaz grafa prenošenja topline konvekcijom Izvor: P. Donjerković, et. al.: Modul 1, Hrvatska komora inženjera strojarstva, Zagreb, 2013.....	7
Slika 2.2.3. Prenosjenje topline radijacijom Izvor: P. Donjerković, et. al.: Modul 1, Hrvatska komora inženjera strojarstva, Zagreb, 2013. ....	8
Slika 3.1. Toplinski gubici obiteljske kuće, vanjski toplostaj (temperatura): -10 °C, a prostorijski toplostaj: +20 °C Izvor: S. Schuhr, et. al. Građevinska tehnika osnovni stupanj, Školska knjiga, Zagreb 2008. .....	10
Slika 3.2.1. Prikaz koeficijenta toplinske provodljivosti $\lambda = 0,039$ (W/mK) na deklaraciji mineralne staklene vune proizvođača Isover – Saint Gobain Izvor: <a href="https://montinghome.rs/materijali/">https://montinghome.rs/materijali/</a> (Pristupljeno 10.08.2024.) .....	12
Slika 3.2.2. Homogena građevna pregrada Izvor: P. Donjerković, et. al.: Modul 1, Hrvatska komora inženjera strojarstva, Zagreb, 2013. ....	13
Slika 3.2.3. Debljina izolacije podijeljena s koeficijentom toplinske vodljivosti = $\Delta R$ vrijednosti Izvor: <a href="https://www.fkit.unizg.hr/_download/repository/0006_Osnove_gradjevske_fizike_150130_RHR_Formelheft_148x210.pdf">https://www.fkit.unizg.hr/_download/repository/0006_Osnove_gradjevske_fizike_150130_RHR_Formelheft_148x210.pdf</a> (Pristupljeno 10.08.2024.).....	14
Slika 3.2.4. Građevinski element iz više sloja Izvor: P. Donjerković, et. al.: Modul 1, Hrvatska komora inženjera strojarstva, Zagreb, 2013. ....	14
Slika 3.2.5. Građevinski element sastavljen od nehomogenih materijala Izvor: P. Donjerković, et. al.: Modul 1, Hrvatska komora inženjera strojarstva, Zagreb, 2013. ....	15
Slika 3.2.6. Toplinska izolacija ravnog krova XPS pločama Izvor: <a href="http://arhiva.arhitekti-hka.hr/hr/baza-proizvoda/proizvod/fibraxps-incline%3B-ravni-krovovi-pasivnih-ku%C4%87a,555,772.html">http://arhiva.arhitekti-hka.hr/hr/baza-proizvoda/proizvod/fibraxps-incline%3B-ravni-krovovi-pasivnih-ku%C4%87a,555,772.html</a> (Pristupljeno 10.08.2024.) .....	16
Slika 4.1.1. Ekspandirani pluto (ploče) Izvor: <a href="https://www.pluta.hr/ducan/32-ekspandirano-pluto/877-natural-insulation-cork-sheets-20x500x1000mm/">https://www.pluta.hr/ducan/32-ekspandirano-pluto/877-natural-insulation-cork-sheets-20x500x1000mm/</a> (Pristupljeno 10.08.2024.).....	19
Slika 4.1.2. Pamuk Izvor: <a href="https://www.plantea.com.hr/pamuk/">https://www.plantea.com.hr/pamuk/</a> (Pristupljeno 11.08.2024.) ..	19

Slika 4.1.3. Drvena vlakna (ploče) Izvor: <a href="https://webgradnja.hr/specifikacije/56/drvolit-d">https://webgradnja.hr/specifikacije/56/drvolit-d</a> (Pristupljeno 11.08.2024.).....	20
Slika 4.1.4. Vlakna od konoplje (ploče) Izvor: <a href="https://izolacija.rs/izolacija-na-bazi-konoplje/">https://izolacija.rs/izolacija-na-bazi-konoplje/</a> (Pristupljeno 12.08.2024.).....	21
Slika 4.1.5. Ugradnja slame kao izolacijski materijal Izvor: <a href="https://izolacija.rs/slama-kao-materijal-za-izgradnju-i-termoizolaciju/">https://izolacija.rs/slama-kao-materijal-za-izgradnju-i-termoizolaciju/</a> (Pristupljeno 12.08.2024.) .....	22
Slika 4.2.1. Ekspandirani PoliStiren Izvor: <a href="https://www.atyapi.com/other-products/eps-foam-board/">https://www.atyapi.com/other-products/eps-foam-board/</a> (Pristupljeno 12.08.2024.)	
Slika 4.2.2. Grafitni stiropor Izvor: <a href="https://www.ikoma.hr/hr/fasade-143/grafitni-stiropor-za-fasade-534/stiropor-za-fasade-grafitni-3-cm-eps-f-031-6201/">https://www.ikoma.hr/hr/fasade-143/grafitni-stiropor-za-fasade-534/stiropor-za-fasade-grafitni-3-cm-eps-f-031-6201/</a> (Pristupljeno 12.08.2024.).....	25
Slika 4.2.3. Područja primjene EPS-a i grafitnog stiropora .....	26
Slika 4.2.4. Struktura XPS ploča (lijevo) Izvor: <a href="https://guttashop.hr/ekstrudirani-polistiren-xps-d50">https://guttashop.hr/ekstrudirani-polistiren-xps-d50</a> (Pristupljeno 12.08.2024.).....	27
Slika 4.2.5. XPS ima gotovo nulti koeficijent upijanja vode Izvor: <a href="https://guttashop.hr/ekstrudirani-polistiren-xps-d50">https://guttashop.hr/ekstrudirani-polistiren-xps-d50</a> (Pristupljeno 12.08.2024.) .....	28
Slika 4.2.6. Položaj XPS-a (sloj 4) kod temelja Izvor: <a href="https://fibran.hr/wp-content/uploads/sites/11/2020/06/HR_4.02.1.0.02-1.pdf">https://fibran.hr/wp-content/uploads/sites/11/2020/06/HR_4.02.1.0.02-1.pdf</a> (Pristupljeno 12.08.2024.).....	29
Slika 4.2.7. Nanošenje prskanjem Izvor: <a href="https://krov.rs/poliuretanska-pena-kao-izolacija-sve-prednosti-i-manje/">https://krov.rs/poliuretanska-pena-kao-izolacija-sve-prednosti-i-manje/</a> (Pristupljeno 12.08.2024.) .....	30
Slika 4.2.8. PUR – poliretan u pločama Izvor: <a href="https://korak.com.hr/toplinska-izolacija-na-bazi-poliuretanske-pjene/">https://korak.com.hr/toplinska-izolacija-na-bazi-poliuretanske-pjene/</a> (Pristupljeno 12.08.2024.) .....	31
Slika 4.3.1. Ekspandirani perlit – nasip Izvor: <a href="https://buildex.decorexpro.com/hr/uteplenje/pesok-v-kachestve-uteplitelya.html">https://buildex.decorexpro.com/hr/uteplenje/pesok-v-kachestve-uteplitelya.html</a> (Pristupljeno 12.08.2024.).....	31
Slika 4.3.2. Staklena vlakna Izvor: <a href="https://hr.wikipedia.org/wiki/Staklena_vuna#/media/Datoteka:Glasfaser_Roving.jpg">https://hr.wikipedia.org/wiki/Staklena_vuna#/media/Datoteka:Glasfaser_Roving.jpg</a> (Pristupljeno 13.08.2024.).....	32
Slika 4.3.3. Ecosse® mineralna staklena vuna smeđe boje Izvor: <a href="https://www.knaufinsulation.co.uk/why-knauf-insulation/ecose-technology">https://www.knaufinsulation.co.uk/why-knauf-insulation/ecose-technology</a> (Pristupljeno 13.08.2024.).....	33
Slika 4.3.4. Staklena mineralna vuna (UNIFIT 035) Izvor: , <a href="https://www.knaufinsulation.rs/proizvodi/unifit-035">https://www.knaufinsulation.rs/proizvodi/unifit-035</a> (Pristupljeno 13.08.2024.) .....	34

Slika 4.3.5. Izolacija potkrovlja staklenom mineralnom vunom Izvor: <a href="https://knauf.com/hr-HR/knauf-insulation/kompetencije/kako-izolirati">https://knauf.com/hr-HR/knauf-insulation/kompetencije/kako-izolirati</a> (Pristupljeno 13.08.2024.).....	34
Slika 4.3.6. Proces dobivanja kamene mineralne vune Izvor: <a href="https://www.researchgate.net/figure/Manufacturing-process-of-mineral-wool_fig1_333020794">https://www.researchgate.net/figure/Manufacturing-process-of-mineral-wool_fig1_333020794</a> (Pristupljeno 13.08.2024.) .....	35
Slika 4.3.7. Široki spektar proizvoda koji odgovara svakoj aplikaciji Izvor: <a href="https://www.hkig.hr/docs/Opatija_2021/prezentacije/01-web_prezentacije/Izazovi%20gra%C4%91evinske%20fizike/Mineralne%20vune%20kao%20savr%C5%A1eno%20rje%C5%A1enje%20za%20postizanje%20standarda%20NZEB.pdf">https://www.hkig.hr/docs/Opatija_2021/prezentacije/01-web_prezentacije/Izazovi%20gra%C4%91evinske%20fizike/Mineralne%20vune%20kao%20savr%C5%A1eno%20rje%C5%A1enje%20za%20postizanje%20standarda%20NZEB.pdf</a> (Pristupljeno 13.08.2024.).....	35
Slika 4.3.8. Učvršćivanje ploča od kamene mineralne vune Izvor: <a href="https://www.knaufinsulation.rs/primena/kontaktna-fasada/ugradnja-fasade-sa-kamenom-vunom-u-8-koraka">https://www.knaufinsulation.rs/primena/kontaktna-fasada/ugradnja-fasade-sa-kamenom-vunom-u-8-koraka</a> (Pristupljeno 13.08.2024.).....	36
Slika 4.3.9. Udarna pričvrsnica s pocinčanim čeličnim trnom Izvor: <a href="https://www.roefix.hr/proizvod/roefix-h1-eco-plasticna-pricvrsnica-celicni-cavao">https://www.roefix.hr/proizvod/roefix-h1-eco-plasticna-pricvrsnica-celicni-cavao</a> (Pristupljeno 13.08.2024.).....	37
Slika 4.4.1. „kombi“ ploče s EPS jezgrom Izvor: <a href="https://hr.fragmat.eu/toplinske-izolacije/kombi-ploce-za-opcu-uporabu/drvoopor-dp3-6">https://hr.fragmat.eu/toplinske-izolacije/kombi-ploce-za-opcu-uporabu/drvoopor-dp3-6</a> (Pristupljeno 13.08.2024.) .....	38
Slika 4.4.2. „kombi“ ploče s MW jezgrom Izvor: <a href="https://webgradnja.hr/katalog/11426/kombi-ploca-s-kamenom-vunom">https://webgradnja.hr/katalog/11426/kombi-ploca-s-kamenom-vunom</a> (Pristupljeno 13.08.2024.).....	38
Slika 5.1. Aeregol Izvor: <a href="https://jax.hr/2023/04/04/odrzana-prezentacija-aerogel-izolacije/">https://jax.hr/2023/04/04/odrzana-prezentacija-aerogel-izolacije/</a> (Pristupljeno 13.08.2024.) .....	39
Slika 5.2.1. Usporedba debljina s obzirom na koeficijent $\lambda$ tradicionalnih (EPS, XPS i PET) i suvremenih (aeregol i VIP) TI materijala Izvor: L. Budinščak: Materijali i toplinsko izolacijski materijali u zgradarstvu, Završni rad., Sveučilište Sjever, Varaždin, 2020., (Pristupljeno 13.08.2024.).....	41
Slika 5.2.2. Shematski prikaz montiranja VIP ploča Izvor: L. Budinščak: Materijali i toplinsko izolacijski materijali u zgradarstvu, Završni rad., Sveučilište Sjever, Varaždin, 2020., (Pristupljeno 13.08.2024.).....	42
Slika 5.2.3. Vakuumska izolacijska ploča – VIP Izvor: <a href="https://www.emajstor.hr/clanak/148/Vakuumska-izolacija-je-idealna-tamo-gdje-nema-pros-tora">https://www.emajstor.hr/clanak/148/Vakuumska-izolacija-je-idealna-tamo-gdje-nema-pros-tora</a> (Pristupljeno 13.08.2024.).....	42

Slika 5.3.1. Pogled na pregradnu strukturu i foliju unutar GFP ploče Izvor: <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778810002124">https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778810002124</a> (Pristupljeno 03.09.2024.).....	43
Slika 6.1. Kamena mineralna vuna – rastresita Izvor: <a href="https://shop.isopartner.de/en/product/knauf-power-tek-lw-std">https://shop.isopartner.de/en/product/knauf-power-tek-lw-std</a> (Pristupljeno 13.08.2024.) ....	44
Slika 6.2. Kamena mineralna vuna – žljebak Izvor: <a href="https://www.knaufinsulation-ts.com/products/thermo-tek-ps-pro-alu">https://www.knaufinsulation- ts.com/products/thermo-tek-ps-pro-alu</a> (Pristupljeno 13.08.2024.).....	44
Slika 8.1.1. Prostorna buka (lijevo) i udarna buka (desno) Izvor: S. Schuhr, et. al. Građevinska tehnika osnovni stupanj, Školska knjiga, Zagreb 2008.....	46
Slika 8.1.2. Vrste zvuka Izvor: S. Schuhr, et. al. Građevinska tehnika osnovni stupanj, Školska knjiga, Zagreb 2008.....	47
Slika 8.1.3. Osjetljivost ljudskog uha Izvor: S. Schuhr, et. al. Građevinska tehnika osnovni stupanj, Školska knjiga, Zagreb 2008.....	47
Slika 8.1.4. Zvukovni val u zgradama građenim kosturnim načinom Izvor: S. Schuhr, et. al. Građevinska tehnika osnovni stupanj, Školska knjiga, Zagreb 2008.....	48
Slika 8.1.5. Prijenos koračajnog zvuka u plivajućem podu Izvor: S. Schuhr, et. al. Građevinska tehnika osnovni stupanj, Školska knjiga, Zagreb 2008.....	49
Slika 8.2.1. Prostorna akustika ili akustika prostorija Izvor: S. Schuhr, et. al. Građevinska tehnika osnovni stupanj, Školska knjiga, Zagreb 2008.....	49
Slika 8.3.1. Prijenos zvuka iz predajne u prijemnu prostoriju Izvor: S. Schuhr, et. al. Građevinska tehnika osnovni stupanj, Školska knjiga, Zagreb 2008.....	50
Slika 8.3.2. Pregradni zid s jednostrukom oblogom (lijevo) i pregradni zid s dvostrukom pregradom (desno) Izvor: S. Schuhr, et. al. Građevinska tehnika osnovni stupanj, Školska knjiga, Zagreb 2008.....	51
Slika 8.3.3. Plivajući pod na drvenoj međukatnoj konstrukciji Izvor: <a href="https://www.saint-gobain.hr/izolacija-poda">pod https://www.saint- gobain.hr/izolacija-poda</a> (Pristupljeno 13.08.2024.).....	52
Slika 8.3.4. Plivajući pod s toplinsko zvučnom izolacijom Izvor: <a href="https://www.saint-gobain.hr/izolacija-poda">pod https://www.saint- gobain.hr/izolacija-poda</a> (Pristupljeno 13.08.2024.).....	53
Slika 8.3.5. Apsorpcija zvuka gipskartonskim pločama Izvor: <a href="https://knauf.com/hr-HR/knauf-hrvatska/knauf-kompetencije/strucne-kompetencije-2/akustika">https://knauf.com/hr-HR/knauf- hrvatska/knauf-kompetencije/strucne-kompetencije-2/akustika</a> (Pristupljeno 14.08.2024.)...	53
Slika 8.3.6. Prigušenje zvuka gipskartonskim pločama Izvor: <a href="https://knauf.com/hr-HR/knauf-hrvatska/knauf-kompetencije/strucne-kompetencije-2/akustika">https://knauf.com/hr-HR/knauf- hrvatska/knauf-kompetencije/strucne-kompetencije-2/akustika</a> (Pristupljeno 14.08.2024.)...	54
Slika 8.3.7. D12 Knauf Cleaneo Akustik stropovi.....	54

Slika 8.3.8. Brtvljenje vratnog krila i poda Izvor: Z. Veršić: Arhitektonska akustika, Sveučilište u Zagrebu, Arhitektonski fakultet, Zagreb, 2017., (Pristupljeno 17.08.2024.).....	55
Slika 9.1.1. Varenje bitumenske trake Izvor: <a href="https://guttashop.hr/bitumenska-traka-guttabit-v-3">https://guttashop.hr/bitumenska-traka-guttabit-v-3</a> (Pristupljeno 15.08.2024.).....	57
Slika 9.2.1. Vrste bitumenske mase Izvor: R. Rukavina: Sustavi hidroizolacija za energetske obnovu zgrada, Hrvatska komora inženjera građevinarstva, Opatija 2019., (Pristupljeno 15.08.2024.).....	58
Slika 9.2.3. Nanošenje bitumenskog prednamaza Izvor: <a href="https://pravimajstor.hr/stranice/gradnja/kako-se-radi/Hidroizolacija">https://pravimajstor.hr/stranice/gradnja/kako-se-radi/Hidroizolacija</a> (Pristupljeno 15.08.2024.).....	60
Slika 9.2.3. Polaganje ljepenke otvorenim plamenom Izvor: <a href="https://guttashop.hr/guttabit-premaz-s-otapalom">https://guttashop.hr/guttabit-premaz-s-otapalom</a> (Pristupljeno 15.08.2024.).....	60
Slika 9.3.1. Elastomerna (EPDM) traka Izvor: <a href="https://shop.reca.hr/epdm-o-folie-aussen-dicke-0-75-mm-1-rolle-a-25-m-100-mm-x-25-m.html">https://shop.reca.hr/epdm-o-folie-aussen-dicke-0-75-mm-1-rolle-a-25-m-100-mm-x-25-m.html</a> (Pristupljeno 16.08.2024.).....	61
Slika 9.3.3. PVC termoplastična hidroizolacija Izvor: <a href="https://shop.pap-promet.hr/Katalog/Detailj/11898?Flagon-SR-PVC-folija-1,5mm-2,10x20m-siva-RAL-7047-DE-BROOF-T1-42-m2/rol">https://shop.pap-promet.hr/Katalog/Detailj/11898?Flagon-SR-PVC-folija-1,5mm-2,10x20m-siva-RAL-7047-DE-BROOF-T1-42-m2/rol</a> (Pristupljeno 16.08.2024.).....	63
Slika 9.3.4. Mehaničko učvršćenje Izvor: <a href="https://www.hkig.hr/docs/Opatija_2019/prezentacije/Lovor/13.%20Cjeloviti%20pristup%20gra%C4%91evinskoj%20fizici%20i%20energetskoj%20obnovi%20zgrada/13.6.%20Sustavi%20hidroizolacija%20za%20energetsku%20obnovu%20zgrada%20-%20Robert%20Rukavina.pdf">https://www.hkig.hr/docs/Opatija_2019/prezentacije/Lovor/13.%20Cjeloviti%20pristup%20gra%C4%91evinskoj%20fizici%20i%20energetskoj%20obnovi%20zgrada/13.6.%20Sustavi%20hidroizolacija%20za%20energetsku%20obnovu%20zgrada%20-%20Robert%20Rukavina.pdf</a> (Pristupljeno 16.08.2024.).....	63
Slika 9.3.5. Polaganje pričvrsnica Izvor: <a href="https://www.hkig.hr/docs/Opatija_2019/prezentacije/Lovor/13.%20Cjeloviti%20pristup%20gra%C4%91evinskoj%20fizici%20i%20energetskoj%20obnovi%20zgrada/13.6.%20Sustavi%20hidroizolacija%20za%20energetsku%20obnovu%20zgrada%20-%20Robert%20Rukavina.pdf">https://www.hkig.hr/docs/Opatija_2019/prezentacije/Lovor/13.%20Cjeloviti%20pristup%20gra%C4%91evinskoj%20fizici%20i%20energetskoj%20obnovi%20zgrada/13.6.%20Sustavi%20hidroizolacija%20za%20energetsku%20obnovu%20zgrada%20-%20Robert%20Rukavina.pdf</a> (Pristupljeno 16.08.2024.).....	63
Slika 9.3.6. Slika Slobodno polaganje Izvor: <a href="https://webgradnja.hr/clanci/hidroizolacije-od-sintetickih-folija/">https://webgradnja.hr/clanci/hidroizolacije-od-sintetickih-folija/</a> (Pristupljeno 16.08.2024.).....	64
Slika 9.3.7. Ručno varenje Izvor: <a href="https://www.inzenjer.net/proizvod/energy-ht1600-set-za-membrane/">https://www.inzenjer.net/proizvod/energy-ht1600-set-za-membrane/</a> (Pristupljeno 16.08.2024.).....	64
Slika 9.3.8. Varenje automatskim samohodnim strojem Izvor: <a href="https://www.polivar.hr/proizvodi_3.html">https://www.polivar.hr/proizvodi_3.html</a> (Pristupljeno 16.08.2024.).....	65

Slika 9.3.9. Nepravilna izvedba padova Izvor: <a href="https://webgradnja.hr/clanci/hidroizolacije-od-sintetickih-folija/695">https://webgradnja.hr/clanci/hidroizolacije-od-sintetickih-folija/695</a> (Pristupljeno 16.08.2024.) .....	65
Slika 9.3.10. CAD detalj odvodnje vertikalnim slivnikom Izvor: <a href="https://hrv.sika.com/hr/gradevina/krovovi/cad-detalji-za-fpo-i-pvc-membrane-na-balastnim-krovovima.html">https://hrv.sika.com/hr/gradevina/krovovi/cad-detalji-za-fpo-i-pvc-membrane-na-balastnim-krovovima.html</a> (Pristupljeno 16.08.2024.) .....	66
Slika 9.3.11. CAD detalj odvodnje odvodnim kanalom Izvor: <a href="https://hrv.sika.com/hr/gradevina/krovovi/cad-detalji-za-fpo-i-pvc-membrane-na-balastnim-krovovima.html">https://hrv.sika.com/hr/gradevina/krovovi/cad-detalji-za-fpo-i-pvc-membrane-na-balastnim-krovovima.html</a> (Pristupljeno 16.08.2024.) .....	66
Slika 9.3.12. CAD detalj vertikalne hidroizolacije na drvenoj podlozi montažne kuće Izvor: <a href="https://hr.fragmat.eu/solution/vertikalna-hidroizolacija-na-drvenoj-podlozi-montazne-kuce">https://hr.fragmat.eu/solution/vertikalna-hidroizolacija-na-drvenoj-podlozi-montazne-kuce</a> (Pristupljeno 17.08.2024.).....	67
Slika 9.4.1. Hidroizolacija kupaone tekućim hidroizolacijskim premazom Izvor: <a href="https://webgradnja.hr/clanci/hidroizolacije-kupaonica-polimer-cementnim-premazima/3892">https://webgradnja.hr/clanci/hidroizolacije-kupaonica-polimer-cementnim-premazima/3892</a> (Pristupljeno: 17.08.2024.).....	68
Slika 9.5.1. Postavljanje čepaste folije Izvor: <a href="https://www.masterplast.hr/blog/cepasta-folija-postavljanje/">https://www.masterplast.hr/blog/cepasta-folija-postavljanje/</a> (Pristupljeno 17.08.2024.) .....	69
Slika 9.6.1. Pjenasto staklo CG Izvor: <a href="https://www.emajstor.hr/clanak/127/Pjenasto_staklo">https://www.emajstor.hr/clanak/127/Pjenasto_staklo</a> (Pristupljeno 03.09.2024.).....	70
Slika 10.1. Primjer izjave o svojstvima (DoP) za mineralnu staklenu vunu Izvor: <a href="https://www.saint-gobain.hr/isover/proizvodi/akusto-4#documentation">https://www.saint-gobain.hr/isover/proizvodi/akusto-4#documentation</a> (Pristupljeno 17.08.2024.).....	71

## Popis tablica

Tablica 1 Toplinska provodljivost ( $\lambda$ ) [W/mK] različitih materijala Izvor: <a href="https://www.helios-deco.com/hr/savjeti-i-trikovi/odabir-fasade-razlike-u-toplinskoj-izolacijih/">https://www.helios-deco.com/hr/savjeti-i-trikovi/odabir-fasade-razlike-u-toplinskoj-izolacijih/</a> (Pristupljeno 11.08.2024.).....	<b>Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.</b>
Tablica 2 Usporedba ovčje vune s drugim izolacijskim materijalima Izvor: D. Držaić, M. Tomić, A. Džaja, I. Širić, B. Mioč: Mogućnost uporabe ovčje vune u građevinskoj industriji, Hrvatski veterinarski vjesnik, 2017., (Pristupljeno 12.08.2024.).....	22
Tablica 3 Tehnički podaci stiropora Izvor: <a href="https://www.scribd.com/document/334948793/Tablica-EPS-tehnicke-karakteristike-pdf">https://www.scribd.com/document/334948793/Tablica-EPS-tehnicke-karakteristike-pdf</a> (Pristupljeno 12.08.2024.).....	23
Tablica 4 Kemijska svojstva i (ne)postojanost Izvor: <a href="https://webgradnja.hr/specifikacije/384/kempor-ekspandirani-polistiren-stiropor-eps">https://webgradnja.hr/specifikacije/384/kempor-ekspandirani-polistiren-stiropor-eps</a> (Pristupljeno 12.08.2024.).....	24
Tablica 5 Tehničke karakteristike XPS-a Izvor: <a href="https://guttashop.hr/ekstrudirani-polistiren-xps-d50">https://guttashop.hr/ekstrudirani-polistiren-xps-d50</a> (Pristupljeno 12.08.2024.).....	28
Tablica 6 Usporedba staklene mineralne vune s drugim materijalima Izvor: <a href="https://hr.wikipedia.org/wiki/Staklena_vuna">https://hr.wikipedia.org/wiki/Staklena_vuna</a> (Pristupljeno 12.08.2024.) .....	32
Tablica 7 Svojstva aeregola Izvor: L. Budinščak: Materijali i toplinsko izolacijski materijali u zgradarstvu, Završni rad, Sveučilište Sjever, Varaždin, 2020., (Pristupljeno 13.08.2024). ....	40
Tablica 8 Vrste uloška Izvor: R. Rukavina: Sustavi hidroizolacija za energetske obnovu zgrada, Hrvatska komora inženjera građevinarstva, Opatija 2019.,(Pristupljeno 15.08.2024.) .....	58
Tablica 9 Karakteristike uloška Izvor: R. Rukavina: Sustavi hidroizolacija za energetske obnovu zgrada, Hrvatska komora inženjera građevinarstva, Opatija 2019.,(Pristupljeno 15.08.2024.).....	59

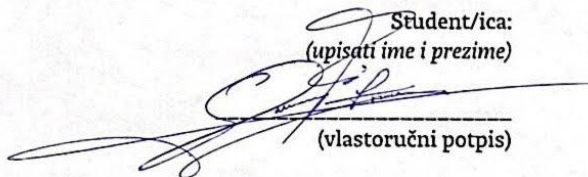


### IZJAVA O AUTORSTVU

Završni/diplomski/specijalistički rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, Fran Slunjski (*ime i prezime*) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog/specijalističkog (*obrisati nepotrebno*) rada pod naslovom Izolacijski materijali u zgradarstvu (*upisati naslov*) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:  
(*upisati ime i prezime*)



(vlastoručni potpis)

Sukladno članku 58., 59. i 61. Zakona o visokom obrazovanju i znanstvenoj djelatnosti završne/diplomske/specijalističke radove sveučilišta su dužna objaviti u roku od 30 dana od dana obrane na nacionalnom repozitoriju odnosno repozitoriju visokog učilišta.

Sukladno članku 111. Zakona o autorskom pravu i srodnim pravima student se ne može protiviti da se njegov završni rad stvoren na bilo kojem studiju na visokom učilištu učini dostupnim javnosti na odgovarajućoj javnoj mrežnoj bazi sveučilišne knjižnice, knjižnice sastavnice sveučilišta, knjižnice veleučilišta ili visoke škole i/ili na javnoj mrežnoj bazi završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice, sukladno zakonu kojim se uređuje umjetnička djelatnost i visoko obrazovanje.