

# Fasade, fasadni sustavi i izolacijski materijali

---

Cafuk, Alen

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:788565>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-30**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





**Sveučilište  
Sjever**

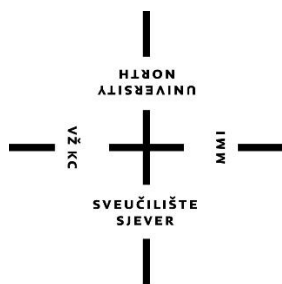
**Završni rad br. 436/GR/2021**

## **Fasade, fasadni sustavi i izolacijski materijali**

**Alen Cafuk, 1566/336**

Varaždin, rujan 2021.godine





# Sveučilište Sjever

**Odjel za Graditeljstvo**

**Završni rad br. 436/GR/2021**

## **Fasade, fasadni sustavi i izolacijski materijali**

**Student**

Alen Cafuk, 1566/336

**Mentor**

doc.dr.sc. Željko Kos

Varaždin, rujan 2021. godine

# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za graditeljstvo

STUDIJI preddiplomski stručni studij Graditeljstvo

PRISTUPNIK Alen Cafuk

MATIČNI BROJ 1566/336

DATUM 27.09.2021.

KOLEGIJI Zgradarstvo II

NASLOV RADA Fasade, fasadni sustavi i izolacijski materijali

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Facades, facade systems and insulation materials

MENTOR dr.sc. Željko Kos

ZVANJE docent

ČLANOVI POVJERENSTVA

1. prof.dr.sc. Božo Soldo
2. doc.dr.sc. Željko Kos
3. doc.dr.sc. Aleksej Aniskin
4. doc.dr.sc. Bojan Đurin
- 5.

VŽKC

MMI

## Zadatak završnog rada

BROJ 436/GR/2021

OPIS

Pristupnik u radu treba opisati ulogu i važnost toplinske ovojnice zgrade, te obraditi fasadne sustave i materijale od kojih se izvodi. Potrebno je opisati kvalitativne deficite i suficite materijala, naročito u odnosu na građevinsku fiziku.

U radu je potrebno obraditi sljedeće teme:

- Objasniti važnost energetske učinkovitosti, kao i planove RH u pogledu energetske učinkovitosti
- Objasniti mehanizme prijenosa topline i toplinski otpor građevinskih elemenata
- Prezentirati vrste fasada, te pojasniti njihov sustav i pravila izgradnje
- Prezentirati fizikalna svojstva toplinsko-izolacijskih materijala, osobito toplinsku provodljivost
- Objasniti pojavu toplinskih mostova, te utjecaj faktora oblika zgrade na potrebnu energiju za grijanje i hlađenje

ZADATAK URUČEN 19.04.2021.

POTPIS MENTORA



## **Predgovor**

Zahvaljujem mentoru doc.dr.sc. Željku Kos koji je motrio cijeli proces nastanka završnog rada i koji me svojim znanjem, savjetima i iskustvom usmjeravao kako da riješim probleme i zapreke koje su se pojavile tijekom nastanka završnog rada. Zahvaljujem se svim profesorima i asistentima Odjela za graditeljstvo Sveučilišta Sjever na utrošenom trudu, naporu, prenesenom znanju i vještinama tijekom studiranja. Na kraju najveća zahvala ide mojoj obitelji na pruženoj podršci tijekom mog cjelokupnog obrazovanja. Hvala !

## Sažetak

U završnom radu obrađeni su fasadni sustavi, te njihove prednosti i mane, te materijali koji se koriste kod izvedbe fasade. Naglasak je stavljen i na samu izvedbu fasade odnosno pravila izrade, a samim time i na tehničke propise. Razrađeni su materijali koji se koriste kao i njihove karakteristike. Naime, građevine također moraju biti energetske učinkovite, odnosno cilj je potrošiti manje energije za grijanje, hlađenje i rasvjetu. Treba napomenuti da energetske učinkovitost ne smijemo shvaćati kao štednju energije jer štednja zahtijeva određena odricanja, dok učinkovita upotreba energije nikada ne umanjuje dobre uvjete života i rada.

**Ključne riječi:** energetska učinkovitost, toplinska ovojnica, izolacijski materijali, gubitak topline

## Abstract

The graduate thesis describes facade systems and their advantages, disadvantages, and materials used in the construction of the facade. Emphasis is placed on the construction of the facade, the rules of construction, and thus on the technical regulations. The paper analyzes the materials used as well as their characteristics. Buildings must also be energy efficient, the goal is to consume less energy for heating, cooling and lighting. It should be noted that energy efficiency should not be presented as energy saving, because saving requires certain sacrifices, and while efficient use of energy never diminishes good living and working conditions.

**Key words:** energy efficiency, thermal envelope, insulating materials, heat loss

## Popis korištenih kratica

<b>EU</b>	Europska unija
<b>NN</b>	narodne novine
<b>IZO staklo</b>	izolacijsko staklo
<b>PVC</b>	poli(vinil-klorid)
<b>Low E staklo</b>	low emissivity staklo niske emisije
<b>HRN</b>	Hrvatske norme
<b>ETICS</b>	external thermal insulation composite system; povezani sustav za vanjsku toplinsku izolaciju
<b>EPS</b>	ekspandirani polistiren
<b>XPS</b>	ekstrudirani polistiren
<b>PUR</b>	poliuretanska pjena
<b>PIR</b>	poliizocijanurati
<b>VIP</b>	vakuum izolacijski paneli
<b>GFP</b>	gas filled panels plinom ispunjeni paneli
<b>HPL</b>	high Pressure Laminates laminati proizvedeni pod velikim pritiskom
<b>NASA</b>	National Aeronautics and Space Administration civilna avijacijska i svemirska administracija Sjedinjenih Američkih Država
<b>CO<sub>2</sub></b>	ugljikov dioksid



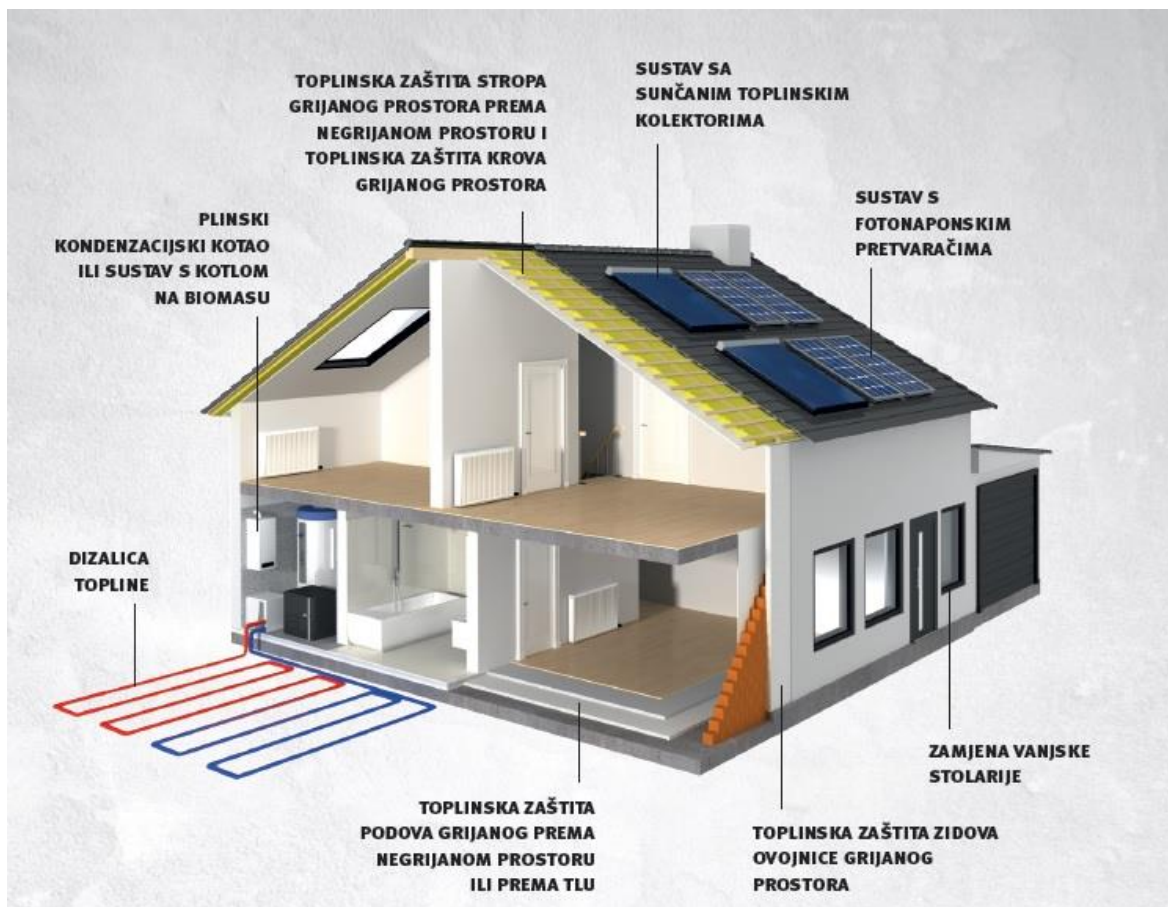
# Sadržaj

<b>1. Uvod</b> .....	1
<b>2. Energetska učinkovitost</b> .....	3
<b>2.1. Mehanizmi prijenosa topline i toplinski otpor</b> .....	6
<b>3. Vrste fasade</b> .....	10
<b>3.1. Klasične fasade</b> .....	10
<b>3.2. Kamene fasade</b> .....	11
<b>3.3. Termo žbuka</b> .....	12
<b>3.4. Toplinska fasada ( ETICS sustavi )</b> .....	12
<b>3.5. Proračun</b> .....	21
<b>3.6. Ventilirana fasada</b> .....	25
<b>3.7. Staklena fasada</b> .....	27
<b>4. Izolacijski materijali</b> .....	30
<b>4.1. Ekspandirani polistiren EPS (Stiropor)</b> .....	30
<b>4.2. Ekstrudirani polistiren XPS (Stirodur)</b> .....	31
<b>4.3. Poliuretanske pjene (PUR i PIR)</b> .....	32
<b>4.4. Mineralna vuna</b> .....	34
<b>4.5. Moderni izolacijski materijali</b> .....	38
<b>4.5.1. Aerogel</b> .....	38
<b>4.5.2. Plinom ispunjene ploče (Gas filled panels - GFP)</b> .....	40
<b>4.5.3. Vakuum izolacijski paneli (VIP)</b> .....	41
<b>4.6. Ekološki izolacijski materijali</b> .....	44
<b>5. Toplinski most</b> .....	46
<b>6. Faktor oblika zgrade</b> .....	49
<b>7. Zaključak</b> .....	50
<b>8. Literatura</b> .....	51
<b>9. Popis slika</b> .....	53

# 1. Uvod

Klimatske promjene koje se događaju postale su značajan problem zbog povećanja emisija staklenih plinova pa se graditeljski sektor okreće energetske učinkovitim i održivim metodama gradnje. Nedovoljna je svijest kako ljudi neodgovorno gospodare prirodom i prirodnim bogatstvima, no jasna je jedna činjenica, a to je brzina klimatskih promjena i preveliki pritisak na neobnovljive izvore energije koji nam osiguravaju život, uz to javlja se i problem zadovoljavanja sadašnjih, ali i budućih potreba za prirodnim bogatstvima. Gospodarenje energijom i očuvanje topline te održivost uporabe prirodnih izvora energije su temeljni zahtjevi za građevinu koje treba zadovoljiti tijekom cijelog životnog ciklusa građevine. Pri postizanju ovih ciljeva uvelike dolazi do izražaja toplinska ovojnica građevine, a da bi se postigla čim kvalitetnija rješenja dolazi do potrebe za usavršavanjem, povećanjem i certificiranjem većeg broja stručno osposobljenih radnika koji sudjeluju u nastanku građevine s niskom potrošnjom energije. Rast i razvoj industrije pridonosi stvaranju značajne količine stakleničkih i štetnih plinova koji negativno utječu na životni ciklus ljudi, životinja i biljaka. Fasada ili pročelje je dio građevine kojeg prvo uočimo odnosno fasada je vidljivi dio nekog objekta. Napretkom arhitekture i graditeljstva razvijale su se i fasade od oblika i načina izrade pa sve do izolacijskih materijala, a sve to da bi se privukla pažnja promatrača odnosno budućeg kupca. U većini slučajeva prvi dojam utječe na stvaranju cijele slike o nekoj zgradi, a osim estetske funkcije fasada ima i zaštitnu funkciju odnosno omogućuje toplinsku i zvučnu izolaciju, vatrootpornost, zaštitu od atmosferskih utjecaja, jakih temperaturnih naprezanja. Za fasadu možemo reći da je njena funkcija univerzalna tj. njena zadaća je ista bez obzira radi li se o obiteljskoj kući ili višekatnici. Zakon o gradnji govori da je jedan od temeljnih zahtjeva za građevinu gospodarenje energijom i očuvanje topline odnosno zakonom se određuje da u odnosu na vremenske prilike/neprilike potrošnja energije uslijed korištenja uređaja za grijanje, hlađenje i provjetravanje treba biti jednaka ili niža od dopuštene razine, a da za osobe koje obitavaju u građevini budu osigurani zadovoljavajući uvjeti za život [1]. Slika 1.1. prikazuje kompletnu toplinsku obnovu kuće uz korištenje sustava obnovljivih izvora energije kojim se zadovoljavaju 6. i 7. temeljni zahtjev za građevinu. Građevine također moraju biti energetske učinkovite tako da koriste što je moguće manje energije tijekom korištenja, što se ujedno dokazuje energetske certifikatom građevine. Energetske razred građevine računa se prema godišnjoj potrošnji toplinske energije po metru kvadratnom grijanog dijela građevine pri referentnim uvjetima [1]. Toplinski gubici kroz građevinu ovise o orijentaciji i geometriji

objekta, karakteristikama materijala korištenih pri izgradnji te koeficijentu toplinske provodljivosti odabranih materijala. Materijali koji se najčešće koriste kod izrade toplinske ovojnice zgrade su stiropor i mineralna vuna. Dobro toplinski izoliran objekt na kojem nema hladnih mostova, siguran je od pojave vlage na unutarnjim površinama i razvoja algi i plijesni na zidovima. Za trajnu i kvalitetnu toplinsku izolaciju potrebna je odgovarajuća izvedba izolacije prema svim pravilima i propisima struke. Kod izvedbe fasade treba obratiti pozornost na vremenske uvjete kao što su minimalne temperature  $+5^{\circ}\text{C}$ , fasada mora biti zaštićena od kiše, vjetrova i direktnog osunčanja. Slojevi koji čine fasadni sustav su od jednake važnosti kao i način na koji se ugrađuju jer kvalitetno izrađena fasada može ispuniti svoju zadaću, a neadekvatno izrađena fasada može biti financijski neisplativa. S druge strane ljudi su od davnih dana koristili materijale koje su pronašli u prirodi (kamen, drvo, slama) za izgradnju kuća, koristili sunčevu energiju, skupljali kišnicu za higijenu, piće i ostale životne potrebe, pa bi trebalo težiti odgovornim i učinkovitim korištenjem prirodnih resursa. Treba imati na umu da postoje ekonomski faktori koji uvelike utječu na izbor pojedinih komponenti proizvoda, gdje početna cijena ulaganja može biti manja, ali ne mora značiti da će ujedno biti i bolja, ali i obrnuto.



Slika 1.1 Energetska obnova [2]

## 2. Energetska učinkovitost

Energetska učinkovitost je najefikasniji način postizanja ciljeva održivog razvoja, drugim riječima veća energetska učinkovitost pridonosi smanjenju štetnih plinova u prirodu, otvaranju novih radnih mjesta i sigurnosti opskrbom energijom. Čelnici EU su 2007. godine zadali cilj smanjenja godišnje potrošnje energije u Europskoj uniji, te definirali smanjenje od 20 % do 2020. godine, a 2018. godine je u sklopu paketa "Čista energija za sve Europljane" postavljen novi cilj smanjenja potrošnje energije za najmanje 32,5 % do 2030. godine [3]. U Hrvatskoj pojam energetske učinkovitosti postaje aktualan ulaskom u Europsku uniju. Hrvatska se prema Europskim direktivama prilagodila načelima održivosti i pritom stavila naglasak na konkretne mjere čijom će se provedbom ostvariti zadani ciljevi povećanja energetske učinkovitosti te korištenja obnovljivih izvora energije te postepeno smanjivanje svih sektora potrošnje i proizvodnje energije. Krajem 2014. godine stupio je na snagu Zakon o energetske učinkovitosti kojem je glavna težnja smanjiti negativne utjecaje na ekosustav iz energetskog sektora, pospješiti sigurnost opskrbom energije, zadovoljiti potrebe korisnika energije i ispuniti međunarodne obveze Republike Hrvatske u sektoru smanjenja štetnih plinova, a da bi se to postiglo uvelike se pridodaje pažnja državnim potporama za korištenje mjera energetske učinkovitosti u svim područjima korištenja energije [3]. „ Plan energetskog razvoja Hrvatske do 2030. godine s pogledom na 2050. godinu uključuje viši postotak proizvodnje i korištenja obnovljivih izvora energije, bolju energetske učinkovitost i smanjenje emisije štetnih plinova [3]. Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost ima važnu funkciju na nacionalnoj razini u poticanju implementacije mjera uvećanja energetske učinkovitosti i na lokalnoj razini gospodarenje energijom [3]. Sredstvima Fonda realiziraju se projekti uporabe obnovljivih izvora energije i energetske obnove. Korisnici fondova mogu biti jedinice lokalne i područne samouprave, tvrtke, organizacije civilnog društva i građani, a pravo na subvencioniranje projekata ostvaruje se prijavom na javne natječaje i pozive uz pripadajuću dokumentaciju [3]. Pojam energetske učinkovitosti postaje aktuelan početkom dvadesetog stoljeća jer se prije nije posvećivalo dovoljno pažnje na ograničenost neobnovljivih energenata (nafta, ugljen, plin), zbog toga su danas posljedice visoka cijena i sve manje količine energenata. Znanost radi na usavršavanju i unapređivanju korištenja obnovljivih izvora energije, a najznačajniji su sunčeva energija, bioenergija, energija vjetra i energija morskih valova.



Slika 2.1 Prikaz gubitka topline pojedine dijelove građevine [4]

Na energetski razred utječu [4] :

- lokacija gdje se građevina nalazi (da li je zgrada u Varaždinu, Osijeku, Dubrovniku...)
- karakteristike i namjena građevina (funkcija zgrade - stan, kuća, poslovna )
- karakteristike toplinske ovojnice građevine (od kojih materijala su zidani zidovi, da li ima toplinske izolacije, kakve i koliko)
- karakteristike stolarije (vrsta okvira: PVC, drvo, aluminij, vrsta ostakljenja: Low E stakla, punjena argonom, obična stakla, IZO stakla )
- starost građevina
- orijentacija otvora
- zaštita prozora od sunca
- zrakopropusnost
- zaklonjenost zgrade (nezaklonjena, umjereno zaklonjena i zaklonjena zgrada)
- površina zidova prema negrijanim prostorima ( spremište, garaža, podrum, tavan...)
- površina zidova prema grijanim prostorima (susjedni stanovi)
- površine, volumeni i karakteristike grijanih i negrijanih prostora
- površina, vrsta i karakteristike otvora, po orijentacijama na pročeljima
- da li zgrada ima ili nema podrum (površine, volumen, otvori, karakteristike podruma)
- kako su izvedeni podovi, stropovi

- rješenja toplinskih mostova na građevini
- upotreba obnovljivih izvora energije, kakvih i postotak korištenja
- sustav grijanja prostora i zagrijavanja tople vode

Na slici 2.1 se vidi koliki postotak topline se gubi kroz pojedine dijelove građevine, a takvi gubici uvelike imaju utjecaja na energetska razred objekta. Za vrijeme energetskog certificiranja se detaljno provjeravaju i mjere sve nabrojene stavke, te niz drugih faktora koji utječu na učinkovitost građevine, te se temeljem prikupljenih i analiziranih podataka radi proračun godišnje potrebe toplinske energije za grijanje, pa se građevina s obzirom na potrošnju energije uvrštava u odgovarajući energetska razred (slika 2.2).

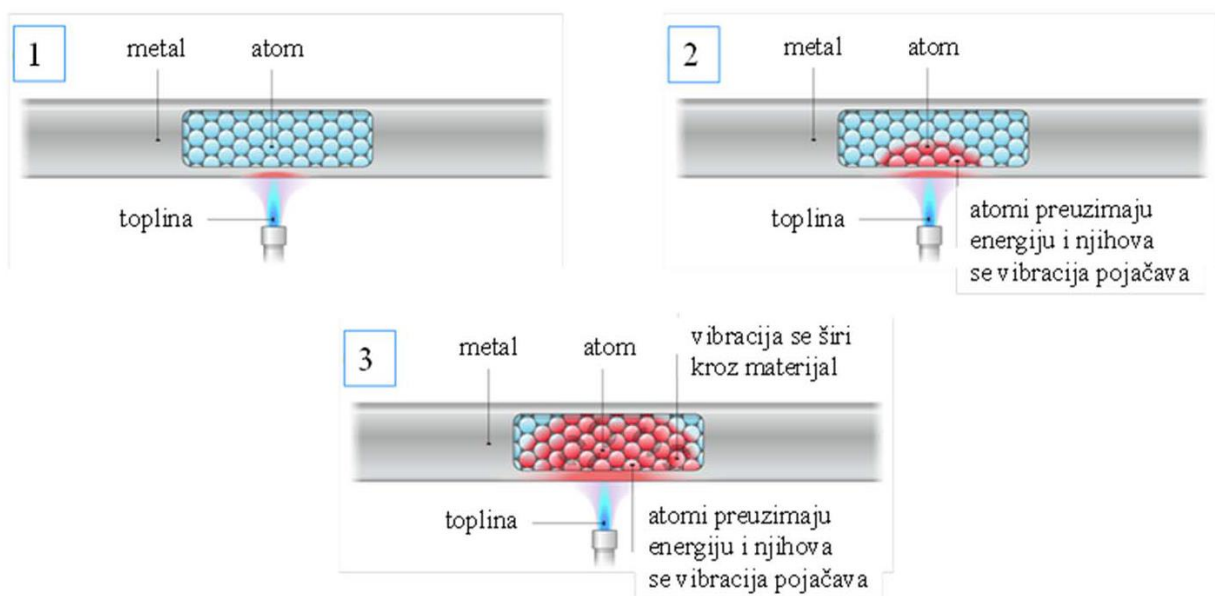


Slika 2.2 Popis energetskih razreda [4]

## 2.1. Mehanizmi prijenosa topline i toplinski otpor

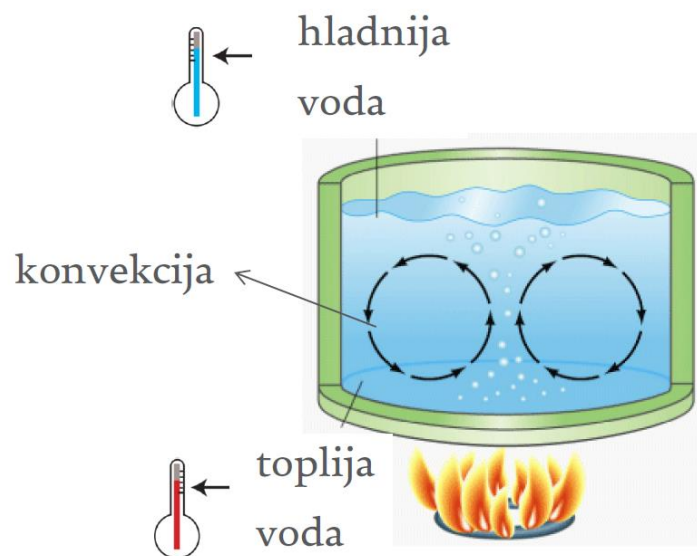
U fizikalnom pogledu energija se definira kao sposobnost nekog tijela da obavi rad na nekom putu. Prema zakonu o očuvanju energije, energija u zatvorenom sustavu ne može sama po sebi nestati, već prelazi iz jednog stanja u drugi oblik. Iz pogleda energetskega certificiranja nama je interesantna korisna energija, drugim riječima energija pretvorena u električnu energiju i toplinska za grijanje i hlađenje koju nastojimo dovesti do željenog prostora [5]. Toplina je definirana kao prijelazni oblik energije koji prelazi s tijela više na tijelo niže temperature. Toplina teži održavanju ravnoteže s hladnijim prostorom toplinskim tokom kroz ovojnicu grijanog prostora prema negrijanoj okolini [5]. Odabirom građevinskog materijala, radnjama i toplinskom izolacijom pokušavamo spriječiti uspostavljanje ove ravnoteže. Prijenos topline odvija se kondukcijom, konvekcijom te zračenjem.

Kada se toplina prenosi na razini atoma i molekula njihovim direktnim dodirnom tj. da se dio tijela zagrijava direktnim dodirnom s izvorom topline, a dalje se susjedni dijelovi zagrijavaju postepeno, takav način promjene temperature nazivamo kondukcija. Na slici 2.1.1 je prikazano grijanje jednog dijela metalnoga štapa i kako se toplina po štapu širi vođenjem. Brzina vođenja topline je veća što je veća temperaturna razlika, a ovisi o samoj tvari. Na mikro razini dolazi do kondukcije zbog brzine kretanja ili titranja atoma i molekula, te međusobnim kontaktom s okolnim atomima odnosno molekulama, a rezultat je prijenos dijela energije (topline) na okolinu.



Slika 2.1.1 Kondukcija [5]

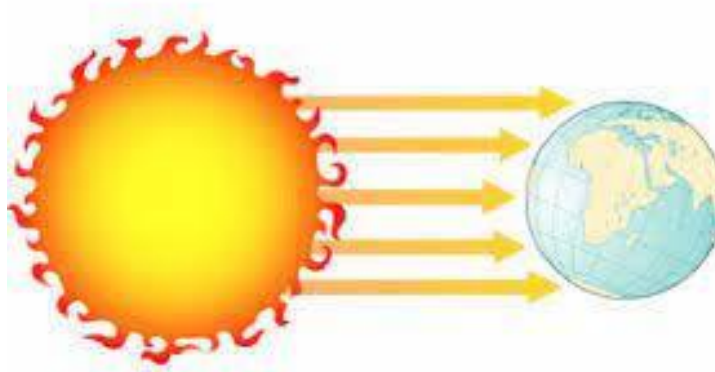
Prijelaz topline koji se događa između krutog tijela i tekućine u gibanju naziva se konvekcija. Pod tekućinom se smatra stanje tvari koje nije kruto ili plinovito. Vrijednost koeficijenta prijelaza topline konvekcijom ovisi o nizu faktora : obliku i veličini tijela, načinu strujanja (smjer toplinskog toka), brzini strujanja, temperaturi tekućine i stijenke te o karakteristikama tekućine koja struji uz površinu [5]. Konvekcija je vrtložni način prijenosa topline gdje se toplina prenosi molekulama što je vidljivo na slici 2.1.2. Specifična je za fluide u gibanju pri čemu se pod konvektivnim prijenosom topline ne podrazumijeva samo izmjena u masi fluida nego i izmjena topline između fluida i čvrste površine. Prijenos topline se odvija zbog gibanja toplih i hladnih dijelova fluida između područja različitih temperatura [5].



Slika 2.1.2 Konvekcija [5]

Proces razmjene topline koji se dešava između tijela različitih temperatura putem elektromagnetskih valova između kojih je proziran medij naziva se zračenje i prikazan je na slici 2.1.3 [5]. Glavna razlika prijenosa topline između prethodna dva načina i zračenja je da se širenje elektromagnetskih valova vrši bez materijalnog posrednika. Velika većina materijala je nepropusna za toplinsko zračenje, ali postoje materijali koji su propusni za upadna zračenja na pojedinim dijelovima elektromagnetskog spektra [5]. Primjer takovog materijala je staklo koje propušta svjetlosne zrake, a ne propušta infracrvene zrake. Ako stojimo blizu ugrijane peći, osjećat ćemo toplinu, iako je okolni zrak još hladan. Toplina se iz vrućeg tijela širi na sve strane nevidljivim zrakama. Voda i led su nepropusni za toplinske zrake odnosno oni ih apsorbiraju i zbog toga se zagrijevaju.





Slika 2.1.3 Zračenje [5]

Metoda koja je propisana normom HRN EN ISO 6946 radimo proračun ukupnog toplinskog otpora građevnog dijela. Proračun ukupnog toplinskog otpora se radi tako da računamo toplinski otpor svakog homogenog sloja i tome pribrojimo plošni toplinski otpor.

Toplinski otpor homogenih slojeva :

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (\text{m}^2\text{K/W}) \quad (1)$$

d - debljina građevinskog sloja

$\lambda$  - toplinska provodnost građevnog sloja

Proračun ukupnog toplinskog otpora građevnog dijela koji se sastoji od homogenih slojeva.

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

$R_1, R_2, \dots, R_n$  - otpor provođenja topline pojedinog građevinskog sloja

$R_{si}$  - unutarnji plošni otpor prijelaza topline

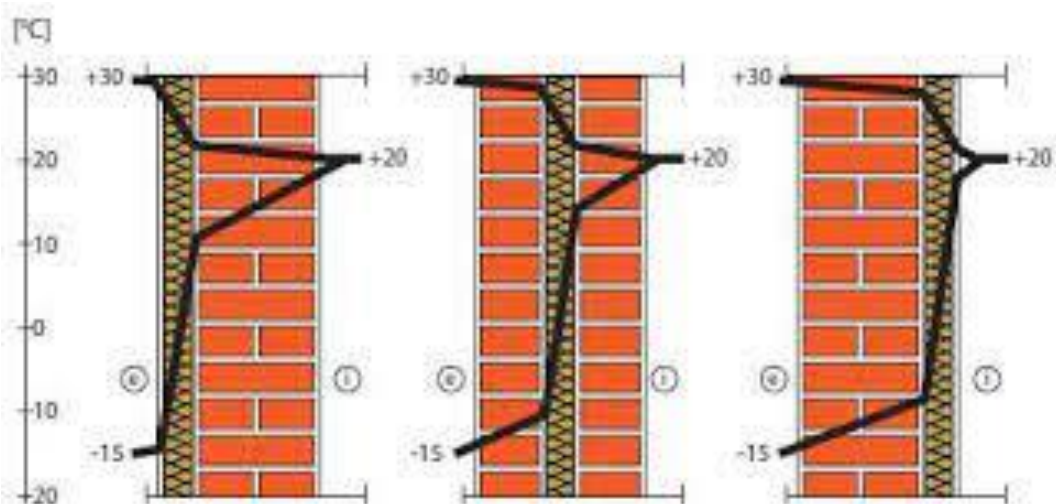
$R_{se}$  - vanjski plošni otpor prijelaza topline

Recipročna vrijednost ukupnog toplinskog otpora predstavlja koeficijent prolaska topline.

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (\text{W/m}^2\text{K}) \quad (3)$$

$R_T$  – ukupni toplinski otpor

Toplinska svojstva pojedinih slojeva ne ovise samo o debljini nego i o redoslijedu postavljanja. Redoslijed slojeva utječe na raspored temperatura između pojedinih slojeva zida. Ako je toplinska izolacija postavljena s hladnije strane, u zimskom će periodu uslijed toplinskog otpora izolacije, nosivi dio konstrukcije biti na poprilično visokoj temperaturi, a ako toplinsku izolaciju postavimo s unutrašnje strane koja je toplija, cijeli nosivi dio zida će biti na niskoj temperaturi (slika 2.1.4) [6]. Izloženost građevnih elemenata niskim temperaturama povezujemo sa pojavom vlage (kondenzacije) unutar nosive konstrukcije, a time i oštećenja koja su uzrokovana pojavom vlage. Izolacijom zida s vanjske strane nosivi zid je znatno zaštićeniji i javljaju se manje oscilacije temperature nego kod izolacije s unutrašnje strane. Izolacija s unutrašnje strane prikladna je za prostor koji se grije povremeno i kojeg je potrebno brzo zagrijati. Najviši postotak topline objekti gube kroz samu ovojniju građevine koju čine krov, otvori, vanjski zidovi i zidovi i podovi koji su u kontaktu s tlom (podrumski zidovi) [6].

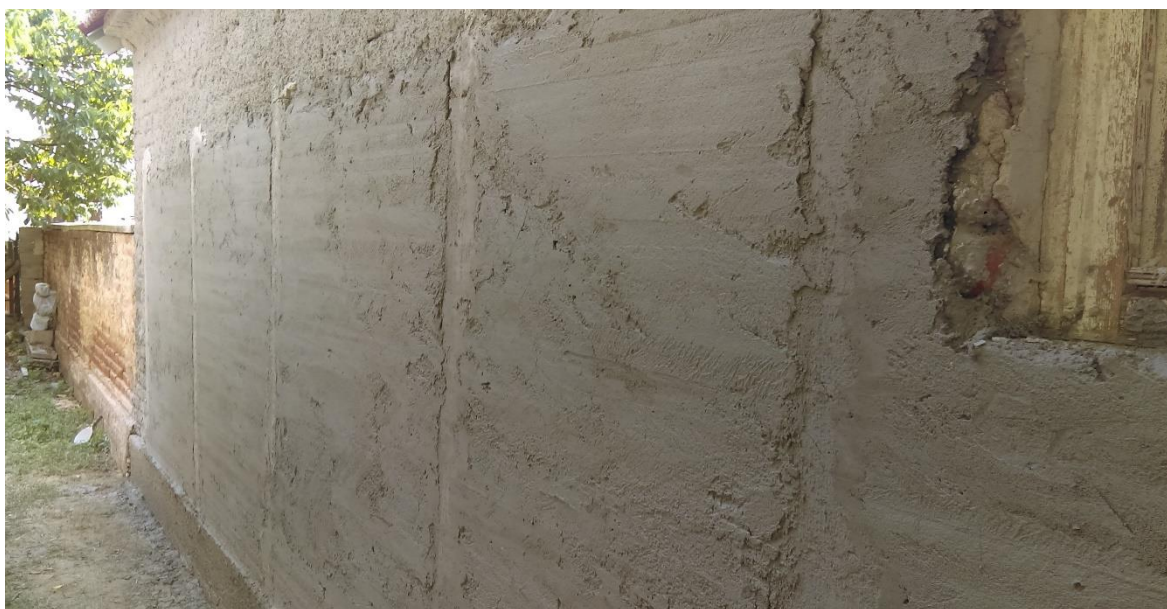


Slika 2.1.4 Utjecaj položaja izolacije na temperaturu zida [6]

### 3. Vrste fasade

#### 3.1. Klasične fasade

Klasične fasade drugim riječima vapneno cementne fasade se izvode, kao što i sam naziv govori vapneno cementnom žbukom. Klasična žbuka (fasada) nema funkciju toplinske izolacije objekta nego je njena funkcija estetska i zaštita vanjskih zidova od vremenskih utjecaja. Na slici 3.1.1 vidljivo je kako se na čistu površinu prvo nabaca cementni špric, ali s manjim udjelom vapna radi lakšeg prijanjanja, zatim se izrađuju vodilice od morta koje služe za lakše i preciznije izravnjanje žbuke koja se radi od pijeska, vapna, cementa i vode. Na određenim mjestima danas je moguće koristiti staklenu mrežicu za armiranje fasade zbog bolje povezanosti elemenata npr. na kutevima, spojevima. Taj početni proces naziva se grubo žbukanje, na kojega se nanosi fini sloj žbuke od vapnenog ili vapneno-cementnog morta koji se zatim zagladi i nakon što se osuši, nanosi se dekorativni sloj odnosno prirodna mineralna žbuka.



Slika 3.1.1 Klasična žbuka [7]

U današnje vrijeme se strojno žbuka što zbog bržeg izvođenja, što zbog manjka radne snage, ali ove fasade se sve manje koriste osim u nekim situacijama koje zahtijevaju klasičnu fasadu. Klasična fasada se danas najčešće koristi kod sanacije pročelja na starim objektima tj. na zaštićenim kulturnim dobrima. S obzirom na to da nije bilo cementa za vrijeme građenja kulturnih dobara, danas se kod sanacije nastoje koristiti vapnene žbuke. Zbog loših toplinskih karakteristika ove se fasade sve manje rade, ali su kvalitetne i dugotrajne.

## 3.2. Kamene fasade

Kamene fasade rade se od prirodnog kamena koji može biti klesani ili rezani i umjetnog kamena koji se radi od betona ili kamenih konglomerata. Prirodni kamen se od davnih vremena koristi za izradu fasade odnosno prvo je bio dostupan samo u cjelovitom obliku i koristio se za zidanje građevina (slika 3.2.1). Kako je tehnologija napredovala pojednostavnilo se vađenje, rezanje, obrada i transport kamena, a strojevi i alati postali su jeftiniji, zastupljeniji, jednostavniji i brži. Ovakva fasada je trajnija od one prekrivene žbukom jer je kamen vrlo otporan materijal, kamene obloge mogu pokriti cijeli objekt ili samo neki dio objekta.



Slika 3.2.1 Kamena fasada [8]

Prirodni i umjetni kamen su približno iste težine, pa o njihovom postavljanju ovisi u većini slučajeva težina i veličina obloga. U slučaju ako kamen koristimo kao oblogu fasade, trebamo biti svjesni da to samo po sebi nije dovoljna izolacija, te da treba napraviti odgovarajuću toplinsku ovojnicu, a kod toga nastaje problem pričvršćivanja kamenih obloga naročito ako postoji ventilirani sloj. Postavljanje je moguće na dva načina, a to je suhim (slika 3.2.2) i mokrim (slika 3.2.3) postupkom. Mokrim postupkom se kamene ploče direktno ugrađuju na pročelje vezivnim sredstvom, a suhim postupkom se kamena fasada ugrađuje pomoću potkonstrukcije ili sidrenjem. Ovaj tip fasade je poprilično skup zbog svoje zahtjevnosti pričvršćivanja kamenih obloga, potkonstrukcije od nehrđajućeg čelika, koji je također skup, velike težine fasade, potrebne mehanizacije i opreme za montažu te na kraju i možda najvažnije zbog visoke cijene kvalitetnog kamena kao što je granit i mramor.



Slika 3.2.2 Mokri postupak [9]



Slika 3.2.3 Suhi postupak [9]

### 3.3. Termo žbuka

Termo žbuka je tvornički gotovi toplinsko izolacijski mort s hidrauličkim vezivom, granulama stiropora i aditivima. Ovaj tip fasade izvodi se ručno ili strojno na istom principu kao i klasična žbuka prvo se izvodi početni sloj koji osigurava prionjivost sljedećeg sloja tj. grube žbuke, nakon sušenja grubog sloja se izvodi završni tj. dekorativni sloj, žbuka se najčešće nanosi u debljini od 3 do 6 cm. Ne primjenjuje se za žbukanje sokla i vlažnih zidova, ni kao podloga za oblogu keramikom. Kod ovog tipa fasade koeficijent toplinske provodljivosti  $\lambda$  iznosi od 0,17 do 0,09 W/mK ovisno o proizvođaču gotove smjese. Iako je koeficijent toplinske provodljivosti dosta povoljan ne znači da je ovaj tip fasade najbolji izbor jer kao što piše na početku to nije homogeni materijal već mješavina i kao taka nema sva svojstva jednaka u svim presjecima, ali njezini tehnički podaci su dati od strane proizvođača i mi ih uzimamo kao takve. Iako je bolja od klasične žbuke nije najzastupljeniji tip fasade, jer ne daje krajnje rezultate kao npr. toplinska fasada od stiropora, vune.

### 3.4. Toplinska fasada ( ETICS sustavi )

ETICS sustavi toplinske izolacije su dugotrajno ekonomičniji jer pružaju mogućnost uštede na grijanju i hlađenju građevine, što na kraju i je cilj same fasade. Danas se najčešće za zadovoljavanje uvjeta uštede energije i toplinske zaštite vanjskih zidova koriste povezani sustav za vanjsku toplinsku izolaciju ( engl. External thermal insulation composite system –

ETICS ). „Prema hrvatskim normama HRN EN 13499 i HRN EN 13500, definicija ETICS sustava glasi : Na gradilištu izveden sustav koji se sastoji od tvornički proizvedenih proizvoda. Isporučuje ga proizvođač kao potpuni sustav i sadržava najmanje sljedeće sustavu prilagođene komponente:mort za lijepljenje i/ili mehaničko pričvršćenje,toplinsko-izolacijski materijal,mort za armaturni sloj,staklenu mrežicu,završno-dekorativnu žbuku. Sve se komponente sustava odabiru ovisno o specifičnosti sustava i podloge” [10]. Uz estetski zadatak toplinske ovojnice imaju još jedan važniji cilj, a to je toplinska izolacija. Zimi sprječava gubitak topline iz objekta, a ljeti sprječava da toplina ulazi u objekt. U današnje vrijeme stavljen je veliki naglasak na uštedu energije i smanjenje zagađenosti planeta Zemlje,a odabir fasade je jako dobar put ka boljem i zdravijem životu.Zbog toga je ovaj tip fasade vrlo popularan,zato jer je moguće steći i državne potpore i sredstva za obnovu toplinske ovojnice koja može donijeti i do 40% uštede na troškovima hlađenja i grijanja,a uz to pruža ugodano stanovanje u objektu. Uz toplinska svojstva ETICS sustavi imaju i bolju zvučnu izolaciju i pružaju zaštitu konstrukciji od velikih toplinskih naprezanja tj. rastezanja i skupljanja. ETICS sustav u pravilu nastaje u četiri koraka : lijepljenje, postavljanje izolacijskog materijala i dodatno pričvršćavanje, izrada armaturnog sloja te nanošenje dekorativnog sloja, pri čemu treba paziti na ugradnju svih komponenti jer u konačnici stručno izrađena fasada jamči kvalitetu ETIC sustava. Tijekom čitave izvedbe, sušenja i stvrdnjavanja temperatura podloge, materijala i okoline mora biti minimalno +5 °C jer na temperaturi nižoj od +5 °C dolazi do prestanka vezanja i sušenja materijala, osim ako je proizvođač naglasio da su materijali upotrebljivi i do 0 °C. Nepovoljne vremenske prilike kao temperature iznad +30 °C, visoka relativna vlažnost zraka, vjetar i izravno zračenje sunčeve svjetlosti mogu promijeniti svojstva materijala tijekom obrade [10].

1.Slojevi ETICS sustava [10] (slika 3.4.1):

A) Polimer cementno ljepilo

Lijepljenje se vrši gotovim, tvornički predgotovljenim polimer-cementnim mortom ili pastoznim disperzijskim ljepilom. Glavna zadaća morta je osigurati dobru čvrstoću prionjivosti na raznim podlogama te da stvori čvrstu vezu između podloge i izolacijskog materijala. Izolacijski materijal je potrebno još pričvrstiti mehaničkom vezom tj. pričvršnicom.

B) Izolacijski materijal

Zadaća izolacijskog materijala je toplinska zaštita zidova od pretjeranog zagrijavanja konstrukcije i unutrašnjosti objekta ljeti te gubitka topline zimi. Najčešće upotrebljavani

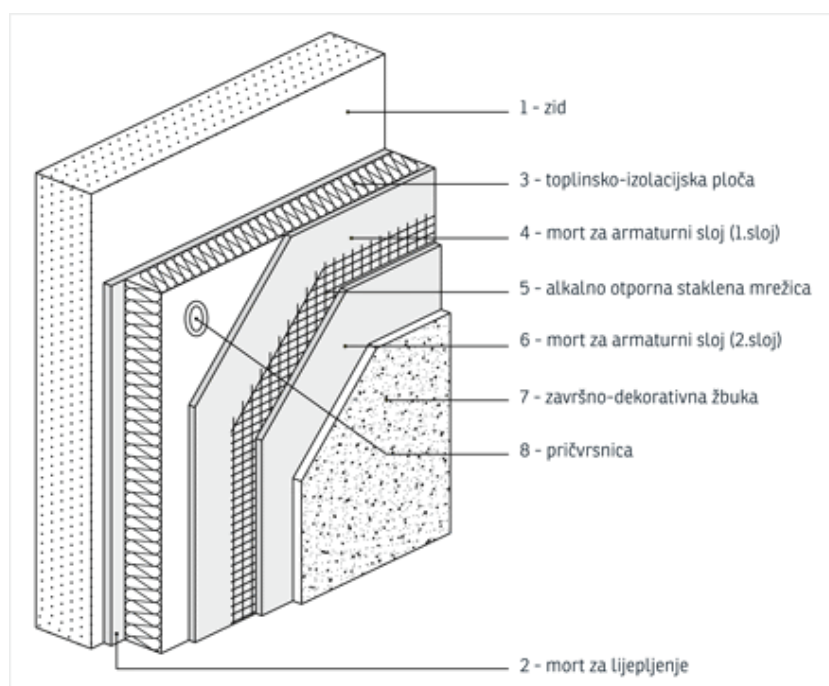
izolacijski materijali kod izrade ETICS sustava su ekspanzirani polistiren (EPS) i mineralna vuna, a u području prskanja vode koristi se ekstrudirani polistiren (XPS). Za izradu ETICS sustava moguće je koristiti i druge toplinsko izolacijske materijale kao što su poliuretanske ploče (PUR), pluto, ploče od laganih drvenih vlakana ili ploče od konopljinih vlakana.

#### C) Polimer cementno ljepilo sa armaturnom mrežicom

Armaturni sloj ETICS sustava sastoji se od staklene mrežice koja se lagano utiskuje u mort za armaturni sloj odnosno polimer cementno ljepilo. Glavna funkcija armaturnog sloja je sprječavanje pukotina zbog mehaničkih napreznja koja nastaju zbog izloženosti ETICS sustava atmosferilijama, mehaničkim udarima te površinskim napreznjima. Karakteristike armaturnog sloja moraju ispuniti zahtjeve fleksibilnosti kako bi se premostila navedena napreznja, vodoodbojnosti i paropropusnosti zbog sprečavanja nastanka kondenzata unutar konstrukcije tijekom cijele godine. Kod postizanja ovih ciljeva armaturni i dekorativni sloj imaju najvažniju ulogu.

#### D) Dekorativni sloj

Dekorativni sloj ETICS sustava čini premaz emulzijom i dekorativna žbuka, koja se razlikuje o tipu korištenog veziva, a može biti plemenita mineralna žbuka, silikonska, silikatna, silikatno-silikonska i akrilna žbuka. Za dobivanje različitih tipova tekstura i struktura žbuka (po želji investitora) potrebno je odabrati veličinu zrna i gore navedenog veziva.

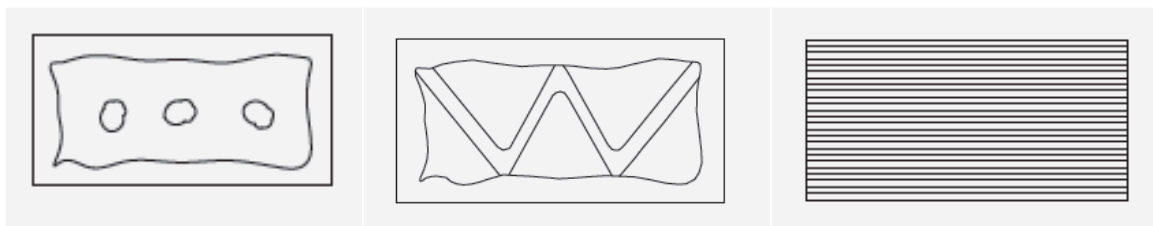


Slika 3.4.1 Slojevi ETICS sustav [10]

2. Izvođenje ETICS sustava na vanjske nosive zidove od [10]:

- šuplje i pune blokove (blokovi od letećeg pepela i agregata) u skladu s HRN EN 771-3
- beton u skladu s HRN EN 206-1 – porasti beton u skladu s HRN EN 771-4
- cementno vezane blokove s drvenom strugotinom, betonskom jezgrom, sa ili bez integrirane dodatne izolacije u skladu s HRN EN 15498
- OSB ploče
- Cement - vlaknaste ploče
- Gips – vlaknaste ploče (za sve ploče je važno da im površina zadovoljava uvjete sukladno normi HRN EN 13986 )

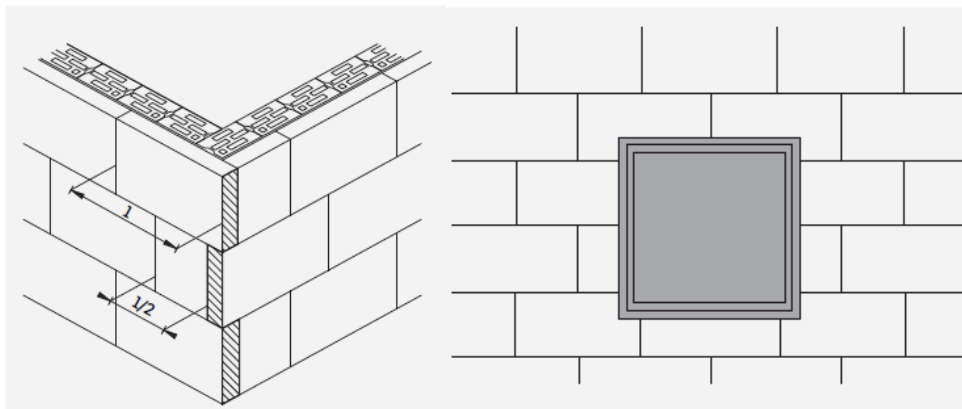
Izolacijske ploče postavljaju se odozdo prema gore tako da su spojene bez fuga i povezane uzdužnim izmjeničnim vezom kao i kod zidanja opekom. Zbog nesavršenosti izolacijskih ploča moguće je da će se pojavljivati fuge, fuge do 4 mm je dopušteno popunjavanje PUR pjenom, a fuge od 4 mm treba popuniti izolacijskim materijlom koji koristimo. Prilikom nanošenja ljepila na izolacijske ploče treba paziti da ne dolazi do strujanja zraka između podloge i izolacijskog materijala da bi se izbjegao "efekt dimnjaka" i treba ravnomjerno pritisnuti izolacijsku ploču na podlogu da nebi došlo do deformacije [10]. Ljepilo se može nanositi točkastom metodom po rubu ili točkasto u sredini i metodom potpuno pokravnog nanošenja što je vidljivo na slici 3.4.2 Nanosi se u trakama širine oko 5 cm te po sredini najmanje tri točke koje su promjera 15 cm, a najveća debljina ljepila ne smije biti veća od 15 mm drugim riječima prema uputama proizvođača. Ljepilo se može nanositi ručno ili strojno, kod strojnog nanošenja ljepila također nanosimo po rubovima, a točke mijenjamo s linijama koje moraju biti u obliku slova W [10]. Također ljepilo je moguće nanijeti i po cijeloj površini izolacijske ploče tako da nazubljenim gleterom razmažemo po cijeloj površini. [10] Ljepljenje izolacijskih ploča na spoju sa kosim krovom preporuča se metodom "floating-buttering" te spoj s krovom treba oblikovati prema kosini krovišta. Metoda "floating-buttering" izvodi se tako da prvo nanesimo ljepilo nazubljenim gleterom okomito na ploču, a zatim nazubljenim gleterom nanesimo ljepilo vodoravno na podlogu te postavimo ploču.



Slika 3.4.2 Shematski prikaz nanošenja ljepila [10]



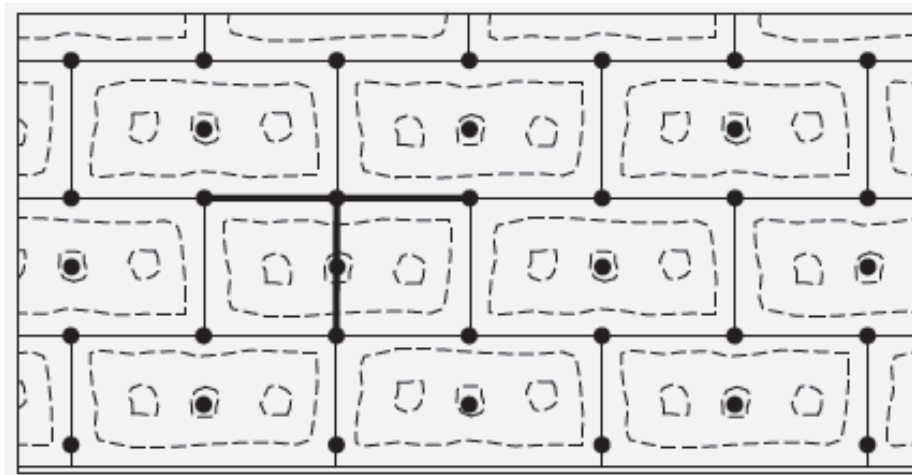
Prilikom postavljanja ploču treba pritisnuti na podlogu da bi došlo do prionjivosti ljepila, ploče i podloge, ali treba pritisnuti nježno da ljepilo nebi došlo u fuge. Na uglovima objekta smiju se koristiti cijele ili polovice izolacijskih ploča koje se na rubovima moraju obavezno naizmjenice preklapati što je prikazano na slici 3.4.3. Priključni komadi nebi smjeli biti manji od 15 cm i treba pripaziti da prilikom rezanja ploče rez bude pod pravim kutem da nebi ostala široka fuga. Dijelovi ploča koje strše van gabarita treba odrezati nakon dva do tri dana nakon dovoljnog stvrdnjavanja ljepila. Fuge ploča ne smiju biti u razini s rubovima otvora, jer ne dolazi do dobre povezanosti sustava, a na slici 3.4.3 je prikazano pravilno postavljanje izolacijskih ploča oko otvora. Ako je potrebno uz jednoslojno postavljanje izolacijskih ploča moguće je postavljanje i u dva sloja. U situaciji sa dva sloja izolacijskih ploča, prvi sloj se postavlja na ovdje opisan način, a drugi sloj ploča lijepi se punoplošno na prvi sloj uz naizmjenično preklapanje, a ako treba dodatno mehanički pričvrstiti, pričvrstnice moraju prolaziti kroz oba sloja izolacijskih ploča [10].



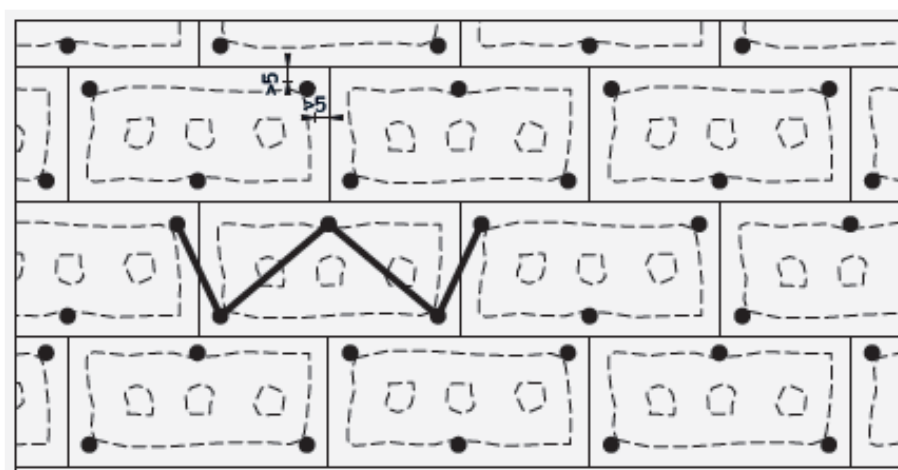
Slika 3.4.3 Shematski prikaz postavljanja izolacijskih ploča [10]

Ljepljenje izolacijskih ploča treba biti dobro izvedeno da bi se osigurala trajna veza toplinske izolacije i podloge koje je izvedeno samo ljepljenjem ili ljepljenjem i dodatnim mehaničkim pričvršćivanjem koje se ujedno izvodi i zbog opterećenja izazvanim vjetrom [10]. Ima dosta primjera gdje je nažalost došlo do oštećenja fasada odnosno odvajanja fasade zbog utjecaja vjetra i zbog nažalost nepravilnog postavljanja izolacijskog materijala i premalog broja ili nedostataka pričvrstnica. Mehaničke pričvrstnice trebaju zadovoljavati kategoriju opterećenja za odgovarajuću podlogu u skladu sa smjernicama ETAG 014 (A-beton, B-puna opeka, C-šuplja opeka, D-lagani beton, E-porobeton). Osnovna funkcija je preuzeti vlačno opterećenja urokovana vjetrom. Opterećenje vjetrom ovisi o geografskom položaju odnosno brzini vjetra, visini građevine, kategoriji terena i nadmorskoj visini [10]. Kod ožbukanih površina, starogradnje, zgrada iznad 22 m i sustava sa većom masom od 30 kg/m<sup>2</sup> obavezna je kombinacija ljepljenja ploča i mehaničkog pričvršćivanja. Nakon stvrdnjavanja ljepila može se

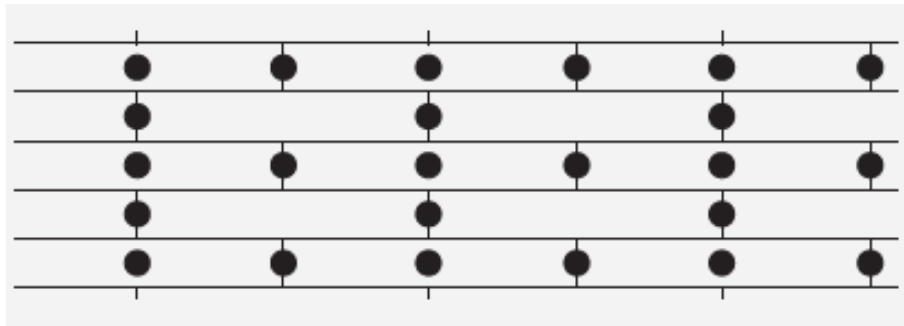
pristupiti mehaničkom pričvršćivanju ploča. Područje prskanja vodom i dodira s tlom izvodi se najčešće sa stirodurom koji je isto potrebno mehanički pričvrstiti, ali tako da pričvrsnice ne prolaze kroz hidroizolaciju. Shema postavljanja pričvrsnica odabire se ovisno o vrsti izolacijskog materijala. Na slici 3.4.4 je prikazana T-shema koja se koristi pri pričvršćivanju sustava s EPS-om, gdje je pričvrsnice postavljaju u sredinu ploče i na mjestima dodira vertikalne i horizontalne fuge. Slika 3.4.5 prikazuje W-shemu koja se koristit kod pričvršćivanja ploča mineralne vune, gdje je razmak rozete od ruba ploče oko 5 cm, a slika 3.4.6 prikazuje način postavljanja pričvrsnica kod sustava s lamelama. Ovisno o odabranom modelu moguće je sidrenje sa 6, 8, 10 i 12 pričvrsnica na 1 m<sup>2</sup>. Kod postavljanja mehaničkih pričvrsnica treba pripaziti da se pričvrsnice postavljaju nakon što je ljepilo otvrdnulo, nakon postavljanja treba provjeriti dali su pričvrsnice čvrsto usidrene u podlogu, te koje nisu čvrsto usidrene i koje su previše utisnute treba ukloniti i postaviti nove, a nastale rupe treba popuniti izolacijskim materijalom [10].



Slika 3.4.4 T shema postavljanja pričvrsnica [10]

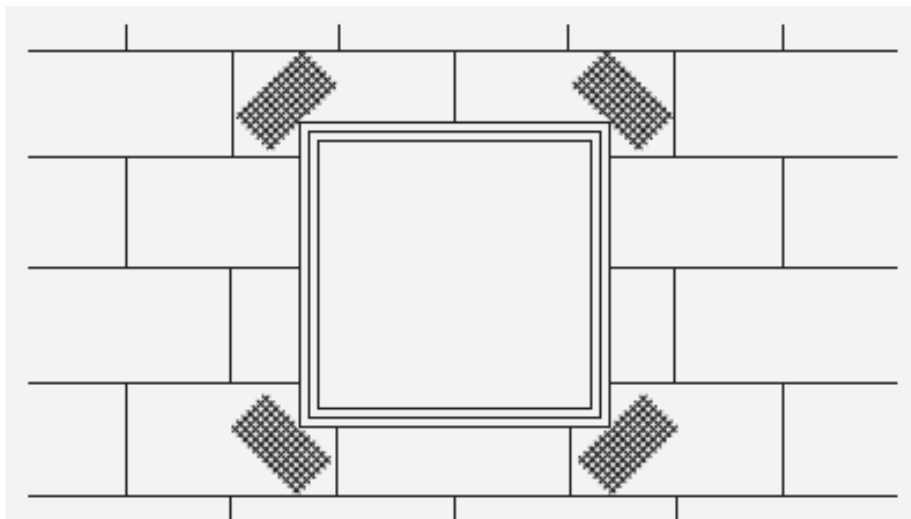


Slika 3.4.5 W shema postavljanja pričvrsnica [10]



Slika 3.4.6 Shema postavljanja pričvrsnica kod susatava sa lamelama [10]

Armaturni sloj je jedan od najvažnijih dijelova toplinskih sustava jer osigurava otpornost na vanjske utjecaje, te ga treba nanjeti oprezno uz pridržavanje pravila struke. Trebao bi se izvesti najkasnije 14 dana od ljepljenja izolacijskog materijala. Prema odabranom sustavu i vrsti toplinske izolacije, postoje različita ljepila za armaturni sloj, te postoji ljepilo za ljepljenje i postoji ljepilo za izravnanje, pa bi u svakoj fazi trebalo koristiti određeni cementni mort (ljepilo) [10]. Na uglovima otvora treba obavezno izvesti dijagonalno armiranje pod kutom od  $45^\circ$  koje se izvodi tako da se staklena mrežica polaže u svježi armaturni mort, a to treba izvesti prije punoplošnog polaganja armaturne mrežice što je zorno prikazano na slici 3.4.7. Na svim uglovima također prije punoplošnog polaganja armaturne mrežice treba postaviti rubne profile da bi se dobila povezanost sustava, ali također i vizualno ljepši kut bez krivudanja.



Slika 3.4.7 Dijagonalno armiranje [10]

Pravilna izvedba detalja toplinske izolacije odnosi se na obradu spojeva s otvorima na građevini tj. treba ih izvesti u elastičnom spoju odnosno treba osigurati radni prostor (rešku) za širenje materijala da napetosti koje su uzrokovane širenjem nebi utjecale na fasadni sustav. Inače dolazi do pojave pukotina na tim mjestima pa zatim ulaska vode koja se zaledi i što na

kraju dovodi do pucanja sustava [10]. Radni prostor se osigurava korištenjem špaletnih profila koji su ujedno i uvjet za dobivanje kvalitetne i trajne fasade. Sve spojeve i prodore kroz ETICS sustav treba izvesti odgovarajućim profilima i brtvama kako bi sustav bio zaštićen od prodora vlage i nametnika. Nakon toga slijedi nanošenje armaturnog sloja na cijelu površinu objekta, koji se izvodi u dva koraka [10]. Prvo se nanosi ljepilo na izolaciju zatim je preporučeno pročešljati ljepilo zubčastim gleterom da bi se dobila odgovarajuća debljina armaturnog sloja i zbog pozicioniranja staklene mrežice. Na pripremljenu podlogu umeće se staklena mrežica laganim pritiskom gleterom odozgo prema dolje, najmanji preklop staklene mrežice mora biti 10 cm i prilikom izravnjanja treba pripaziti da se nebi pojavili nabori mrežice. Drugi korak je nanošenje morta za armiranje najkasnije 24 sata nakon postavljanja armaturne mrežice. Debljina armaturnog sloja mora biti barem 1 mm, a na preklapanju mrežice debljina mora biti otprilike 0.5 mm.

Zatim nanosimo pretpremaz koji mora biti uskalden s vrstom odabrane dekorativne žbuke, u nekim situacijama pretpremaz je moguće izostaviti ako mort za armaturni sloj ima isto vezivo kao i dekorativna žbuka. Nakon što se armaturni sloj i pretpremaz osuši, može se krenuti na nanošenje završno-dekorativnog sloja, ali treba pripaziti na vremenske uvjete (kiša-ispiranje dekorativnog sloja, jaki vjetar-prašina, jako sunce-pre brzo sušenje). Prilikom nanošenja dekorativnog sloja obavezno treba imati potrebnu količinu žbuke kao i dovoljan broj fasadera da se cijela površina izvede bez prekida, drugim riječima treba stalno nanositi materijal da bi se postigao dobar vez bez odudaranja u nijansi, debljini što je prikazano na slici 3.4.8. Najvažnija funkcija dekorativnog sloja je zaštita svih slojeva od atmosferskih utjecaja. Kod odabira nijanse boje potrebno je pripaziti na parametar koji označava stupanj refleksije boje. Brojčana oznaka refleksije nalazi se uz svaku nijansu i označuje u kojem se postotku reflektira sunčeva svjetlost. Tako crna boja ima stupanj refleksije 0 tj. upija svu sunčevu svjetlost, a bijela boja ima stupanj refleksije 100 odnosno reflektira svu svjetlost, a ostale boje raspoređene su unutar raspona od 0 do 100, drugim riječima što je stupanj refleksije viši nijansa je svjetlija pa se fasada manje zagrijava. Tako znatno smanjujemo termička naprezanja u armaturnom i dekorativnom sloju, a samim time i umanjujemo rizik od pojave pukotina jer kod povezanih sustava toplinske izolacije termička naprezanja preuzimaju poprilično tanki armaturni i dekorativni sloj zato što ne dolazi do prijenosa topline s gornjih slojeva na podlogu. Kako bi smanjili taj rizik stupanj refleksije mora biti veći od 25 za akrilatnu i silikonsku žbuku, 30 za silikatnu žbuku, 50 za plemenitu tankoslojnu mineralnu žbuku (1,5 do 4 mm) [10]. Dekorativnu žbuku možemo nanositi ručno ili strojno, a to ovisi o vrsti žbuke te uputama proizvođača. Fasadnu površinu možemo koncipirati na razne načine ovisno o želji investitora i vrsti

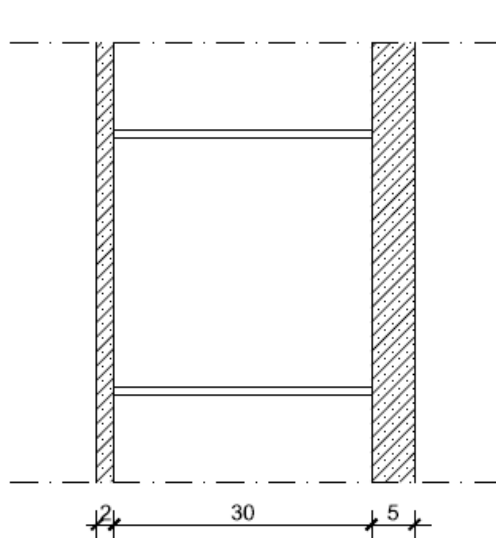
materijala što postizemo odgovarajućim alatom i slijedeći upute proizvođača. Kod područja prskanja vodom i dodira s tlom treba obratiti pažnju na probleme uzrokovane vlagom tj. vodom i mehaničke zahtjeve koje treba adekvatno riješiti odnosno treba koristiti međusobno usklađene komponente koje odredi proizvođač. Oborinske i kapilarne vode treba odvesti dalje od pročelja (sabirnu jamu), a da bi to postigli preporučuje se izrada drenažnog sloja. Debljina izolacijskog materijala u visini sokla može biti jednako debela, ali obično je nešto tanja od one na fasadi odnosno izolacija sokla nesmije biti deblja od one na fasadi. Nakon sušenja armaturnog sloja i prepremaza nanosimo dekorativnu žbuku veće vodoodbojnosti zato što je sokl područje koje je jako izloženo vodi, pa se ne preporučuju dekorativne žbuke na bazi mineralnog veziva, ali ako ipak želimo koristiti takvu žbuku njezinu površinu trebamo dodatno premazati vodoodbojnim premazom. Pastozne dekorativne žbuke treba prije nanošenja promiješati sporotirajućim mikserom, da bi dobili odgovarajuću konzistenciju, materijal se smije prrijediti dodavanjem iste količine vode na svaku kantu [10]. Podloga, veličina površine, struktura i granulacija te vrsta i kut osvjetljenja utječe na nijansu i ukupni dojam [10]. Praškaste dekorativne žbuke za određenu plohu treba izmješati u jednoj posudi kako bi mješavina postala homogena i pritom se potrebne količine svježe pripremljenog materijala mogu raspodijeliti u manje posude, ali uz ponovno dodatno miješanje. Ako je sustava izveden po propisima i pravilima struke ne bi se trebala pojavljivati ozbiljna oštećenja. Vrlo vjerojatno je moguće da će se tokom godina pojaviti vidljive promjene na fasadi samo u estetskom smislu, ali ne smije se dogoditi da bude narušena funkcionalnost sustava [10]. Pod redovitim održavanjem podrazumijeva se periodičko prebojavanje fasade (izblijedjelost fasade, razne želje investitora...).



Slika 3.4.8 Nanošenje dekorativnog sloja [7]

### 3.5. Proračun

Z1-Z1



	$\lambda$ [W/mK]	$d$ [cm]
1. vapneno-cementna žbuka	1,00	2,0
2. šuplja blok opeka	0,390	30,0
3. vapneno cementna žbuka	1,00	5,0

$\theta_{int} = +20$  °C (unutarnja projektna temperatura)  
 $t_1 = -10$  °C  
 $t_2 = 0$  °C  
 $\Delta T = 30$  °C (prosječna dnevna temperatura)  
 $A = 400$  m<sup>2</sup>  
 $t = 744$  h (prosinac, 31 dan)

Slika 3.5.1 Presjek zida Z1-Z1 [7]

Toplinski otpor za svaki sloj zida računa se prema formuli (1)

$$R_1 = \frac{d_1}{\lambda_1} = \frac{0,02 \text{ m}}{1,00 \text{ W/mK}} = 0,02 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

$$R_2 = \frac{d_2}{\lambda_2} = \frac{0,30 \text{ m}}{0,390 \text{ W/mK}} = 0,769 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

$$R_3 = \frac{d_3}{\lambda_3} = \frac{0,05 \text{ m}}{1,00 \text{ W/mK}} = 0,05 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

Ukupni toplinski otpor računa se prema formuli (2)

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R_T = 0,839 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

Zbog pojednostavljenja proračuna zanemareni su površinski plošni otpori

Koeficijent prolaska topline računa se prema formuli (3)

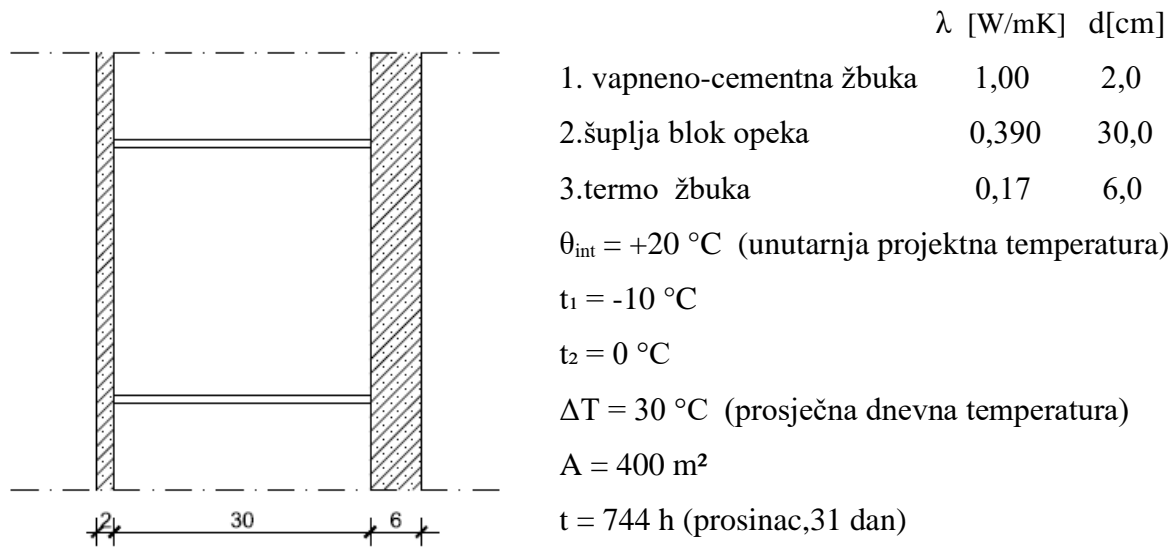
$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,839 \text{ m}^2 \text{ K/W}} = 1,192 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Potrebna toplinska energija za jedan mjesec računa se po formuli (4)

$$Q_{H,nd,m} = U \cdot A \cdot \Delta T \cdot t = 1,192 \text{ W/m}^2 \text{ K} \cdot 400 \text{ m}^2 \cdot 30 \text{ °C} \cdot 744 \text{ h} \quad (4)$$

$$Q_{H,nd,m} = 10642176 \text{ W/h} = 10642,18 \text{ kWh}$$

Z2-Z2



Slika 3.5.1 Presjek zida Z2-Z2 [7]

Toplinski otpor za svaki sloj zida računamo prema formuli (1)

$$R_1 = \frac{d_1}{\lambda_1} = \frac{0,02 \text{ m}}{1,00 \text{ W/mK}} = 0,02 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

$$R_2 = \frac{d_2}{\lambda_2} = \frac{0,30 \text{ m}}{0,390 \text{ W/mK}} = 0,769 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

$$R_3 = \frac{d_3}{\lambda_3} = \frac{0,06 \text{ m}}{0,17 \text{ W/mK}} = 0,353 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

Ukupni toplinski otpor računamo prema formuli (2)

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R_T = 1,142 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

Zbog pojednostavljenja proračuna zanemareni su površinski plošni otpori

Koeficijent prolaska topline računa prema formuli (3)

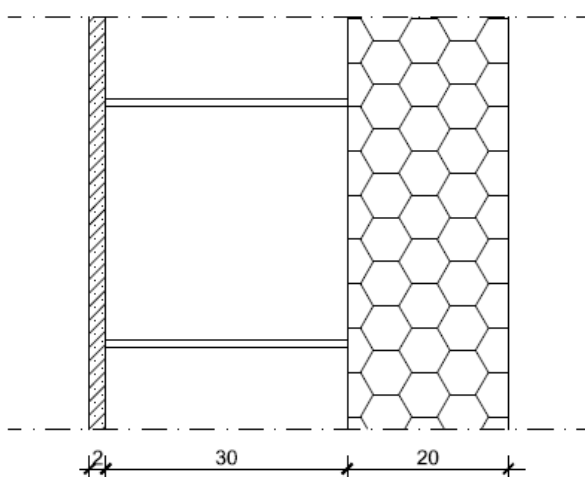
$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{1,142 \text{ m}^2 \text{ K/W}} = 0,876 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Potrebna toplinska energija za jedan mjesec računa se po formuli (4)

$$Q_{H,nd,m} = U \cdot A \cdot \Delta T \cdot t = 0,876 \text{ W/m}^2\text{K} \cdot 400 \text{ m}^2 \cdot 30 \text{ }^\circ\text{C} \cdot 744 \text{ h} \quad (4)$$

$$Q_{H,nd,m} = 7820928 \text{ W/h} = 7820,93 \text{ kWh}$$

Z3-Z3



Slika 3.5.3 Presjek zida Z3-Z3 [7]

	$\lambda$ [W/mK]	$d$ [cm]
1. vapneno-cementna žbuka	1,00	2,0
2.šuplja blok opeka	0,390	30,0
3.polimer cementno ljepilo	0,900	0,50
4.EPS	0,037	20,0
5.polimer cementno ljepilo	0,900	0,50
6.silikatna žbuka	0,900	0,20

$\theta_{int} = +20 \text{ }^\circ\text{C}$  (unutarnja projektna temperatura)

$t_1 = -10 \text{ }^\circ\text{C}$

$t_2 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$

$\Delta T = 30 \text{ }^\circ\text{C}$  (prosječna dnevna temperatura)

$A = 400 \text{ m}^2$        $t = 744 \text{ h}$  (prosinac, 31 dan)

Toplinski otpor za svaki sloj zida računa se prema formuli (1)

$$R_1 = \frac{d_1}{\lambda_1} = \frac{0,02 \text{ m}}{1,00 \text{ W/mK}} = 0,02 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

$$R_2 = \frac{d_2}{\lambda_2} = \frac{0,30 \text{ m}}{0,390 \text{ W/mK}} = 0,769 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

$$R_3 = \frac{d_3}{\lambda_3} = \frac{0,005 \text{ m}}{0,900 \text{ W/mK}} = 0,006 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

$$R_4 = \frac{d_4}{\lambda_4} = \frac{0,20 \text{ m}}{0,037 \text{ W/mK}} = 5,405 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

$$R_5 = \frac{d_5}{\lambda_5} = \frac{0,005 \text{ m}}{0,900 \text{ W/mK}} = 0,006 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

$$R_6 = \frac{d_6}{\lambda_6} = \frac{0,002 \text{ m}}{0,900 \text{ W/mK}} = 0,002 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

Ukupni toplinski otpor računa se prema formuli (2)

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6$$

$$R_T = 6,208 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

Zbog pojednostavljenja proračuna zanemareni su površinski plošni otpori

Koeficijent prolaska topline računa se prema formuli (3)

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{6,208 \text{ m}^2 \text{ K/W}} = 0,161 \text{ W/m}^2\text{K}$$



Potrebna toplinska energija za jedan mjesec računa se po formuli (4)

$$Q_{H,nd,m} = U \cdot A \cdot \Delta T \cdot t = 0,161 \text{ W/m}^2\text{K} \cdot 400 \text{ m}^2 \cdot 30 \text{ }^\circ\text{C} \cdot 744 \text{ h} \quad (4)$$

$$Q_{H,nd,m} = 1437408 \text{ W/h} = 1437,41 \text{ kWh}$$

Zadatak je bio usporediti gubitak topline odnosno izračunati potrebnu energiju za grijavanje kuće zadane površine za tri vrste vanjskog zida: zid sa klasičnom žbukom, termo žbukom i kontaktnom fasadom. Iz proračuna možemo vidjeti koliko je energije potrebno za zagrijavanje objekta do željenih 20 °C za svaki tip zida. Već prije računanja potrošnje energije možemo naslutiti koji zid će biti bolji jer imamo zadani koeficijent toplinske provodljivosti ( $\lambda$ ) za pojedine slojeve, drugim riječima što je koeficijent toplinske provodljivosti manji, materijal bolje zadržava toplinu ili kod izračuna toplinskog otpora, što je toplinski otpor veći materijal također bolje zadržava toplinu. Kod presjeka Z1-Z1 je potrebno najviše energije za zagrijavanje pa ujedno zaključujemo da je to najlošiji tip presjeka, za presjek Z2-Z2 je nešto manja potrošnja energije, ali unazad 15-tak godina kada se još nije toliko posvećivalo pažnje na energetske učinkovitost to je bilo dosta "dobro" smanjenje. Kod presjeka Z3-Z3 je vidljiv drastičan pad potrošnje energije što je ujedno i cilj same kontaktne fasade.

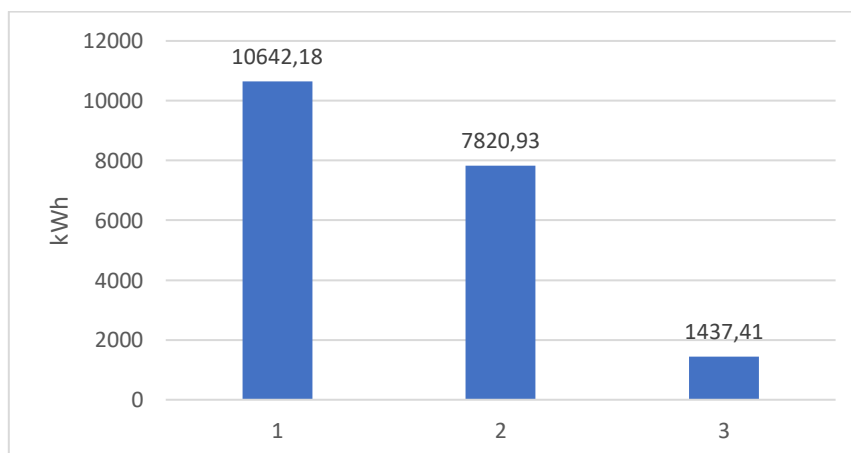
Potrošnja energije potrebne za grijanje objekta prikazuje slika 3.5.4

$$\text{Z1 } Q_{H,nd,m} = 10642,18 \text{ kWh}$$

$$\text{Z2 } Q_{H,nd,m} = 7820,93 \text{ kWh}$$

$$\text{Z3 } Q_{H,nd,m} = 1437,41 \text{ kWh}$$

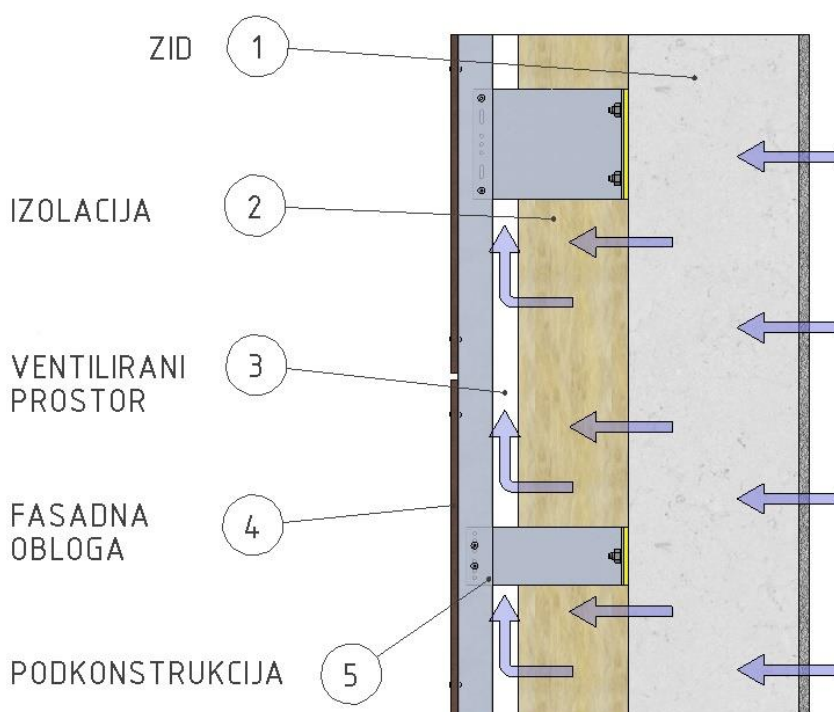
Iz ponuđenih rezultata vidljivo je da je potrebna energija za zagrijavanje objekta sa zidom Z2 umanjena za 26,51 % za razliku od zida Z1, a postotak umanjenja potrošnje energije za zid Z3 iznosi 86,49%. Na rezultatimo je itekako vidljivo koja je najbolja opcija, jest da je početna investicija veća, ali se višestruko isplati na samoj potrošnji energije što ujedno doprinosi boljoj energetske učinkovitosti, a samim time i očuvanju eko sustava te kvaliteti života.



Slika 3.5.4 Grafikon potrošnje energije [7]

### 3.6. Ventilirana fasada

Ventilirana fasada predstavlja fasadni sustav kod kojeg se između toplinske izolacije i završne obloge tj. fasadne obloge nalazi ventilirani sloj. Takve fasade u većini slučajeva sadrže izolacijski sloj s vanjske strane nosivog zida. Fasadne obloge pričvršćene su na nehrđajuću potkonstrukciju, a one mogu biti od različitih materijala. Prostor namijenjen strujanju zraka nalazi se između fasadne obloge i toplinske izolacije, a njegova širina je obično 2 do 4 cm te je vidljiv na slici 3.6.1. U ljetnom i zimskom razdoblju doprinosi boljoj učinkovitosti toplinske izolacije. Fizikalna pojava kretanja zraka često se naziva “efekt dimnjaka”, tako se pod utjecajem termičkih i dinamičkih sila zrak kreće odozdo prema gore, a što je ventilirani sloj uži to će kretanje zraka biti usmjerenije. Raščlanjivanje vanjskog sloja izbjegavamo korištenjem paropropusnih folija, staklenim voalom, povećanom tj. dvojnomo gustoćom mineralne vune kod koje je gušći dio okrenut prema hladnijoj odnosno vanjskoj strani konstrukcije.



Slika 3.6.1 Dijelovi ventilirane fasade [11]

Vremenski utjecaji na ventilirane fasade [12]:

1. za vrijeme kiše : fasadna obloga slijeva kišu i brani konstrukciju, zidovi su suhi i trajniji
2. za vrijeme visokih temperatura : vrući zrak se diže prema vrhu, hladni ulazi kroz zračni prostor i hladi vanjske stijenke zgrade, potreba za hlađenjem je manja
3. za vrijeme niskih temperatura : zrak struji kroz ventilirani prostor i grije se pod utjecajem temperature zgrade, vanjski zidovi ostaju suhi, a potreba za grijanjem je manja

Izvođenje sustava ventilirane fasade (slika 3.6.2) [12] :

1. Metalni nosači nosive podkonstrukcije učvršćuju se na konstrukciju vanjskog zida prema rasteru pomoću vijaka ili sidra. Metalni nosači bi trebali biti od nehrđajućeg čelika, a koriste se i aluminijski nosači jer su pristupačniji i jeftiniji. Pozicija i broj nosača potkonstrukcije ovise o očekivanom opterećenju i modularnosti završne obloge.

2. Izolacijske ploče se postavljaju jedna do druge bez razmaka kako bi se spriječila pojava toplinskih mostova, ali i osigurala toplinska, zvučna i protupožarna zaštita konstrukcije vanjskog zida. Izolacijske ploče pričvršćujemo s minimalno 2 pričvršnice po ploči.

3. Nosiva podkonstrukcija od uzdužnih i poprečnih profila:

Uzdužni profili pričvršćuju se na aluminijske nosače podkonstrukcije kako bi preuzeli projektom definirana opterećenja sustava.

Poprečni profili se postavljaju s vanjske strane izolacijskog materijala da bi se osigurala kontinuirana toplinska, zvučna i protupožarna zaštita te da bi izbjegli pojavu toplinskih mostova koji mogu biti uzrokovni nosivom podkonstrukcijom. Raster postavljanja poprečnih profila zadan je geometrijom završne obloge i projektiranim horizontalnim opterećenjem odnosno vjetrom.

4. Završna obloga za ventilirane fasade može biti od raznovrsnih materijala koji zadovoljavaju zahtjeve na trajnost, otpornosti na sunčeve zrake i smrzavanje. Razni tipovi završne obloge imaju različito djelovanje na podkonstrukciju i razlikuju se po načinu pričvršćavanja i geometriji zbog toga odabir završne obloge znatno utječe na projektiranje kompletnog sustava. Neki od materijala koji se mogu koristiti za završnu oblogu su: prirodni kamen, keramika, metal, cigle, HPL ploče, aluminij kompozitne ploče, bakar, umjetni kamen, drvo.



Slika 3.6.2 Izvođenje ventilirane fasade [12]

Ventilirane fasade su vrlo popularne zbog funkcionalne sigurnosti i zato što dizajneri tj. arhitekti imaju raznovrsne dizajnerske mogućnosti koje pružaju ove fasade. Na slici 3.6.3 vidimo da ovaj sustav pruža veliku paletu završnih fasadnih obloga, zbog toga je moguće dizajn prilagoditi okolini ili prema zahtjevima investitora, a isto pruža mogućnost kombinacije različitih materijala. Sustav ventilirane fasade je manje osjetljiviji na oštećenja zato što je

izolacijski sloj strukturno odvojeni od završnog sloja. Prednosti ventiliranih fasadnih sustava: kratko, ekonomično vrijeme korištenja skele, nema dodatnih troškova zbrinjavanja otpada tijekom faze montiranja, dugoročnije očuvanje vrijednosti i povećanje vrijednosti zgrade, jednostavan popravak odnosno zamjena u slučaju oštećenja, visok energetska razred [12].

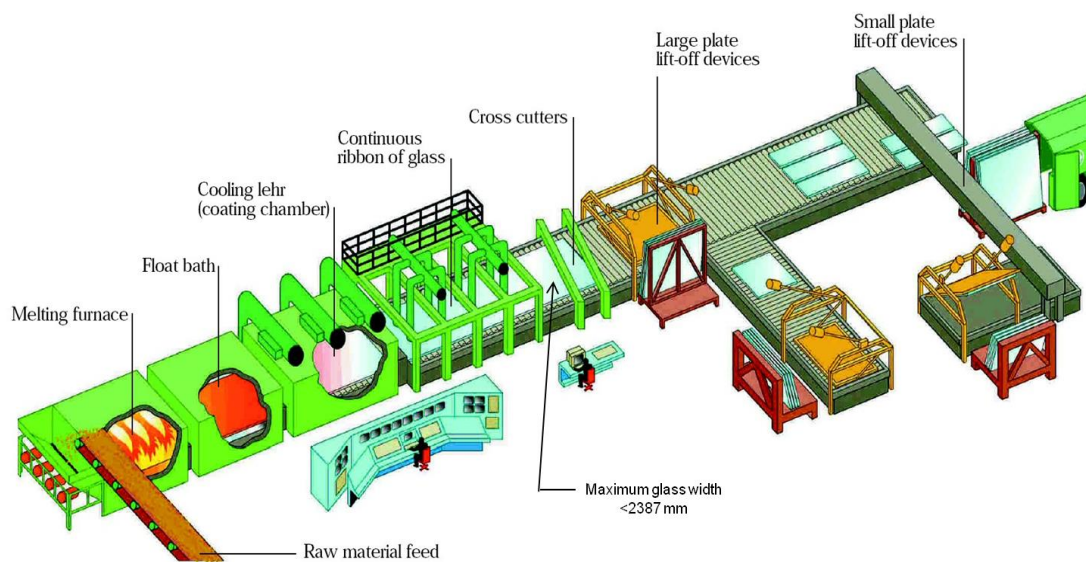


Slika 3.6.3 Primjer ventilirane fasade [7]

### 3.7. Staklena fasada

Staklene fasade su najčešće viđene na poslovnim zgradama i luksuznim stambenim objektima usto staklena fasada objektu daje poseban moderan i atraktivan izgled, što je vidljivo na slici 3.7.2. Ove fasade daju veću estetsku vrijednost objekta ali i energetska učinkovitost koju ostvarujemo korištenjem modernih stakala koja imaju visoka izolacijska svojstva. Dobra izolacijska svojstva staklenih pročelja postizemo dvostrukim ili trostrukim staklenim panelom koji premazujemo odgovarajućim premazima. Kod staklenih fasada koriste se strukturni stakleni paneli koji se sastoje od aluminijskog okvira i dva ili više stakala između kojih struji zrak. Zbog transparentnosti staklene fasade prolazi velika količina svjetlosti koja osigurava zdravo i ugodno radno okruženje odnosno boravak. Ove fasade su zbog svoje male težine u odnosu na betonska, kamena pročelja idealna za izgradnju visokih objekata i drugih građevina. Primjeri visokih i atraktivnih građevina koje imaju stakleno pročelje su: Burj Khalifa, Burj Al Arab, Taipei. Najbitniji segment staklenog pročelja je staklo koje mora biti isključivo industrijsko staklo tj. ravno staklo. Slika 3.7.1 prikazuje proizvodnju industrijskog stakla

postupkom tečenja, gdje se tali smjesa kvarcnog pijeska, vapnenca, željeznog oksida i sode zatim kreće kositrena kupka iz koje se izvlače kontinuirane staklene trake. Potom se staklene trake žare i valjaju radi povećanja čvrstoće i uklanjanja zaostalih napreznja [13]. Nakon što se staklene trake ohlade, režu se na standardne panele ili prema zahtjevima kupaca. Danas se industrijsko staklo proizvodi u više vrsta: žareno, kaljeno, laminirano, zrcalno, rastersko, extra čisto staklo i premazom ojačana stakla. Stakla koja se danas koriste su vrlo napredna i imaju složenu strukturu, a mogu se naći u više varijanta, a ovisi o karakteristikama lokacije na kojoj se građevina nalazi tj. gradi.



Slika 3.7.1 Proizvodnja industrijskog stakla [13]

Postoje toplinski izolirana stakla (low-E stakla) koja se najčešće postavljaju na unutarnju stranu strukturnog panel. Ovaj tip stakla ima na jednoj strani metalni premaz koji odbija toplinu natrag u prostor i time reducira gubitak topline. Toplinski izolirana stakla najčešće se koriste za staklene fasade zbog svojih energetske svojstva i usto su ekološki prihvatljiva. Koriste se stakla za kontrolu solarnog zagrijavanja. Smanjenje zagrijavanja postiže se zatamnjenjem jedne strane ili nanošenjem tankog prozirnog sloja zato je ovaj tip stakla smanjuje potrebu za klimatizacijom prostora, a samim time i energetske troškove [13]. Zatim postoje laminirana stakla koje se dobiju kombiniranjem različitih tipova stakla i premazivanjem različitim premazima. Postoji i samočistivo staklo s hidrofobnim premazima koji omogućuju samočistivu površinu. Premaz na ovim staklima ima dvije funkcije, a to je foto-kataliza (djelovanjem svjetla razbija se prljavština) i hidrofobnost (omogućuje klizanje čestica prljavštine). Ovakav tip stakla odnosno premaz za stakla još je u fazi razvoja i još uvijek premazi nisu toliko učinkoviti da bi se staklo samo čistilo [13,14].

Tipovi staklene fasade [14]:

- a) Strukturalna staklena pročelja se grade bez vidljivih nosivih aluminijskih profila. Montiraju se ljepljenjem na aluminijske profile, te zbog toga daju domajm cijelovite staklene površine. Otvori su isti kao i ostatak fasade i većinom se otvaraju prema van
- b) Polustrukturalna staklena pročelja se grade od aluminijskih profila koji su minimalno vidljivi ( po rubovima elementa )
- c) Kontinuirana staklena pročelja se grade od vidljivih aluminijskih profila, koji slijede raster, te pružaju raznovrsnu izvedbu vanjskog nosivog profila. Kod ovog tipa je moguća ugradnja raznovrsnih prozorskih sustava.
- d) Spider staklena pročelja su specifična jer se stakleni elementi spajaju posebnim držačima u četiri točke, bez dodatnih nosivih profila. Ova vrsta fasade pruža mogućnost izgleda staklenog plašta.

Prednost kod staklenih fasada je da se s izradom može početi za vrijeme same gradnje građevine drugim riječima glavnih građevinskih radova. Održavanje staklenih fasada uglavnom je riješeno specijalnim dizalicama na krovu objekta s kojima se radnici spuštaju po fasadi, a da je ne oštete i tako mogu lako oprati staklene površine, a među novijim načinima čišćenja koristi se automatizirani uređaj za čišćenje staklenih pročelja. I zato najveći dio održavanja objekata sa staklenim pročeljem otpada na čišćenje staklenih površina.



Slika 3.7.2 Stakleno pročelje [14]

## 4. Izolacijski materijali

Funkcija toplinsko izolacijskih materijala je smanjivanje toplinskih gubitaka, a samim time i troškove energije potrebne za grijanje/hlađenje, ali i zaštita konstrukcije od atmosferskih utjecaja. Težnja u graditeljstvu su tzv. pasivne i nisko energetske građevine kod kojih su toplinski gubici minimalni, a oba načina gradnje traže veliku količinu toplinske izolacije. Standardni izolacijski materijali koje danas najčešće koristimo, dijele se po kemijskom sastavu i strukturi, a to su organski i anorganski materijali. U najzastupljenije organske izolacijske materijale spada ekspanzirani i ekstrudirani polistiren (EPS i XPS) te poliuretanske pjene (PUR i PIR) koje se u nekim državama koriste u ogromnim količinama. Od anorganskih izolacijskih materijala najzastupljenija je mineralna vuna odnosno kamena i staklena vuna. Treba istaknuti da su ulaganja u toplinsku izolaciju prilično visoka prilikom same gradnje, ali ta investicija se vraća u obliku uštede na grijanju/hlađenju, bez obzira koji energent koristili (plin, drva, loživo ulje, električna energija).

### 4.1. Ekspanzirani polistiren EPS (Stiropor)

Ekspanzirani polistiren (EPS) je danas najpoznatiji kao stiropor, koji je po prvi puta proizveden 1950. godine u Njemačkoj pod zaštićenim imenom “Styropor®” kojeg je patentirala tvrtka BASF [15]. EPS je materijal koji se dobiva iz nafte, a bazira se na spojevima molekula stirena. Granulat od kojeg se proizvodi sadržava pjenilo (oko 5 mas. % pentana) koji pri zagrijavanju parom na 105°C povećava 20 do 50 puta. Skladištenjem na sobnoj temperaturi nekoliko sati pjenilo djelomično ispari i sprječava se nastanak podtlaka u ćelijama. Takav polistiren se pri preradi uz pomoć vodene pare zagrijava u kalupu na 130°C tj. ekspandira, a granule se stapaju i površinski tale [15]. U gradnji se najviše koristi u ETICS sustavima, ali se također koristi za izolaciju podova, krovova. Danas na tržištu možemo naći i poboljšane vrste stiropora kao što je EPS s grafitnim česticama, kombinacija s poliuretanom kao izolacijskim materijalom čime se dodatno poboljšavaju mehanička svojstva. Glavni nedostatak ekspanziranog polistirena u odnosu na druge izolacijske materijale su njegova loša protupožarne karakteristike, naime stiropor nije otporan na temperature iznad 80°C [15]. Zbog posljedica koje može uzrokovati požar, tehnički propisi sugeriraju da se površinski velika pročelja moraju prekidati s mineralnom vunom. EPS se proizvodi u pločama dimenzija 100·50

cm, različitih debljina (od 2 cm do gotovo 30 cm), a to je vidljivo na slici 4.1.1 [15]. Prednosti stiropora su prije svega izuzetno niski koeficijent toplinske provodljivosti ( $\lambda=0,035-0,045$  W/m·K), izuzetno je male težine te pruža mogućnost jednostavne i brze ugradnje, ponaša se neutralno prema materijalu nosive konstrukcije, otporan je na vlagu tj. ne upija vlagu zbog čega se često koristi za izolaciju vlažnih prostorija uz to moguća je široka primjena stiropora. Kao svaki materijal EPS ima i loša svojstva kao što je loša paropropusnost, radi se od ekološki neprihvatljive sirovine (nafta), nije biorazgradiv i time ako dospije u prirodu ispušta štetne sastojke koji zagađuju tlo i vodu i visoka toksičnost prilikom požara.



Slika 4.1.1 Ekspandirani polistiren [16]

## 4.2. Ekstrudirani polistiren XPS (Stirodur)

Ekstrudirani polistiren (XPS) je pjenasti materijal koji se proizvodi od čvrstih kristala polistirena. U procesu proizvodnje potrebni su posebni aditivi, sredstvo za pjenjenje, boja i kristali polistirena. Nakon miješanja sastojaka, sirovina putuje u ekstruder gdje se sirovina topi u kontroliranim uvjetima kao što su visoki tlakovi i temperature. Rezultat je viskozna plastična tekućina koja je vruća i gusta, nakon toga tekućina prolazi kroza matricu, nakon čega se širi i nastaje pjena. Tada se može oblikovati, nakon čega se materijal hladi i nakon toga se materijal obrezuje i reže u željeni oblik. Proizvodni proces ekstrudiranog polistirena daje jedinstveni



penasti proizvod koji ima zbijenu homogenu strukturu zatvorenih pora promjera 0,1-0,2 mm. Na slici 4.2.1 vodljivo je da se XPS koristi na mjestima visoke vlažnosti (podrumski zidovi i podovi, sokl) zbog otpornosti na vlagu te se koristi za izolaciju površina koje će biti izložene mehaničkim udarima, po kojima će se hodati, kod međukatnih konstrukcija, a kod izolacije temelja preporučuje se korištenje stirodura jer ima znatno veću otpornost na pritisak [17]. XPS se proizvodi u pločama dimenzija 125·60 cm. Stirodur je poznat po različitim bojama koje se koriste prilikom proizvodnje (zelena, roza, bijela, plava), a predstavljaju različite proizvođače i ne mijenjaju svojstva stirodura. Toplinska provodljivost stirodura iznosi  $\lambda=0,025-0,033$  W/m·K.

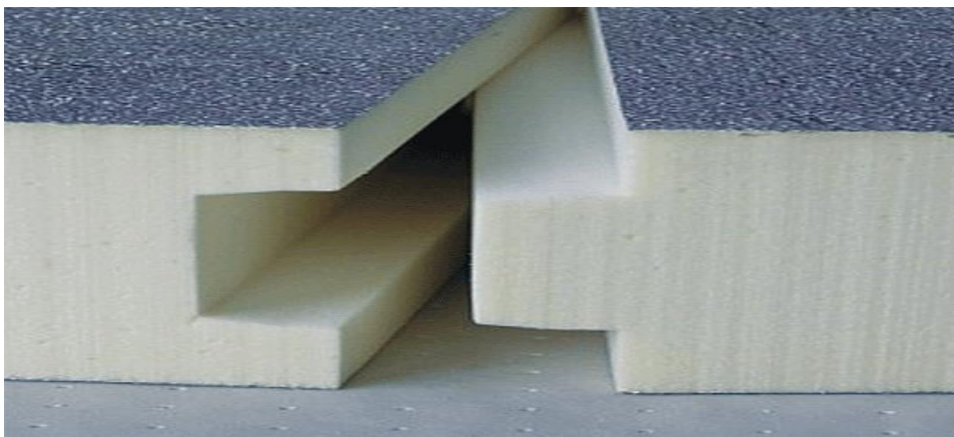


Slika 4.2.1 Ekstrudirani polistiren [17]

### 4.3. Poliuretanske pjene (PUR i PIR)

U današnje vrijeme se kao izolacijski materijali koriste poliuretanske pjene (PUR) i poliizocijanurat (PIR), koje imaju odlične izolacijske karakteristike. Poliuretanska pjena je izolacijski materijal u obliku krute pjenaste ploče ili blokova od umjetnog materijala. Osnovna sirovina od kojih se radi su tvornički tretirane plastike [18]. Glavna razlika između PUR i PIR pjene je reakcija na vatru, a u ovom slučaju nešto otpornija je PIR pjena. Izgaranje pjene uzrokuje otrovnije pare od svih prethodnih izolacija, a da bi se spriječile takve posljedice pjena se spaja s drugim kompozitnim materijalima. Krajnji proizvod najčešće bude sendvič panel koji predstavljaju lake troslojne konstrukcijske materijale [18]. Otporna je na temperaturne

promjene od 100°C do 150°C, vlagu, plijesan, UV zrake, ali pošto ima visoki modul elastičnosti, zbog svoje „tvrdoće” je manje prikladna za povezane sustave toplinske izolacije. Kod ugradnje PIR izolacijskih ploča na gradilištu nisu potrebni specijalni alati, ali preinake su moguće uz korištenje adekvatnog alata za rezanje i bušenje [19]. Slika 4.3.1 prikazuje spajanje ploča preklapom odnosno tehnikom zvanom pero-utor, a time se sprječava prekid materijala i mogućnost nastanka toplinskih mostova. PUR i PIR pjene su dvije srodne klase materijala sa zatvorenim ćelijama, ćelije se pune sredstvom za pjenjenje s niskim stupnjem toplinske vodljivosti, što je niže i od toplinske vodljivosti zraka. Sistem sfernih ćelija u materijalu je zatvoren odnosno ne oslobađa se plin, a upotrebom vodootpornih obloga materijal tijekom vremena ne gubi izolacijska svojstva. [19]



Slika 4.3.1 PIR ploča (tehnika pero utor) [19]

Osnovne karakteristike PUR i PIR pjena su [19]:

- $\lambda = 0,023-0,028 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
- visoka mehanička čvrstoća  $> 100 \text{ kPa}$
- otporna na vremenske prilike, dugo zadržava prvotni oblik
- težina od svega cca  $32 \text{ kg/m}^3$
- 95 %-tna struktura zatvorenih ćelija
- minimalna upojnost vlage
- otporan na kiselinu i lužinu, gljivice, truljenje i pljesan

PUR i PIR pjenu možemo koristiti za izolaciju kosih krovova (iznad, između i ispod rogova), toplinsku izolaciju ravnih krovova, podova, zidova u dodiru sa zemljom, spuštenih stropova, toplinska izolacija niskoenergetskih i pasivnih kuća, PUR i PIR pjene se također koriste kod izolacije industrijskih i poljoprivrednih hala [18].

## 4.4. Mineralna vuna

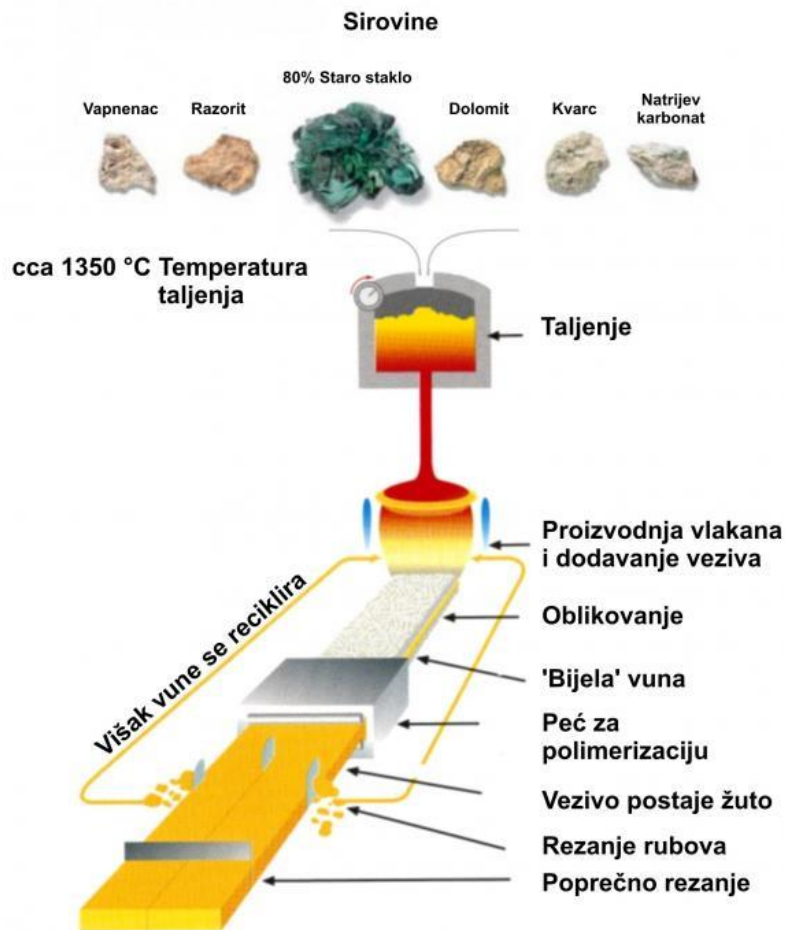
Mineralna vuna je tradicionalni izolacijski anorganski materijal koji se koristi za toplinsku i zvučnu izolaciju stambenih, javnih, industrijskih zgrada kao i cjevovoda i razne opreme. U mineralnu vunu spada staklena i kamena vuna, a razlika između njih je u sirovini od koje se dobivaju, tehnološkom postupku i krajnjim osobinama materijala. Prvu mineralnu vunu proizveo je Edward Parry 1840. godine u Walesu, iz šljake visokih peći koja je imala štetno djelovanje, pa je proizvodnja ubrzo i prekinuta [20]. Proizvodnja je opet započela 1871. godine u mjestu Georgsmarienhütte, pokraj Osnabrück (Njemačka). Mineralna vuna je nekoliko desetaka puta paropropusnija od ostalih izolacijskih materijala i zahvaljujući tom slučaju zidovi kuće "dišu" i ujedno ne dolazi do pojave po zdravlje opasnih gljivica i pljesni [20].

### 1. Staklena vuna

Staklena vuna pripada u mineralne toplinsko-izolacijske materijale, a sastoji se od tankih i elastičnih staklenih niti. Za proizvodnju staklene vune i staklenih vlakana koristi se reciklažni stakleni otpad (80%), kvacni pijesak, vapnenac, razorit, dolomit, natrijev karbonat [20]. U reciklažni stakleni otpad spadaju prozorska i automobilska stakla, staklena ambalaža, ali koriste se i ostaci od obrezivanja vune koji se opet vraćaju u proizvodnju. Slika 4.4.1 prikazuje simbolički proces proizvodnje staklene vune, a ujedno možemo proizvodnju staklene vune usporediti s proizvodnjom šećerne vate, ali je početni materijal drugačiji, te je također sličan postupak dobivanju kamene vune. Postupak se odvija u dvije faze: prvo se dobiva silikatno-staklena taljevina, a zatim se iz taljevine dobivaju tanke staklene niti.

Staklena vlakna i staklena vuna mogu se dobiti na jedan od sljedeća tri načina ili njihovom kombinacijom [20]:

1. Izvlačenjem niti iz rastopljene staklene mase kroz „vatrostalna sita“ s otvorima 2-3 mm i namotavanje na valjke koji se okreću velikom brzinom. Na ovaj način mogu se dobiti dužine niti i do nekoliko desetaka kilometara s maksimalnom debljinom od 1  $\mu\text{m}$ .
2. Rasprskavanjem staklene taljevine upuhivanjem vodene pare ili plina pod visokim tlakom, dobivaju se kratka i gruba staklena vlakna.
3. Na horizontalnim pločama koje se okreću pada rastopljena staklena masa oblikujući tanak sloj na pločama, koji se uslijed djelovanja centrifugalne sile smanjuje do granice površinskog napona zbog kojeg otpadaju tanka staklena vlakna.



Slika 4.4.1 Proizvodnja staklene vune [20]

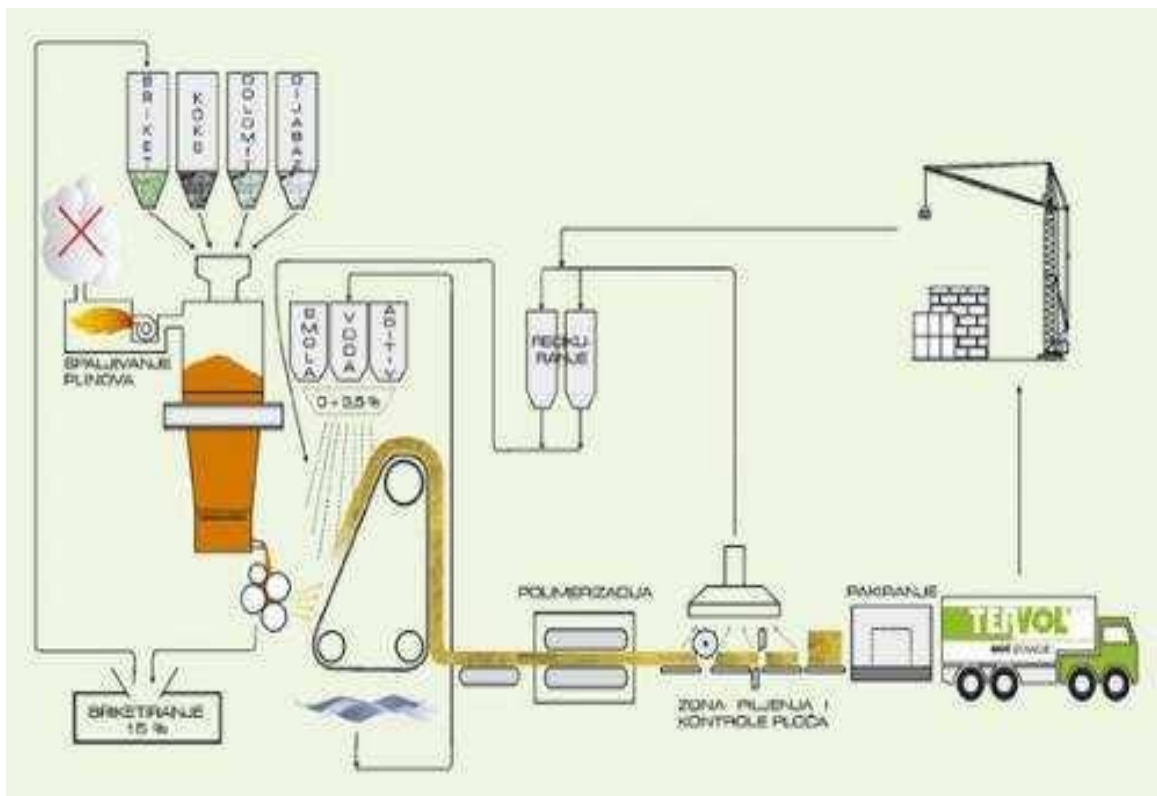
Ovaj izolacijski materijal ima puno mogućnosti primjene kao što je izolacija zidova, kosih krovova, podova, tavana. Vuna je popularna pri montažnoj gradnji kod gips kartonskih radova, a i postavljanje je vrlo jednostavno. Toplinska provodljivost staklene vune iznosi  $\lambda=0,035-0,045 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ . Vlakna staklene vune su elastičnija od vlakna kamene vune, ujedno su i vlakna duža, a samim time duža je "ploča" staklene vune. Prilikom ugradnje ne ostaju nepopunjena mjesta, jednostavna i brza ugradnja jer ne treba precizno mjerenje i rezanje materijala. Otporna je na mehanička opterećenja, također je negoriv materijal i spada u razred negorivosti A1, a još važnije od kategorizacije jest da ako dođe do požara staklena vuna sprječava njegovo daljnje širenje zato se i kod velikih fasadnih površina preporučuje vuna ili izvođenje prekida koji se rade od vune radi sprečavanja daljnjeg širenja požara. Pakira se u rolama, pločama i lamelama. Staklena vuna ima jednu dobru prednost pred polistirenom, a to je visokaparopropusnost [20].

## 2. Kamena vuna

Kamena vuna je izolacijski materijal mineralnog porijekla za toplinsku, zvučnu i protupožarnu izolaciju u graditeljstvu, industriji i brodogradnji. Sirovine koje se koriste za proizvodnju kamene vune su kamen dijabaz, dolomit, boksit, bazalt i umjetni silikatni materijali tj. briketi koji se dobivaju preradom otpada iz tehnološkog procesa uz dodatak cementa [20]. Kamena vuna je kombinacija mehaničkih karakteristika kamena (čvrstoća, visoka točka gorivosti) i vune (izolacija, fleksibilnost).

Slika 4.4.2 prikazuje tehnološki proces proizvodnje kamene vune koji se može podijeliti u nekoliko faza [20]:

1. Skladištenje sirovina i priprema za taljenje
2. Taljenje sirovina u kupolnoj peći
3. Taloženje kamenih vlakana u taložnoj komori
4. Polimerizacija smole u komori za sušenje
5. Rezanje i pakovanje proizvoda



Slika 4.4.2 Proizvodnja kamene vune [20]

Prilikom tehnološkog procesa proizvodnje kamene vune nastaju nusproizvodi odnosno vlakna kamene vune koja nastaju zbog stupnja iskorištenja centrifuge tj. nastaju vlakna koja ne zadovoljavaju zahtjeve za rečeni toplinsko izolacijski materijal. Takva vlakna se briketiraju i vraćaju opet u proces proizvodnje kamene vune. Kamena vuna je neadekvatan materijal za razvoj insekata ili drugih bića koja bi se mogla nastaniti. Vuna dugoročno može uštedjeti puno više energije negoli je utrošeno za njenu proizvodnju, time se čuvaju neobnovljivi izvori energije, smanjuje zagađenje zraka i štetne emisije CO<sub>2</sub>. Na slici 4.4.3 vidljivo je da se staklena i kamena vuna koriste za izolaciju pregradnih zidova, ravnih krovova, kosih krovova, te se koristi za izolaciju u raznim industrijskim granama. Kod industrijske izolacije smatra se izolacija od visokih temperatura, postrojenja za ventilaciju i grijanje i tu dolazi do isticanja visoka temperatura tališta kamene vune. Kamena vuna može izdržati temperature iznad 1000 °C te spada u razred negorivosti A1, te je zbog tog svojstva bolja od staklene vune. Kod gorenja vezivo hlapi puno prije, ali kamena vlakna zadržavaju svoju postojanost i formu. Kamena vuna pakira se u role, pakete ploča i lamele.

Toplinska provodljivost kamene vune iznosi  $\lambda=0,035-0,045$  W/m·K i zbog svoje poroznosti dozvoljava objektu da "diše" [20]. Prilikom rukovanja s kamenom i staklenom vunom, odnosno postavljanja toplinske/zvučne izolacije, vlakna mineralne vune mogu izazvati osjetljivost kože. Ovakvu nelagodu izazivaju malo grublja i promjerom veća vlakna, zbog svoje oštine vlakna se zavlauče u vanjske dijelove naše kože i izazivaju neugodan osjećaj. Tijekom dužeg perioda rada s mineralnom vunom može doći do privikavanja kože na djelovanje čestica mineralne vune odnosno u ovom slučaju radnici su i dalje u kontaktu sa vlaknima, ali to ne znači da duže izlaganje česticama mineralne vune ne može naštetiti zdravlju osobe.



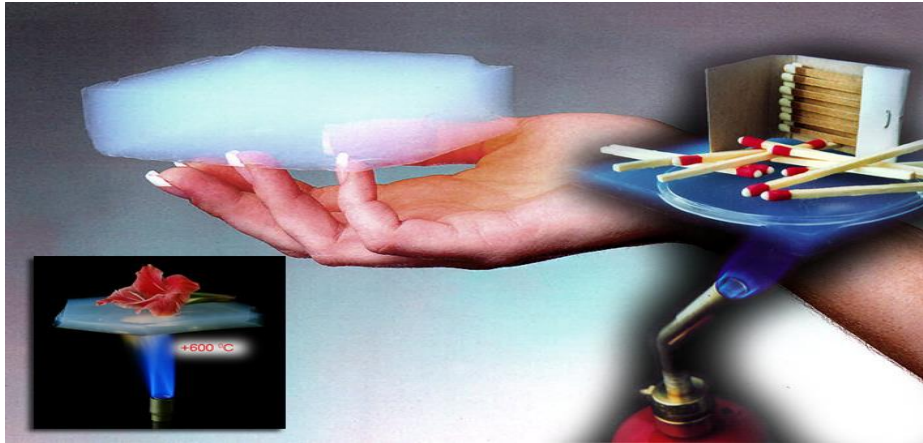
Slika 4.4.3 Postavljanje staklene i kamene vune [21]

## 4.5. Moderni izolacijski materijali

U današnje vrijeme zgradarstvo pokušava da se neželjeni gubitak energije kroz ovojnice građevine svede na minimum. Da bi se postigli dovoljno nizak koeficijent prolaska topline koristeći standardne izolacijske materijale (EPS, vuna...), ovojnice građevina bi bile jako debele, reda veličine od 40-50 cm. Kako bi izbjegli previše debele ovojnice sve više se razvijaju i proučavaju novi inovativni materijali. U moderne izolacijske materijale spadaju : aerogel, plinom ispunjene ploče (GFP), vakuum izolacijske ploče (VIP).

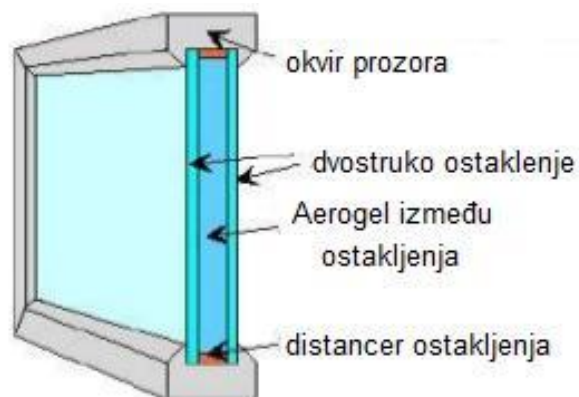
### 4.5.1. Aerogel

Aerogel je sintetički porozni lagani materijal koji je proizveden iz kroma, gela glinice, kositrovog oksida ili ugljika, u kojem je tekuća komponenta gela zamijenjena plinom [22]. Vrlo često nazivan "smrznuti dim", aerogel spada danas u zadijvljujuće izolacijske materijale koji je otkriven 1931. godine. Novi materijal je, u trenutku otkrića, imao najnižu izmjerenu toplinsku vodljivost u povijesti [22]. Zamjena tekućeg djela plinom obavlja se sušenjem pod specijalnim uvjetima, što omogućuje da se tekućina lagano suši bez urušavanja pora gela. U drugoj polovici 20. stoljeća proizvodili su se aerogeli organskog i anorganskog podrijetla. Struktura aerogela je većinom prazna, ima veliku specifičnu površinu (500-1200 m<sup>2</sup>/g), visoku poroznost (75-99,9%) i nisku gustoću (3-350 kg/m<sup>3</sup>), toplinska provodljivost u vakumu 0,005 W/(mK). Aerogel na bazi silicija ima poprilično visoku tlačnu čvrstoću do 0,30 N/mm<sup>2</sup>, ali nisku vlačnu čvrstoću te ga to ga čini krhkim. Nedostaci aerogela na bazi silicija su otklonjeni kada je NASA razvila poliamidne aerogelove, koji su fleksibilni i mehanički otporni. Poliamidni aerogelovi su puno tanji, a njihova toplinska svojstva su izuzetna, a ujedno su i do 500 puta jači od tradicionalnih aerogelova. Prizvode se u i oblikuju u raznim oblicima i tankim slojevima. Toplinska provodljivost poliamidnih aerogelova je 0,016 W/m·K. Poliamidni aerogelovi mogu izdržati vrlo visoke temperature i do 300 °C, a možemo ih uključiti u kompozitni materijal ili modificirati kako bi funkcionirali kao izolacijski proizvod. Aerogel je dostupan na građevinskom tržištu u nekoliko oblika, kao što su pokrivači i granule za rastresite ispune ili se miješaju u žbuku ili drugi sustav za premazivanje. Monolitni aerogel može biti proziran ili neproziran što omogućuje široku paletu primjene [22].



Slika 4.5.1.1 Niska toplinska provodljivost aerogela [23]

Aerogel se najčešće koristi gdje je potrebna izraženija zaštita kao što je kemijska industrija, naftna, svemirska. Na građevinskom tržištu postoji aerogel i raznim izolacijskim oblicima, ali njegova uporaba je dosta niska. Procesi prilikom proizvodnje aerogela su poprilično skupi stoga je njegova uporaba dosta ograničena te se više koristi prilikom sanacija. Spaceloft je fleksibilni materijal koji je predviđen za korištenje u tekstilnoj i građevinskoj industriji. Proizvodi se od silicijskog aerogela koji u kombinaciji s ojačanim vlaknima ima toplinsku provodljivost  $0,015 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  [23]. Aerogel možemo koristiti izolaciju podova, balkona zidova s unutrašnje strane, instalacija, krovova. Aerogel stakla su sustav kombiniranih materijala kojima svrha poboljšanje postojećih karakteristika. Drugim riječima radi se o prozorima ili ostakljenoj fasadi, pokušaj je da se uz toplinsku otpornost, poboljša propuštanje svjetlosti. Na slici 4.5.1.2 vidljivo je da se između staklenih ploča u standardnom oknu prozora uvodi aerogel. Eliminacijom plina u materijalu snižavamo toplinsku provodljivost. Kod aerogela su pore toliko male pa je potreban samo grubi vakuum od 1-10% okolnog tlaka, za otklanjanje plinske provodnosti. Rub se zatim zapečati pa se i aerogel ostakljenje može koristiti kod tradicionalnih okvira [24].

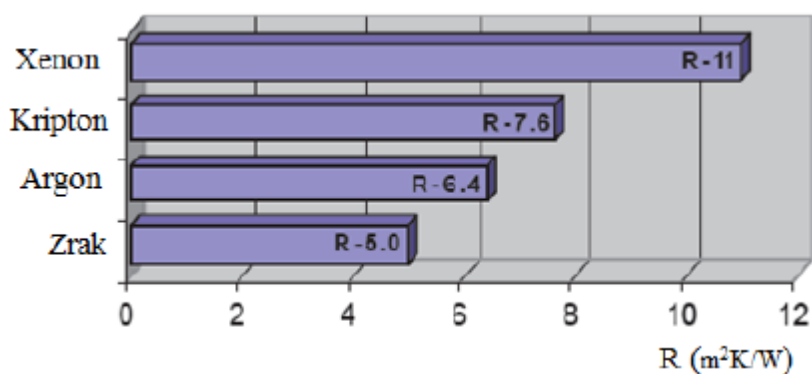


Slika 4.5.1.2 Dvostruko ostakljenje sa aerogelom [24]

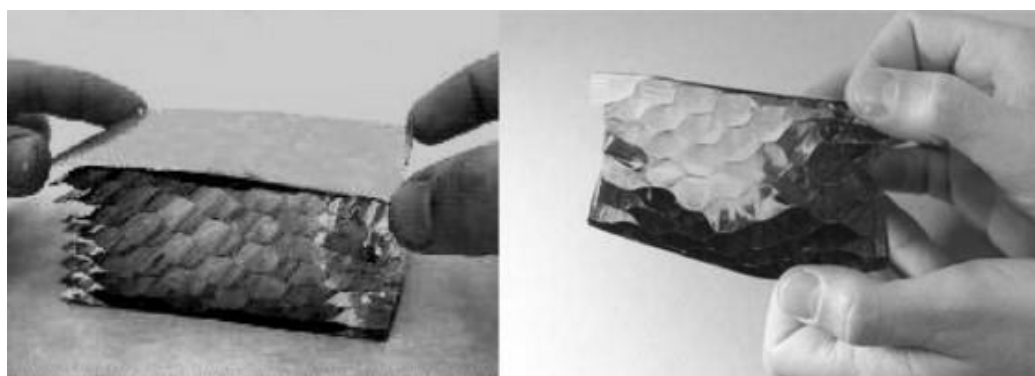


#### 4.5.2. Plinom ispunjene ploče (Gas filled panels - GFP)

Plinom ispunjene ploče su eksperimentalni izolacijski materijali koji kombiniraju plinove kao što su argon, ksenon i kripton s polimernim pregradama u geometriji saća [25]. Na slici 4.5.2.2 vidljiva je pregradna mreža u kojoj se nalazi prazan prostor koji je ispunjen plinom za poboljšanje toplinske izolacijske učinkovitost, a barijera, koja služi da plin ne iscure van, oblikuje cijeli paket [25]. Toplinska provodljivost ploča punjenih ksenonom iznosi  $0,008 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ , a kod jezgre punjene zrakom  $0,028 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  [24]. Slika 4.5.2.1 prikazuje toplinske otpore GFP-a koje su punjene različitim plinovima. Ploče se sastoje od tri komponente: pregrade (unutrašnje saće), inkapsulacijske barijere i plinskog punjenja. Ukupni učinak toplinske provodljivosti ovisi o odabranom plinu, odnosno plinovi koji imaju veću molekularnu masu obično imaju nižu toplinsku provodljivost. Jednoatomski plinovi kao ksenon i kripton imaju znatno nižu toplinsku provodljivost od poliatomskih plinova jednake ili veće težine [25]. GFP ploče se još ne koriste u građevinske svrhe unatoč tome što su provedena istraživanja i testiranja.



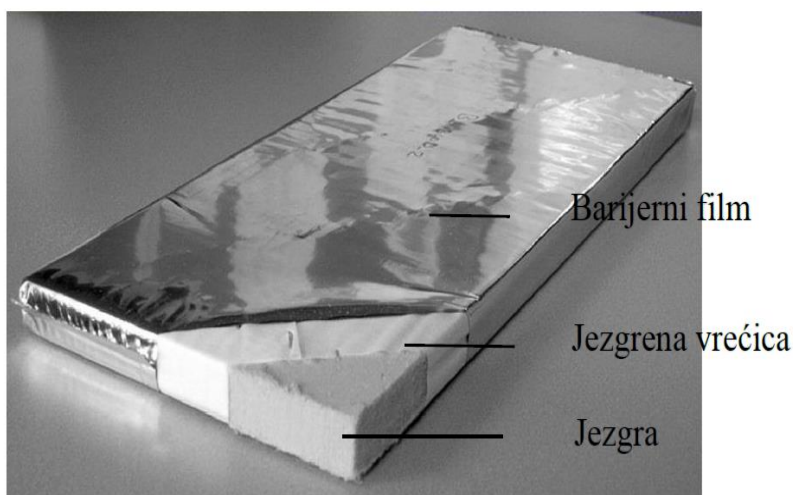
Slika 4.5.2.1 Toplinski otpor GFP-a s različitim plinovima [25]



Slika 4.5.2.2 Uzorak GFP-a [24]

### 4.5.3. Vakuum izolacijski paneli (VIP)

Vakuum izolacijske ploče možemo opisati kao porozni materijal iz kojeg je izvučen zrak koji je pokriven višeslojnom ovojnicom. Osnovni dijelovi VIP-a su jezgra, jezgrena vrećica, barijerni film, koji su vidljivi na slici 4.5.3.1 Ovojnica može biti od tanke metalne presvlake ili višeslojne barijere od metaliziranih polimernih slojeva koje ju štite od vanjskih utjecaja. Na slici 4.5.3.2 vidljivo je da su isušivači i geteri implementirani u jezgru kako bi apsorbirali plinove i vodenu paru koja prodire u VIP kroz ovojnici [24]. Materijali oblažu jezgru VIP-a sloj po sloj, pritom treba naglasiti da se izvlači zrak da bi se stvorilo vakuum stanje, koje je bitno za postizanjem izolacijskih svojstava [24]. Vakumskim šupljinama ugrađenim u jezgri se potiskuje prijenos topline jer toplina traži medij za svoj prijenos, a to je glavna svrha apliciranja vakuuma u panelima. VIP paneli se dijele u dvije grupe, to su VIP na bazi filma i VIP na bazi ploča [24]. Vakuum u pločama postizemo prilikom proizvodnje, tj. ne može se postići nakon završetka procesa proizvodnje, a ujedno nemože biti obnovljen nakon godinama upotrebe. Za VIP na osnovi ploča se koriste metalni materijali, time se postiže bolja nosivost i otpornost na mehanička oštećenja što dovodi do nedostataka kao veća težina i mogućnost pojave toplinskih mostova. Prilikom rukovanja se puno lakše može oštetiti VIP na bazi višeslojnog metaliziranog polimernog filma koji je lakši i tanji [24].



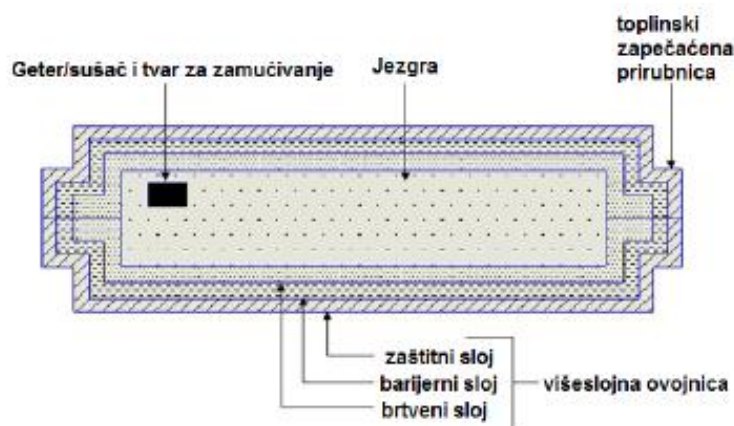
Slika 4.5.3.1 Vakuum izolacijski panel [24]

Jezgreni materijal mora imati porastu strukturu što manje veličine, budući da prijenos topline mora biti potisnut (porozno otvorene pjene, prah ili neke vrste vlakana). Kostur mora imati geometriju, koja ostvaruje male točke doticaja u strukturi materijala kako bi se smanjio kondukcijski prijenos topline i pod djelovanjem velikih opterećenja [24]. Prihvatljivi oblici su

sferični ili cilindrični kao u slučaju silicij dioksida i staklenih vlakana. Materijal mora biti u stanju izdržati velika vanjska opterećenja bez urušavanja. Da bi postigli nisku toplinsku provodljivost u različitim jezgrenim materijalima trebamo različite razine unutarnjeg tlaka (na primjer staklena vlakna dosežu najnižu toplinsku provodljivost oko  $0.002 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ , ali kako bi to ostvarili, unutarnji tlak mora biti ispod  $0,05 \text{ mbar}$ , dok jezgra na bazi silicij dioksid ne može izdržati toliko nizak tlak, ali će zadržati nisku toplinsku provodljivost  $0,004 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ , čak i pri unutarnjim tlaku od  $1 \text{ bar}$ ) [26].

Uzroci povećanja tlaka u jezgri vakuum izolacijske ploče [26]:

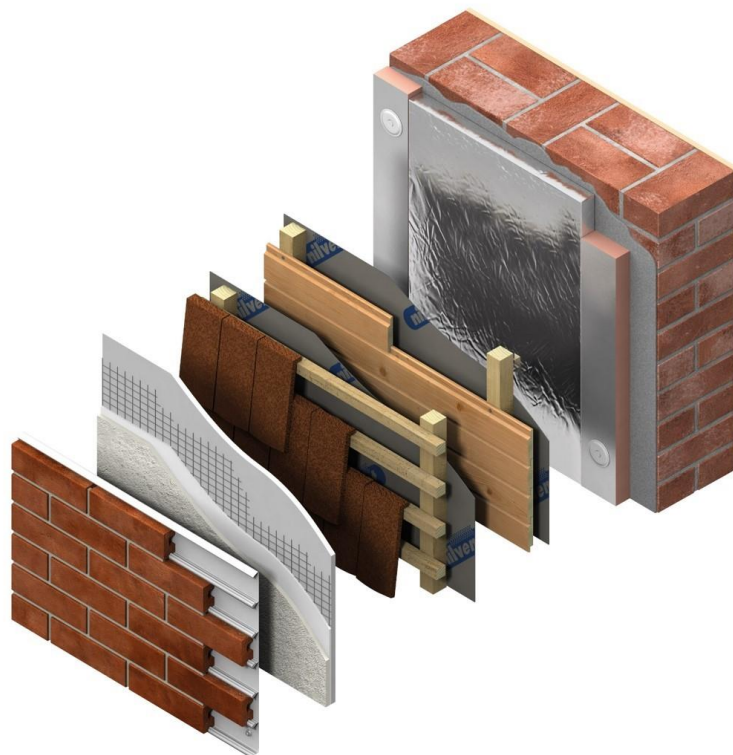
1. Ostatak plina u jezgri
2. Otplinjavanje iz jezgre
3. Prodiranje plina kroz barijeru i njezine rubove



Slika 4.5.3.2 Detalj VIP-a [24]

Barijerni sloj ima ulogu reguliranja prolaza vodene pare i zraka. Koristi se aluminijska folija ili polimerni metalizirani slojevi. Može biti jedan do tri barijernih slojeva, gdje se podrazumijeva da su tri sloja najpovoljnija za sprječavanje oštećenja od zraka ili vodene pare. Brtveni sloj zatvara jezgru materijala. Postupak brtvljenja se vrši zagrijavanjem gdje su površine folija zagrijane pod određenim pritiskom pri čemu dolazi do povezivanja dva polimerna sloja. Apsorpcijski materijali su dodaci ugrađeni u jezgru, čija je funkcija hvatanje vlage ili plina da bi se spriječio porast tlaka u jezgri. Razlika između isušivača i getera je u tome što isušivači otklanjaju vlagu, a geteri su dizajnirani za uklanjanje molekula plina. Vakuum izolacijski paneli imaju i do 8 puta bolja izolacijska svojstva od tradicionalnih izolacijskih materijala, tako možemo zamijeniti  $40 \text{ cm}$  tradicionalne izolacije sa  $5\text{-}10 \text{ cm}$  VIP-

a [27]. Tom debljinom paneli ostvaruju isti toplinski otpor kao i tradicionalni materijali pa su zbog toga vrlo pogodni kod malih i skućenih prostora. Interes za VIP panelima započinje krajem 20. st. kad su proizvođači zamrzivača i hladnjaka u uređaju trebali zamijeniti CFC oksidirane pjene. Kako se vakuum tehnologija implementirala kod hladnjaka, zamrzivača i transportne ambalaže postalo je vidljivo da se ista tehnologija može koristiti i kod uštede energije. Nedostaci panela su pojava toplinskog mosta na spoju dva panela što je vidljivo na slici 4.5.3.3, gubitak izolacijskih karakteristika tokom vremena zbog čega su brojna istraživanja temelje na produživanju vijeka trajanja VIP panela [26]. Veći paneli imaju duži očekivani vijek trajanja od manjih panela. Učinak veličine panela je odnos između volumena i duljine šava te volumena i površine barijere. Rubovi zapečaćenih barijernih filmova su prikazani kao područje jačeg prodiranja. U slučaju da se povećava debljina u odnosu na duljinu šavova, tada više plina može prodrijeti u jezgru, prije nego dođe do očekivanog vijeka trajanja panela [26]. Ako povećamo površinu panela, a debljina ostaje ista, tada se omjer volumena i površine zanemarivo smanjuje, dok se omjer između dužine šava i volumena smanjuje značajno, pod pretpostavkom da će šavovi biti duž vanjskih rubova. Čimbenici koji utječu na vijek trajanja vakuum izolacijskih ploča su: veličina ploče, kvaliteta izrade, izbor komponenti VIP-a, uvjeti korištenja, rukovanje. [26]



Slika 4.5.3.3 Postavljanje VIP panela [27]

## 4.6. Ekološki izolacijski materijali

U današnje vrijeme stavljen je veliki naglasak na smanjivanje zagađenosti tla i zraka, ustoj potiče se izrada toplinske ovojnice, stavljanje novih prozora, izoliranje krovišta a sve to da bi se potrošnja energenata svela na minimum, odnosno da bi se stvorile energetski učinkovite građevine koje koriste obnovljive izvore energije kao što je Sunce. Dobar put ka tome su pasivne i niskoenergetske kuće, ali kod gradnje takvih kuća koriste se tradicionalni izolacijski materijali izuzev njihovim pozitivnim karakteristikama, trebalo bi više popularizirati i koristiti ekološke tj. prirodne izolacijske materijale. Eko graditeljstvo podrazumijeva korištenje prirodnih i recikliranih izolacijskih materijala čija proizvodnja ne zahtijeva veliku potrošnju energenata. Priča o ekološki prihvatljivom graditeljstvu nailazi na problem, veća ušteda energije znači više izolacije, ali samim time i veća potrošnja energenata u proizvodnji. Jedno od mogućih rješenja je korištenje materijala koji ne zagađuju ili manje zagađuju okoliš, a to su materijali koje često možemo naći u prirodi i koje možemo jednostavnim postupkom pretvoriti u materijal primjenjiv u graditeljstvu. Tako u poljoprivrednim krajevima gdje se često bave stočarstvom možemo vidjeti ovce, a ovčja vuna često stočarima predstavlja problem jer nemaju kamo s njom. Ovčja vuna teško gori pa njezina prirodna vatrootbojnost čini vunu pogodnom za izradu prirodnog izolacijskog materijala. Na slici 4.6.1 je vidljiva ovčja vuna koja se u zapadnim zemljama skuplja, pere i tretira sredstvima da bi se poboljšala otpornost na vatru te da bi bila otporna za razvoj insekata, zatim se na kraju preša u ploče ili se pakuje u role. Prilikom prešanja nastaje gusti materijal koji se može rezati i ugrađivati kao i mineralna vuna. Izolacijska svojstva ovčje vune su približno ista kao i kod mineralne vune.



Slika 4.6.1 Ovčja vuna [28]

Naime u poljoprivredi postoji još jedan potencijalni nusprodukt koji se koristio kao izolacijski materijal, a to je slama koja ima veliki potencijal u graditeljstvu. Mnogi tradicionalni oblici graditeljstva koristili su slamu u kombinaciji s glinom, ona se može koristiti na više načina ili kao osnovni materijal gdje se cijeli zidovi rade od balirane slame ili samo kao izolacijski materijal postojećih zidova. Kod slame je najveći problem što je ona vrlo zapaljiva i vrlo je pogodna za naseljavanje raznih životinja kao što su glodavci, gdje se kao repelent za miševe koristi se vapno. Još od prirodnih izolacijskih materijala možemo izdvojiti i drvenu vunu koja se radi od drvenih vlakana preradom ostataka drva s kombinacijom posebnih ljepila, a nakon toga se vlakna prešaju u željene oblike odnosno dimenzije. Drvena vuna ima visoku otpornost na pritisak, paropropusna i rukovanje s drvenom vunom se ne razlikuje ništa više od rukovanja mineralnom vunom. Nažalost, drvo kao drvo je vrlo zapaljivo i nije vatrootporan materijal, a razred otpornosti na vatru iznosi E što znači zapaljiv. Od ekoloških izolacijskih materijala koristi se industrijska konoplja za izradu konopljinu vune, koja se proizvodi od konopljinih vlakana koje se međusobno vežu prirodnim rižinim škrobom. Slika 4.6.2 prikazuje konopljinu vunu koja je elastična, otporna na plijesan i gljivice, a ujedno je paropropusna što je veliki plus jer daje objektu da "diše". Izolacijski materijal možemo raditi i od recikliranog papira koji se u tehnološkom procesu melje i tretira kemikalijama za otpornost na požar. Od ostalih ekoloških materijala koje je moguće koristiti valja spomenuti lan, pamuk, recikliranu odjeću. Korištenje ekoloških materijala nije u rastućem trendu što zbog nedostupnosti nekih proizvoda što zbog cijena, a izrada toplinske ovojnice je ionako skupa investicija u samome startu, ali se s vremenom višestruko isplati, pa bi korištenjem ekoloških materijala još dodatno poskupljivali i ovako skupu investiciju. Pošto je danas kod nas i u svijetu stavljen veliki naglasak na očuvanje prirode, moguće je postepeno populariziranje i korištenje manje štetnog materijala, koji će u konačnici i pridonijeti zdravijem životu svih nas.



Slika 4.6.2 Konopljina vuna i paneli od slame [28]

## 5. Toplinski most

Toplinski most je područje na vanjskim dijelovima objekta (zidovi, prozori, balkoni, krov) kroz koji se odvija povećani tok topline u odnosu na ostalo područje. Preciznije su definirani člankom 4. Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama : „Toplinski most je manje područje u ovojnici grijanog dijela zgrade kroz koje je toplinski tok povećan radi promjene proizvoda, debljine ili geometrije građevnog dijela” [29]. Toplinski mostovi se u praksi najčešće dešavaju zbog pogrešaka i nesavršenosti pri projektiranju i izgradnji građevine. Kroz takve nezaštićene "rupe" u dijelovima pročelja, objekt može izgubiti jako puno topline odnosno energije potrebne za grijanje/hlađenje. Tehnički propisi govore da „Zgrada koja se grije na temperaturu višu od 12 °C i hladi na temperaturu nižu od 4 °C mora biti projektirana i izgrađena tako da utjecaj toplinskih mostova na godišnju potrebnu toplinu za grijanje i hlađenje bude što manji te da ne dolazi do pojave građevinskih šteta u vidu unutarnje ili vanjske površinske kondenzacije u projektnim uvjetima korištenja prostora zgrade. Da bi se ispunio taj zahtjev , prilikom projektiranja treba primjeniti sve ekonomski prihvatljive mogućnosti u skladu s dostignutim stupnjem razvoja tehnike”[30].

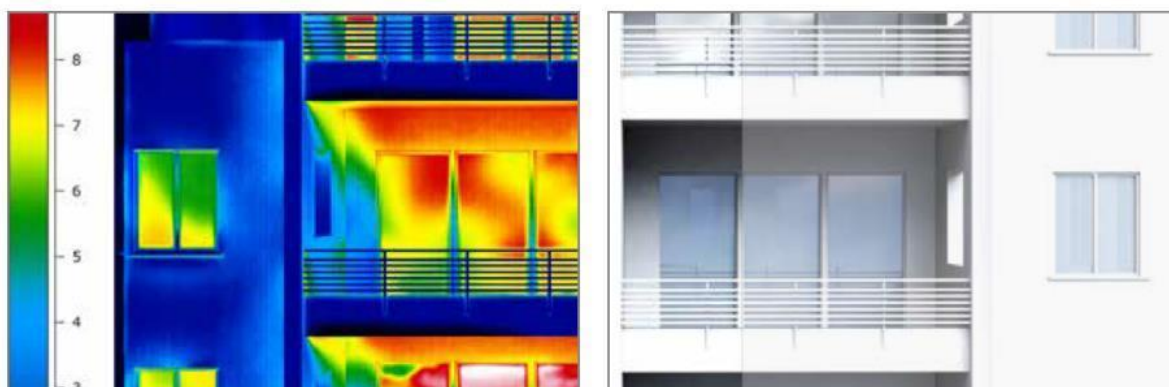
Toplinski mostovi se dijele na [31]:

1. Zračni toplinski mostovi nastaju na mjestima gdje kroz otvore ili pukotine nekontrolirano odlazi topli zrak. Kod građevina sa visokim energetske svojstvima ovakav tipov toplinskih mostova je sveden na minimum zbog pravilne zrakonepropusnosti objekta pa možemo reći da su zanemarivi.
2. Geometrijski toplinski mostovi nastaju na mjestima gdje je unutarnja površina, kroz koju odlazi toplina, manja od vanjske. Na području povećanja presjeka kroz koji prolazi toplina se smanjuje toplinski otpor konstrukcije, a prolaznost povećava. Ovakvi tipovi mostova su vrlo česti u zgradama jer ih je teško izbjeći, a javljaju se na svakom spoju zida pod određenim kutom (spoj zida na strehu, sljeme, čeon napust, uglovi građevine) i tada toplina prolazi iz unutrašnjosti kroz konstrukciju prema van. Oštriji kut spajanja dva elementa pridonosi većem utjecaju toplinskog mosta. Najčešći geometrijski toplinski most bi bio ugao zdanog zida bez vertikalnog serklaža. Takav tip toplinskog mosta danas je vrlo rijedak, zbog našeg potresnog podneblja, pa je samo moguć kod starijih zgrada i nižim potresnim zonama.

3. Konstrukcijski toplinski mostovi nastaju na prekidu toplinske ovojnice zgrade. U većini slučajeva, posljedica su loše projektiranih detalja kod napusta, proboja, priključaka, rebara i prekinute toplinske izolacije.
4. Toplinski mostovi uvjetovani materijalom nastaju na spajanju i sudaru različitih vrsta materijala.
5. Toplinski mostovi uvjetovani okolinom su mostovi koji imaju visoki gubitak topline zbog povišene temperature okoline (niša za grijaća tijela).

Tipovi lokaliziranih toplinskih mostova [31]:

1. Točkasti toplinski mostovi se javljaju na mjestima prodora metalnih nosača na pročelju te pričvrstnicama fasadnih sustava.
2. Linijski toplinski mostovi javljaju se na mjestima spoja građevinskih dijelova (spoj zida i krova).
3. Trodimenzionalni toplinski mostovi javljaju se na spoju tri građevinska dijela (spoj ugla zidova i poda iznad tla ili krova).



Slika 5.1 Toplinski most kod vanjske stolarije [32]

Danas je cilj izgraditi građevinu bez toplinskih mostova, ali uvijek postoji mogućnost pojave toplinskih mostova što zbog ljudske pogreške, kvalitete materijala, vremenskih rokova i drugih čimbenika, ali treba težiti da se pojava toplinskih mostova svede na minimum, a to možemo postići pravilnim projektiranjem detalja, ugradnjom toplinske izolacije s vanjske strane objekta, kontinuitetom ugradnje toplinske izolacije gdje je tehnički moguće, dobrim brtvljenjem svih spojeva, pravilnom ugradnjom prozora, vrata, staklenih stijena te drugim rješenjima koje su zadane tehničkom regulativom i prema pravilima i savjetima struke. Slika 5.1 prikazuje termogram snimljen termografskom kamerom, odnosno mjesto pojave toplinskog mosta oko vrata za izlaz na lođu. Jedan od novijih načina ugradnje stolarije je RAL ugradnja



kojom se nastoji spriječiti pojava takvih toplinskih mostova. RAL ugradnja predstavlja profesionalni sistem ugradnje građevinske stolarije prema uputstvima RAL udruge za osiguranje kvalitete prozora i vrata ( RAL Gütegemeinschaft Fenster und Türen ) [33]. Glavna zadaća RAL ugradnje je sprječavanje pojave vlage u objektu i ušteda energije. Smjernice i uputstva RAL montaže prihvatila je većina Europskih zemalja i prilagodila ih svojim propisima i normama. Ugradnjom suvremenih prozora i stakla riješeni su toplinski gubici kroz sam prozorski element. Nakon završenih radova problem može nastati zbog pogrešno i nestručno ugrađene vanjske stolarije pa se tada pojavljuje vlaga, a s njom i gljivice te plijesni koje svakako nisu poželjne unutar zgrade [33]. Kod RAL ugradnje prostor između zida i prozora se popunjava PUR pjenom, a nakon toga se s vanjske i unutarnje strane lijepu brtvu trake koje su vodonepropusne i paronepropusne, s time da se na vanjski rub prozora lijepu brtvu trake koje propuštaju zrak tj. paru ali ne i vodu što je vidljivo na slici 5.2. Brtvu trake su komprimirane pjenaste trake visokih svojstava, otporne na vodu, spječavaju pojavu kondenzacije i vlage. Ovaj način ugradnje građevinske stolarije sprječava pojavu kondenzacije i njenih štetnih posljedica [33].

RAL ugradnja stolarije [33]:

- prostor između stolarije i zida treba biti suhi
- pozicioniranje prozora na pravilnu liniju izoterme
- s unutrašnje strane treba spriječiti protok vodene pare u izolaciju
- s vanjske strane treba spriječiti prodor vode
- treba omogućiti nesmetan izlazak vodene pare iz međuprostora prema okolini



Slika 5.2 RAL ugradnja stolarije [34]

## 6. Faktor oblika zgrade

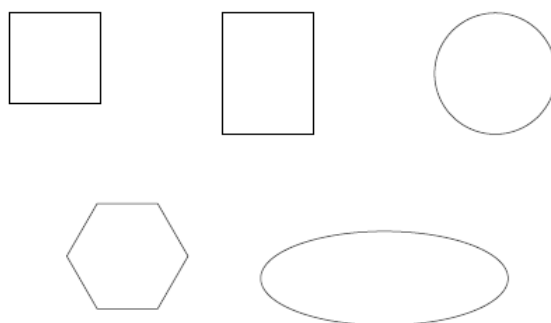
Faktor oblika zgrade  $f_0$  ( $f_0 = O/V$ ) označava odnos površine vanjskog oplošja grijanog dijela građevine i volumena grijanog dijela građevine. Ovojnica zgrade predstavlja površinu vanjskog oplošja zgrade. Pri projektiranju energetski učinkovite građevine ili pasivne kuće treba projektom zadovoljiti faktor oblika zgrade. Najpovoljniji slučaj je kada je građevina svojim geometrijskim oblikom kompaktna i čim jednostavnija kao na slici 6.1. Faktor oblika zgrade nam pokazuje koliko se može utjecati na što manju površinu grijanog dijela građevine, a što pak prilikom uporabe građevine, pridonosi značajnom smanjenju transmisivskih gubitaka, a to utječe na povoljnoj energetskoj bilanci građevine, ugodnosti korištenja prostora i uštedi energije. Prilikom projektiranja pasivne kuće pazi se da bude što manje balkona, konzolnih istaka ili razvedenih tlocrta, a to pridonosi boljim toplinskim karakteristikama građevine. Važno pravilo kod projektiranja je da površina vanjskih plašta bude što manja u odnosu na volumen, a ne kao na primjeru koji prikazuje slika 6.2.

$$f_0 = \frac{O}{V} \quad (5)$$

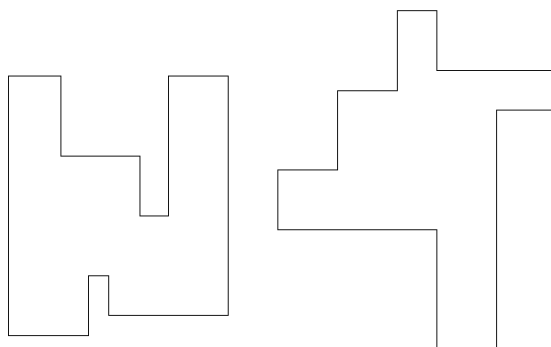
$f_0$  - faktor oblika zgrade

$O$  - oplošje ( $m^2$ )

$V$  - volumen ( $m^3$ )



Slika 6.1 Kompaktni tlocrti [7]



Slika 6.2 Razvedeni tlocrti [7]

## 7. Zaključak

Toplinska ovojnica je zadnji dio svake građevine koji utječe na ono prvo mišljenje i presudan dojam o nekoj zgradi, kući itd. Osim estetske funkcije fasada mora biti funkcionalna, odnosno mora omogućiti dobru toplinsku i zvučnu izolaciju, koja u konačnici smanjuje troškove grijanja ili hlađenja ovisno o vremenskim prilikama. Svi objekti trebaju zadovoljavati temeljne zahtjeve za građevinu, ali u ovome radu stavljen je naglasak na 6. i 7. temeljni zahtjev za građevinu, stoga trebamo obraćati pažnju na kvalitetu svih toplinsko izolacijskih dijelova fasade jer dobra i kvalitetna fasada može pridonijeti kvaliteti života, financijski olakšati potrošnju energenata, pridonijeti očuvanju prirode što je na kraju i cilj toplinske fasade. 6. i 7. temeljni zahtjev za građevinu govori nam da građevine i njihove instalacije (grijanje, osvjetljenje, klimatizacija) moraju biti projektirane i izvedene tako da potrošnja energenata ostane na niskoj razini, a ujedno moraju biti energetske učinkovite, tako da iskoriste što manje energije prilikom građenja i razgradnje. Građevinski objekti koriste oko 40% od ukupne potrošnje energije zato je od izuzetne važnosti smanjenje njihove potrošnje energije da bi se omogućilo korištenje i udobnost pri korištenju objekta. Potrošnja energije ovisi o karakteristikama objekta kao što je faktor oblika zgrade, konstrukcijski i izolacijski materijali, prozori, vrata, sustav grijanja, prozračivanja, hlađenja, rasvjeti, ali tako i o klimatskim parametrima. Energetska učinkovitost građevina obuhvaća široko područje uštede energenata uz primjenu obnovljivih izvora energije, gdje je to moguće i financijski opravdano. Toplinska izolacija građevina je jedna od važnijih tema današnjice jer poboljšanjem toplinske ovojnice postiže se smanjenje ukupnih gubitaka topline za 30%-60% i k tome pridonosi održivom razvoju okoliša te podiže kvalitetu života na novu odnosno bolju razinu. Zbog toga treba paziti da izvedba toplinske ovojnice bude ispravna da bi ovojnica bila kvalitetna i trajna. Svaka vrsta fasade ima pravila i norme po kojima moraju biti izvedene, a da bi investicija u toplinsko izolacijski sustav bila isplativa treba osigurati kvalitetne i ispravne materijale, ali uz to je važna stručna i profesionalna ugradnja. Da bi se fasada uspješno izvela potrebno je napraviti dobar plan i pravilano izabrati materijal, te iz toga proizlazi zaključak ako više uložimo u toplinsku ovojnicu, korištenje obnovljivih izvora energije objekt će nam to višestruko vratiti što na troškovima održavanja, grijanja, hlađenja, električnoj energiji..

## 8. Literatura

- [1] Zakon o gradnji (NN 115/20 ), Temeljni zahtjevi za građevinu, Čl.14 i Čl.15, prosinac 2019.
- [2] <https://kastav.hr/krece-energetska-obnova-obiteljskih-kuca/>, dostupno: 17.9.2021.
- [3] <https://www.fzoeu.hr/hr/energetska-ucinkovitost/1343>, dostupno: 25.6.2021.
- [4] <http://ritehprojekt.hr/index.php/novosti/36-sto-sve-utjece-na-energetski-razred>, dostupno: 17.9.2021.
- [5] [https://www.fkit.unizg.hr/\\_download/repository/prijenosTopline.pdf](https://www.fkit.unizg.hr/_download/repository/prijenosTopline.pdf), dostupno: 17.9.2021.
- [6] [https://www.grad.unizg.hr/\\_download/repository/04.\\_predavanje.pdf](https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/04._predavanje.pdf),dostupno 17.9.2021.
- [7] A. Cafuk,Privatna zbirka autorskih fotografija, 2020-2021.
- [8] <https://rustik-kamen.hr/>, dostupno: 17.9.2021.
- [9] <https://www.webgradnja.hr/specifikacije/1483/postavljanje-zidnih-obloga-kamen-i-opeka/>, dostupno: 17.9.2021.
- [10] Stunja K., Vilenica D., Karač Lj., Prskalo I., Gobo L., Šimunec J., Matanović M., Preglej T.: Smjernice za izradu ETICS sustava, HUPFAS, izdanje IV, ožujak 2016.
- [11] <http://www.econ.hr/rainscreen3.php>, dostupno: 17.9.2021.
- [12] brošura Rockwool: Izolacija ventiliranih fasada, rujan 2019, str 1-10
- [13] <https://zbindendesign.wordpress.com/category/bus-2/>, dostupno: 17.9.2021.
- [14] <https://www.prozorivrata.com/staklene-fasade/>, dostupno: 17.9.2021.
- [15] Tatjana Haramina,Polimeri: Kratka povijest pjenećeg polistirena,Društvo za plastiku i gumu, Zagreb, siječanj.2008, str. 40
- [16] <https://profibaucentar.hr/proizvod/tvr-di-stiropor-za-podove-eps-100/>, dostupno:17.9.2021.
- [17] <https://digipsmak.rs/stirodur-xps/>, dostupno: 17.9.2021.
- [18] <https://korak.com.hr/toplinska-izolacija-na-bazi-poliuretanske-pjene/>, dostupno 2.7.2021.
- [19] <https://korak.com.hr/korak-040-prosinac-2012-bachl-pir-toplinska-izolacija-za-svaku-namjenu-2>, dostupno: 17.9.2021.
- [20] D. Vrkljan, M. Klanfar: Tehnologija nemetalnih mineralnih sirovina,Rudarsko geološki naftni fakultet Zagreb,Zagreb, lipanj 2010.

- [21] <https://hr.your-best-home.net/7366534-stone-wool-what-is-the-price>, dostupno: 17.9.2021.
- [22] Péter Kőműves: Aerogel i njegova primjena u građevinarstvu: Materijal neobičnih svojstava, Građevinar br. 66, travanj 2014, str. 387-388
- [23] <https://interestingengineering.com/aerogel-the-futuristic-material-hindered-by-real-world-limitations>, dostupno:17.9.2021.
- [24] <http://docplayer.rs/185432139-Pametne-ovojnice-zgrada-gotovo-nulte-energije.html>, dostupno:18.9.2021.
- [25] <https://www.buildinggreen.com/news-article/innovative-gas-filled-panel-insulation-fi-foil>, dostupno 18.9.2021.
- [26] <https://hr.goodideahome.com/3963647-vacuum-insulation-boards>, dostupno:18.9.2021.
- [27] <https://vipa-international.org/vips-used-in-buildings>, dostupno: 18.9.2021.
- [28] [http://www.arhiteko.hr/menu.html?http://www.arhiteko.hr/\\_%20ovcjavuna](http://www.arhiteko.hr/menu.html?http://www.arhiteko.hr/_%20ovcjavuna), dostupno: 18.9.2021.
- [29] Zakon o gradnji (153/13,20/17,39/19,125/19), Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, Opće odredbe, Čl 4, prosinac 2019.
- [30] Zakon o gradnji, Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, Tehnički zahtjevi za racionalnu uporabu energije i toplinsku zaštitu za nove zgrade, Čl 33, studeni 2015.
- [31] Bartol Vrčec Jasenka, Unutarnja plošna temperatura toplinskih mostova, Sveučilište u Zagrebu, Arhitektonski fakultet, Zagreb, lipanj 1999, str. 121-136
- [32] <https://www.potkrovlje.hr/kako-rijesiti-problem-toplinskog-mosta/>, dostupno: 18.9.2021.
- [33] <https://ilsad.hr/ugradnja/ral-ugradnja/>, dostupno 18.9.2021.
- [34] <http://www.vnuk-produkt.hr/sistem-ugradnje-pvc-stolarije.html>, dostupno:18.9.2021.

## 9. Popis slika

Slika 1.1 Energetska obnova,

Izvor: <https://kastav.hr/krece-energetska-obnova-obiteljskih-kuca/>

Slika 2.1. Prikaz gubitka topline pojedine dijelove građevine,

Izvor: <http://ritehprojekt.hr/index.php/novosti/36-sto-sve-utjece-na-energetski-razred>

Slika 2.2. Popis energetske razreda,

Izvor: <https://kastav.hr/krece-energetska-obnova-obiteljskih-kuca/>

Slika 2.1.1. Kondukcija,

Izvor: [https://www.fkit.unizg.hr/\\_download/repository/prijenosTopline.pdf](https://www.fkit.unizg.hr/_download/repository/prijenosTopline.pdf)

Slika 2.1.2. Konvekcija,

Izvor: [https://www.fkit.unizg.hr/\\_download/repository/prijenosTopline.pdf](https://www.fkit.unizg.hr/_download/repository/prijenosTopline.pdf)

Slika 2.1.3. Zračenje,

Izvor: [https://www.fkit.unizg.hr/\\_download/repository/prijenosTopline.pdf](https://www.fkit.unizg.hr/_download/repository/prijenosTopline.pdf)

Slika 2.1.4. Utjecaj položaja izolacije na temperaturu zida,

Izvor: [https://www.grad.unizg.hr/\\_download/repository/04.\\_predavanje.pdf](https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/04._predavanje.pdf)

Slika 3.1.1 Klasična žbuka, autor: A. Cafuk, 2020-2021.

Slika 3.2.1 Kamena fasada, Izvor: <https://rustik-kamen.hr/>

Slika 3.2.2 Mokri postupak,

Izvor: <https://www.webgradnja.hr/specifikacije/1483/postavljanje-zidnih-obloga-kamen-i-opeka/>

Slika 3.2.3 Suhi postupak,

Izvor: <https://www.webgradnja.hr/specifikacije/1483/postavljanje-zidnih-obloga-kamen-i-opeka/>

Slika 3.4.1 Slojevi ETICS sustav,

Izvor: Stunja K., Vilenica D., Karač Lj., Prskalo I., Gobo L., Šimunec J., Matanović M., Preglej T.: Smjernice za izradu ETICS sustava, HUPFAS, izdanje IV, ožujak 2016.

Slika 3.4.2 Shematski prikaz nanošenja ljepila,

Izvor: Stunja K., Vilenica D., Karač Lj., Prskalo I., Gobo L., Šimunec J., Matanović M., Preglej T.: Smjernice za izradu ETICS sustava, HUPFAS, izdanje IV, ožujak 2016.

Slika 3.4.3 Shematski prikaz postavljanja izolacijskih ploča,

Izvor: Stunja K., Vilenica D., Karač Lj., Prskalo I., Gobo L., Šimunec J., Matanović M., Preglej T.: Smjernice za izradu ETICS sustava, HUPFAS, izdanje IV, ožujak 2016.

Slika 3.4.4 T shema postavljanja pričvrsnica,

Izvor: Stunja K., Vilenica D., Karač Lj., Prskalo I., Gobo L., Šimunec J., Matanović M., Preglej T.: Smjernice za izradu ETICS sustava, HUPFAS, izdanje IV, ožujak 2016.

Slika 3.4.5 W shema postavljanja pričvrsnica,

Izvor: Stunja K., Vilenica D., Karač Lj., Prskalo I., Gobo L., Šimunec J., Matanović M., Preglej T.: Smjernice za izradu ETICS sustava, HUPFAS, izdanje IV, ožujak 2016.

Slika 3.4.6 Shema postavljanja pričvrsnica kod susatava sa lamelama,

Izvor: Stunja K., Vilenica D., Karač Lj., Prskalo I., Gobo L., Šimunec J., Matanović M., Preglej T.: Smjernice za izradu ETICS sustava, HUPFAS, izdanje IV, ožujak 2016.

Slika 3.4.7 Dijagonalno armiranje,

Izvor: Stunja K., Vilenica D., Karač Lj., Prskalo I., Gobo L., Šimunec J., Matanović M., Preglej T.: Smjernice za izradu ETICS sustava, HUPFAS, izdanje IV, ožujak 2016.

Slika 3.4.8 Nanošenje dekorativnog sloja, autor: A. Cafuk, 2020-2021.

Slika 3.5.1 Presjek zida Z1-Z1, autor: A. Cafuk, 2020-2021.

Slika 3.5.2 Presjek zida Z2-Z2, autor: A. Cafuk, 2020-2021.

Slika 3.5.3 Presjek zida Z3-Z3, autor: A. Cafuk, 2020-2021.

Slika 3.5.4 Grafikon potrošnje energije, autor: A. Cafuk, 2020-2021.

Slika 3.6.1 Dijelovi ventilirane fasade,

Izvor: <http://www.econ.hr/rainscreen3.php>

Slika 3.6.2 Izvođenje ventilirane fasade,

Izvor: <https://hr.puntomarinero.com/ventilated-facade-mounting-technology-and/>

Slika 3.6.3 Primjer ventilirane fasade, autor: A. Cafuk, 2020-2021.

Slika 3.7.1 Proizvodnja industrijskog stakla,

Izvor: <https://zbindendesign.wordpress.com/category/bus-2/>

Slika 3.7.2 Stakleno pročelje,

Izvor: <https://www.prozorivrata.com/staklene-fasade/>

Slika 4.1.1 Ekspandirani polistiren

Izvor: <https://profibaucentar.hr/proizvod/tvr-di-stiropor-za-podove-eps-100/>

Slika 4.2.1 Ekstrudirani polistiren,

Izvor: <https://digipsmak.rs/stirodur-xps/>

Slika 4.3.1. PIR ploča (tehnika pero utor),

Izvor: <https://korak.com.hr/korak-040-prosinac-2012-bachl-pir-toplinska-izolacija-za-svaku-namjenu-2/>

Slika 4.4.1 Proizvodnja staklene vune,

Izvor: D. Vrkljan, M. Klanfar: Tehnologija nemetalnih mineralnih sirovina, Rudarsko geološki naftni fakultet Zagreb, Zagreb, lipanj 2010.

Slika 4.4.2 Proizvodnja kamene vune,

Izvor: D. Vrkljan, M. Klanfar: Tehnologija nemetalnih mineralnih sirovina, Rudarsko geološki naftni fakultet Zagreb, Zagreb, lipanj 2010.

Slika 4.4.3 Slika 3.4.3. Postavljanje staklene i kamene vune,

Izvor: <https://hr.your-best-home.net/7366534-stone-wool-what-is-the-price>

Slika 4.5.1.1. Aerogel,

Izvor: <https://interestingengineering.com/aerogel-the-futuristic-material-hindered-by-real-world-limitations>

Slika 4.5.1.2. Dvostruko ostakljenje sa aerogelom,

Izvor: <http://docplayer.rs/185432139-Pametne-ovojnice-zgrada-gotovo-nulte-energije.html>

Slika 4.5.2.1. Toplinski otpor GFP-a sa različitim plinovima,

Izvor: <https://www.buildinggreen.com/news-article/innovative-gas-filled-panel-insulation-foil>

Slika 4.5.2.2. Uzorak GFP-a,

Izvor: <http://docplayer.rs/185432139-Pametne-ovojnice-zgrada-gotovo-nulte-energije.html>

Slika 4.5.3.1. Vakuum izolacijski panel,

Izvor: <http://docplayer.rs/185432139-Pametne-ovojnice-zgrada-gotovo-nulte-energije.html>

Slika 4.5.3.2. Detalj VIP-a,

Izvor: <http://docplayer.rs/185432139-Pametne-ovojnice-zgrada-gotovo-nulte-energije.html>

Slika 4.5.3.3. Postavljanje VIP panela,

Izvor: <https://vipa-international.org/vips-used-in-buildings>

Slika 4.6.1 Ovčja vuna,

Izvor: [http://www.arhiteko.hr/menu.html?http://www.arhiteko.hr/\\_%20ovcjavuna](http://www.arhiteko.hr/menu.html?http://www.arhiteko.hr/_%20ovcjavuna)

Slika 4.6.2 Konopljina vuna i paneli od slame,

Izvor: [http://www.arhiteko.hr/menu.html?http://www.arhiteko.hr/\\_%20ovcjavuna](http://www.arhiteko.hr/menu.html?http://www.arhiteko.hr/_%20ovcjavuna)

Slika 5.1. Toplinski most na stolariji,

Izvor: <https://www.potkrovlje.hr/kako-rijesiti-problem-toplinskog-mosta/>

Slika 5.2. RAL ugradnja stolarije,

Izvor: <http://www.vnuk-produkt.hr/sistem-ugradnje-pvc-stolarije.html>

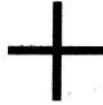
Slika 6.1 Kompaktni tlocrti, autor: A. Cafuk, 2020-2021.

Slika 6.2 Razvedeni tlocrti, autor: A. Cafuk, 2020-2021.



Sveučilište  
Sjever

UNIVERSITY  
NORTH



SVEUČILIŠTE  
SJEVER

IZJAVA O AUTORSTVU  
I  
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski 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, Alen Cafuk pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor završnog rada pod naslovom " Fasade, fasadni sustavi i izolacijski materijali " te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.


Student/ica:  
Alen Cafuk

  
\_\_\_\_\_  
(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, Alen Cafuk neopozivo izjavljujem da sam suglasan s javnom objavom završnog rada pod naslovom " Fasade, fasadni sustavi i izolacijski materijali " čiji sam autor.

Student/ica:  
Alen Cafuk

  
\_\_\_\_\_  
(vlastoručni potpis)