

Materijali i toplinsko izolacijski sustavi u zgradarstvu

Budinščak, Lucija

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:894202>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-24**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





Završni rad br. 404/GR/2020

MATERIJALI I TOPLINSKO IZOLACIJSKI SUSTAVI U ZGRADARSTVU

Lucija Budinščak, 5720/601

Varaždin, kolovoz 2020. godine



Odjel za Graditeljstvo

Završni rad br. 404/GR/2020

MATERIJALI I TOPLINSKO IZOLACIJSKI SUSTAVI U ZGRADARSTVU

Student

Lucija Budinščak, 5720/601

Mentor

doc.dr.sc. Željko Kos

Varaždin, kolovoz 2020. godine

ODJEL

STUDIJ

PRISTUPNIK

MATIČNI BROJ

DATUM

KOLEGIJ

NASLOV RADA

NASLOV RADA NA
ENGL. JEZIKU

MENTOR

ZVANJE

ČLANOVI POVJERENSTVA

1.
2.
3.
4.
5.

BROJ

OPIS

ZADATAK URUČEN

POTPIS MENTORA

PREDGOVOR

Zahvaljujem mentoru doc.dr.sc. Željku Kosu na pruženim savjetima, trudu tijekom konzultacija, te na strpljivom vodstvu u vrijeme pisanja rada.

Također, hvala kolegi M. Križancu na dijeljenju priloga koji su izvorno projektirani za potrebe rada Limarije Gužvinac.

SAŽETAK

MATERIJALI I TOPLINSKO IZOLACIJSKI SUSTAVI U ZGRADARSTVU

Lucija Budinščak

U uvodu su navedeni povijesni načini zaštite ljudi od djelovanja atmosferskih utjecaja, materijali koje su koristili, te naposljetku, kako se generalno razvijao način gradnje. Standardna građevina štiti od razlika u temperaturi propisanom izvedbom slojeva ovojnice, čije su funkcije od primarne važnosti. Kvalitetno projektiranje slojeva materijala vođeno je zadatkom da ne dopušta narušiti funkciju ovojnice djelovanjem termičkih kontakata.

Danas je smanjenje potrošnje energije problematika kojom se bave svi sektori djelatnosti. Toplinsko izlacijski materijali u građevinskom sektoru imaju najveću ulogu u poboljšanju energetske učinkovitosti, stoga ih je potrebno projektirati i implementirati prema mjerama propisanim u pravilnicima. Glavne veličine građevinske fizike kojima se evidentira izolaterska kvaliteta su: toplinska provodljivost, koeficijent prolaska topline i toplinski otpor.

Prezentirani su najučestaliji tradicionalni materijali, te uspoređeni sa suvremenim znatno učinkovitijih fizikalnih svojstava. Ako ovojnica postojanog objekta troši više energije nego što je dopušteno, poželjno je da bude rekonstruirana projektom energetske obnove, odnosno novim fasadnim sustavom. Najčešće su birani ETICS kontakti sustavi.

Ventilirani fasadni sustav zaokružuje tematiku suvremene energetske učinkovitosti i kombinirane sa tradicionalnim toplinsko izolacijskim materijalima u uspješnu cjelinu kvalitetne gradnje.

Ključne riječi : ovojnica, energetska učinkovitost, toplinska izolacija, ETICS, ventilirana fasada

ABSTRACT

MATERIALS AND THERMAL INSULATION SYSTEMS IN BUILDING SECTOR

Lucija Budinščak

The introduction lists historical ways of protecting people from the effects of atmospheric influences, the materials they used, and finally, how the method of construction developed in general. Standard building structure protects from temperature differences by the prescribed performance of the envelope layers, whose functions are of primary importance. Quality design of material layers is guided by the main task of keeping envelope function from disturbing caused by thermal interaction of thermal contacts.

These days, the reduction of unnecessary waste of energy makes an issue considered by all of activity sectors. When it comes to construction sector, thermal insulation materials are crucial for improving energy efficiency, that is why they need to be designed and implemented according to the measures prescribed in the regulations and laws. The main dimensions of building physics that are considered in rating of the insulating quality are: thermal conductivity, heat transfer coefficient and thermal resistance.

The most common traditional materials are presented and compared next to modern, much more effective physical properties. If the envelope of an existing building consumes more energy than what is allowed, it is optional to be reconstructed with an energy renovation project, in other words, a new facade system. The most often choice is ETICS contact systems.

The ventilated façade system combined with traditional thermal insulation materials completes the theme of modern energy efficiency into a successful complex of quality construction.

Keywords: envelope, energy efficiency, thermal insulation, ETICS, ventilated facade

Popis korištenih kratica

TI	toplinska izolacija
ZI	zvučna izolacija
CO ₂	ugljičkov dioksid
PVC	polivinil klorid
IC	infracrvena
HVAC	<i>heating, ventilation and air conditioning</i> ; grijanje, ventilacija i hlađenje
NZEB	<i>Nearly zero-energy building</i> ; zgrada gotovo nulte energije
EPS	ekspandirani polisteren
XPS	ekstrudirani polisteren
PUR	poliuretanska pjena
PIR	poliizocijanurati
A1	klasa negorivosti, ne doprinosi požaru
AIM	<i>Advanced Insulation Materials</i> ; napredni izolaterski materijali
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
USD	američki dolar
VIP	vakuum izolacijski paneli
GFP	<i>gas filled panels</i> ; plinom ispunjeni paneli
PET	poli(etilen-tereftalat)
HDPE	<i>high density polyethylene</i> ; polietilen velike gustoće
LDPE	<i>low density polyethylene</i> ; polietilen male gustoće
ETICS toplinsku izolaciju	<i>External thermal insulation composite system</i> ; povezani sustav za vanjsku
HPL	<i>High Pressure Laminates</i> ; laminati proizvedeni pod velikim pritiskom

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. OVOJNICA	4
2.1. Toplinski mostovi	7
3. ENERGETSKA UČINKOVITOST	9
3.1. Fizika zgrade	11
4. TRADICIONALNI MATERIJALI	14
4.1. Mineralna vuna	14
4.2. Ekspandirani polistiren (EPS)	16
4.3. Ekstrudirani polistiren (XPS)	18
4.4. Poliuretanske pjene (PUR i PIR)	20
5. SUVREMENI MATERIJALI	22
5.1. Aerogel	22
5.2. Vakuum izolacijski paneli (VIP)	27
6. FASADE	31
6.1. Toplinski fasadni sustav	31
6.2. Ventilirani fasadni sustav	35
7. ZAKLJUČAK	38
8. LITERATURA	39
9. PRILOZI	

1. UVOD

Od početka stvaranja stambenih objekata, ljudi nastoje unaprijediti tehniku gradnje i uporabu materijala. Tada su glavni povod podizanja barijera bile zaštita i privatnost, a ubrzo se nadovezala kvaliteta življenja i estetika. Sama riječ izolacija po definiciji slovi kao odvajanje, odnosno prekidanje doticaja između dva subjekta. Njena je smisao jednaka i u stručnom govoru, jer predstavlja sloj materijala u ovojnici građevine koji sprečava vanjske utjecaje na unutarnji prostor.

Vrste materijala koje se danas koriste, uvelike se razlikuju od prvotnih, primitivnih najviše po kompleksnosti prerade sirovina. Vezano na materijale, prve sustave u gradnji poznajemo iz razdoblja neolitika, tijekom kojeg su bilježeni pomaci u reguliranju standarda življenja. Odabir lokacije naselja bio je usko povezan sa količinom i pozicijom obnovljivih resursa iz prirode, koji su stanovnicima olakšavali život. Špilje su zamijenjene improviziranim jednostavnim nastambama, sojenicama i zemunicama. Ovisno o potrebi uvjetovanoj atmosferskim utjecajima, za izgradnju su bile korištene primarne sirovine dostupne na tom podneblju. Kostur konstrukcije mogao je biti izrađen od obrađenog kamena, stabla su omogućavala uporabu drvenih stupova, a mješavinom gline i biljaka izrađivala se tadašnja opeka. Čvrstoća i značajnija otpornost opeke, postizala se sušenjem oblikovanih kalupa na suncu, a kada je otkriveno kako termičko izlaganje visokim temperaturama poboljšava kvalitetu gradnje, osmišljene su pokretne peći, u kojima su pekli materijal na licu mjesta. Pečena opeka datira kao prvi materijal u graditeljstvu koji je izrađen umjetno, pod temperaturom od 1000°C.

U hrvatskom jeziku, opeka sušena na suncu zove se ćerpič. Iako na našim prostorima nema značajnijih prapovijesnih nalazišta tog materijala, postoje naselja koja su u novije doba prepoznala njegov potencijal. U sklopu raznih manifestacija na istoku države, danas je moguće posjetiti radionice o izradi ćerpiča. Jedni od ciljeva su edukacija ljudi zainteresiranih za zaboravljene tehnike održive gradnje, te spontani ruralni razvoj zbog veće potražnje za ilovačom, koja je njegova glavna komponenta. Preostale suspstane za izvorni recept sušene opeke mogu biti aditivi poput blata i slame, rižine ljuske ili pijeska, a njihova je uloga da spriječe nastanak pukotina. Sredinom 19. stoljeća naglo je prekinuto korištenje živih opeka zbog pojave podzemnih voda koje su zidovi upijali. Posljedica je bilo periodično bubrenje i rušenje objekta. Iako je ova primitivna vrsta gradnje neko vrijeme bila zaboravljena, ponovno se otkrivaju strategije kako bi bila dugotrajnija.



Slika 1.1. Ćerpič



Slika 1.2. Ćerpič u izvedbi

Težnja prema ugodnoj mikroklimi unutarnjeg prostora postiže se uporabom adekvatnih materijala u izradi ovojnice, za koje je poželjno da nemaju agresivan utjecaj na okoliš. U dugom periodu stvaranja nije postojao fokus na energetske učinkovitost, stoga je u novije doba potrebno smanjiti količinu potrošnje energije u postojećim građevinama, te preventivno projektirati nove objekte prema propisima.

Najprimitivniji građevinski materijal za stvaranje ovojnice koji poštuje načela održive gradnje predstavlja slama. Ona se koristila od perioda kada kvaliteta zraka nije bila narušena od strane čovjeka. Sličnost slame i sijena je da čine produkt sušenja biljaka na zraku i suncu. Slama se sastoji od duguljastih žitarica i mahunarki žilavijeg sastava, a sijeno od niže i tanje trave. U kombinaciji čine kompaktniji materijal koji se nadopunjuje i povezuje kompresiranjem u bale. Ulogu nosive konstrukcije (stupovi i grede) najbolje preuzima drvo, koje je poželjno postaviti okomito kao stupove i horizontalno kao daske na kojima bi montaža bala čvršće prijanjala, obzirom da između blokova nema veziva. Žbukanje zidova je neizostavan korak, kako bi se omogućila vatrootpornost. Postavlja se mrežica zbog glađeg prijanjanja žbuke na sijeno, a najbolji su izbor one na prirodnoj bazi; vapnena ili glinena. Ti ekološki materijali osiguravaju paropropusnost i disanje objekta kroz koji bi ventilirao svjež zrak.



Slika 1.3. Blokovi bala u drvenoj konstrukciji



Slika 1.4. Žbukanje slame

Prednosti slame kao građevinskog materijala su brojne, a najčešće se navode: dobra toplinska i akustična izolacija, otpornost na potres, dostupnost i niska cijena sirovine, te jednostavnost arhitektonskog oblikovanja. Zbog malih potreba za grijanjem i hlađenjem, kuća od slame može znatno pridonijeti smanjenju emisija stakleničkih plinova, stoga izazov projektiranja 21. stoljeća postaje poboljšanje energetske učinkovitosti kuća. [1]

Karakteristike : Toplinska provodljivost: $\lambda = 0,035-0,09 \text{ W/mK}$
Klasa zapaljivosti: B 3 (brzo goriv materijal)
Faktor otpora prolaza vodene pare: $\mu = 2$
Gustoća: oko 100 kg/m^3

Završna obloga zidova slame može biti nastavljena u ekološkom tonu korištenjem dasaka ili drugog prerađenog prirodnog materijala. Tako se prekrivaju neizbježne neravnine žbuke, koje u drugom slučaju mogu biti naglašene kao šarmantni završni sloj te ekološki prihvatljive ovojnice.



1	Drveni okvir
2	Bale slame
3	Zaštitna ploča
4	Pričvrsne letvice
5	Obloga

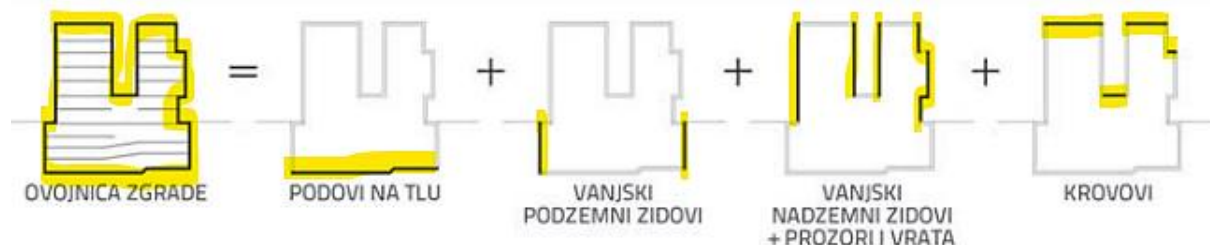
Slika 1.5. Slojevi ovojnice na bazi slame

Iako ima solidna svojstva koja se postižu slaganjem nešto debljih presjeka obodnih zidova, slama u hrvatskim zakonima nije evidentirana kao građevinski niti izolaterski materijal. Prosječno je riječ o 45cm čistog nosivog sloja, čija je toplinska provodljivost oko 0,045 [W/mK].

U nastavku rada, biti će prezentirano kako se razvilo projektiranje ovojnice u usporedbi s uvodnim primjerom, te kakav utjecaj imaju izolatori nad pojmom energetske učinkovitosti.

2. OVOJNICA

Ovojnica objekta u nacrtu podsjeća na okvir ili granicu stvorenu od slojeva materijala spojenih u homogenu cjelinu, koja je nosioc kvalitete i učinkovitosti.



Slika 2.1. Slikovita definicija ovojnice

Projektiranje ovojnice vrlo je složen zadatak jer je potrebno uzeti u obzir niz čimbenika kako bi se uspostavila ravnoteža između razine željenih svojstava, financijskih troškova i dugotrajnog postojanja materijala. Sama ovojnica sadrži više podsustava sastavljenih od različitih komponenti. Svaka od njih je trodimenzionalan, višeslojan sklop različitih materijala; od završnog unutarnjeg, do vanjske obloge fasade. Budući da ovojnicu čini bilo koji dio zgrade koji fizički razdvaja vanjsku od unutarnje okoline, razlikujemo nadzemni i podzemni dio, a njeni sastavni sustavi mogu biti grupirani kao [2]:

- sustavi podova na tlu
- sustavi vanjskih podzemnih zidova
- sustavi vanjskih nadzemnih zidova; uključujući prozore i vrata
- krovni sustavi

Kako bi projektiranje ovojnice smatrali uspješnim, primarno je da ona bude otporna na utjecaje koji se vrše nad njom. U tom slučaju razlikujemo :

- atmosferske utjecaje iz okoliša
- unutarnje utjecaje : stvara ih čovjek svojim boravkom u objektu
- utjecaji koji se događaju u samoj ovojnici za vrijeme djelovanja prethodna dva

Njihova je izmjena promjenjiva, stoga se mora obratiti pozornost da se ne naruši funkcija otpornosti. Odras problema bio bi stvaranje loših reakcija u sastavnim materijalima koje bi narušile estetiku, nosivost i kvalitetu zraka.

Četiri osnovne funkcije ovojnice su [2]:

1. *Funkcija nosivosti*: teži odupiranju i prenošenju vanjskih i unutarnjih sila. Riječ je o bočnim silama (vjetar i potres), gravitacijskim (stalno opterećenje, snijeg), reološkim (temperatura, vlaga), te mehaničkim silama u obliku udaraca. Ova funkcija predstavlja sposobnost ovojnice da se odupre opterećenjima, stoga je navedene sile potrebno uzeti u obzir u fazi projektiranja.

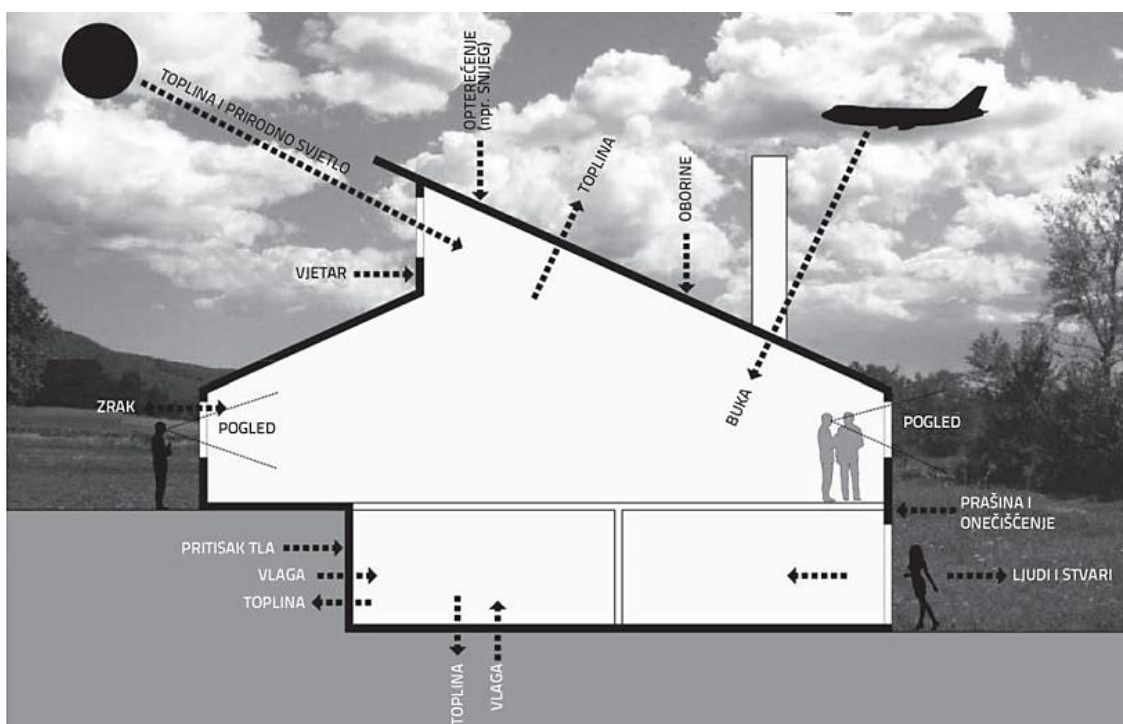
2. *Funkcija kontrole*: odnosi se na upravljanje masom i tokom energije; topline, zrakom, vlagom, kišom, zvukom, vatrom i insektima.

U smislu kontrole, ovojnica funkcioniše kao *building skin*¹ na dva načina:

- Blokira atmosferske utjecaje
- kontrolirano propušta utjecaje poput svjetlosti, zraka, topline i zvuka, ovisno o potrebama korisnika

Kontrola klimatskih uvjeta prvotno se pokušava postići fizičkim svojstvima ovojnice (TI, paropropusnost, zrakonepropusnost, ZI), a ako učinak nije zadovoljavajući, koristi se energija (rasvjeta, grijanje, hlađenje, ventilacija).

Oba načina kontrole su važna, no potrebno je naglasiti kako je kontrola pomoću fizičkih svojstava znatno učinkovitija i jeftinija. U slučaju loše projektirane ili izvedene ovojnice, nedostatke je nemoguće nadoknaditi uporabom energije, već počinje beskrasno trošenje energije i novca. Kako bi se ostvarila što učinkovitija, isplativija zgrada, sa što manje nedostataka i popravaka, važno je da se funkcija ovojnice kao fizičke barijere maksimalno iskoristi, dok bi upotreba energije bila samo resurs kojim se prilagođavaju manja odstupanja prema potrebama osobe koja boravi u prostoru.



Slika 2.2. Vanjski utjecaji na ovojnicu

¹ 'koža građevine'

3. *Estetska funkcija*: odnosi se na vanjske i unutarnje vidljive površine (boje, teksture, refleksije i uzorci). Slojevi ove skupine su u izravnom dodiru s vanjskim i unutarnjim utjecajima koji troše njezinu postojanost.. Važno je predvidjeti koji su mogući utjecaji na promatranju površini sloja, da bi se odabrani materijal bio adekvatan i dugotrajan, a zamišljena estetika postojana.

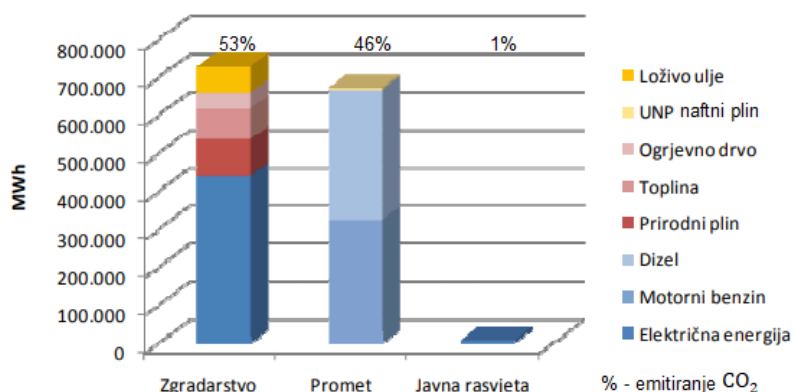
Izdržljivost materijala varira ovisno o njegovim prirodnim i površinskim karakteristikama. Porozni materijali poput opeke ili kamena, nakupljaju prljavštinu i organski rast na površini, dok kod nepropusnih materijala, poput metala ili plastike, može doći do unutarnjih kemijskih reakcija. Projektant mora biti svjestan svih promjena prilikom odabira materijala, kako bi se izbjeglo propadanje i gubitak fizičkih svojstava. Određene promjene ne mogu biti potpuno uklonjene, ali se mogu predvidjeti i kontrolirati; primjer: ispravan odabir boje ili teksture površine, oblik zgrade koji omogućava kontrolirani odvod oborina s fasade.

4. *Funkcija distribucije*: bitno je osigurati i montirati usluge zgrade kao što su električna energija, komunikacija, instalacije, zračni kanali, plinske cijevi, krovni slivnici, itd. Dio suvremene arhitekture je razvitak korištenja ovojnice kao proizvođača električne i/ili toplinske energije potrebne zgradi.

Obzirom da je jedna od prepreka u smanjenju stakleničkih plinova emitiranje CO₂, potrebno je poštivati mjere za energetske učinkovitost projektiranja fasadnih i krovnih sustava. One su dio opće građevinske regulative, odnosno jedan od bitnih temeljnih zakona za građevinu. U nastavku je Članak 14. iz Zakona o gradnji, vezan za gospodarenje energijom i očuvanje topline.

Članak 14.

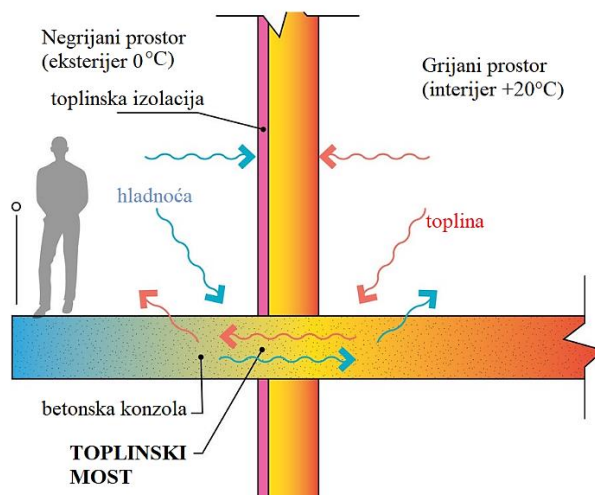
Građevine i njihove instalacije za grijanje, hlađenje, osvjetljenje i provjetravanje moraju biti projektirane i izgrađene tako da količina energije koju zahtijevaju ostane na niskoj razini, uzimajući u obzir korisnike i klimatske uvjete smještaja građevine. Građevine također moraju biti energetske učinkovite, tako da koriste što je moguće manje energije tijekom građenja i razgradnje. [3] (NN 125/19)



Slika 2.3. Potrošnja energije po sektorima i energentima

2.1. Toplinski mostovi

Toplinski mostovi su najčešći izvori gubitaka topline i rezultati lošeg rješenja na pitanje ovojnice. Kada se promatra grijani prostor objekta, mostovi se stvaraju na mjestima gdje dolazi do promjene u materijalima ili obliku gradnje.



Slika 2.1.1. Nastanak toplinskog mosta

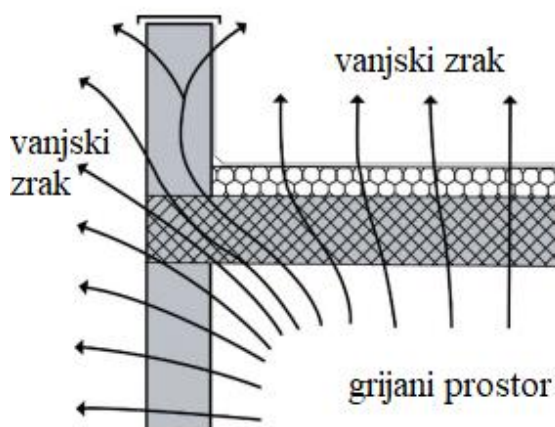
Prirodni proces izmjene topline i vlage između unutarnjeg i vanjskog prostora ne može se potpuno zaustaviti. Građevne dijelove zbog toga treba projektirati na način da se osigura ispravan fizikalni proces, odnosno proces koji neće dopustiti kondenzaciju vodene pare u građevnom dijelu ili na njemu u mjeri koja može izazvati građevinsku štetu. [4] Na slici 2.1.1 prikazano je kako betonska konzola nije toplinski izolirana i time je direktno izložena djelovanju različitih temperatura na konstrukciju. Kako vanjska, hladna temperatura prodire u mjesto nastanka toplinskog mosta, unutrašnjem dijelu ovojnice također pada temperatura. Dakle, kroz toplinske mostove se gubi topline iz grijanog prostora, a zidovi postaju osjetno hladniji. Promjenom temperature u materijalu raste rizik od stvaranja vlažnosti.

Do toga dolazi kada temperatura površine unutrašnje strane građevinskog elementa u području toplinskog mosta padne ispod temperature rošenja zraka površine. Posljedica je nastajanje kondenzata na površini građevinskog elementa. Pod određenim rubnim uvjetima (vlažnost, temperatura, dostava hranjivih tvari, trajanje izloženosti) može doći do stvaranja plijesni. [5]

Ako je plijesan zahvatila manju količinu zida, nerijetko može biti sanirana postupkom struganja, premaza impregnacije i učestalog provjetravanja, te kao takva nije opasnost za zdravlje. Navedene su situacije često povezane promjenom drvene stolarije u PVC, zbog pojačanog kondenziranja i slabijeg strujanja zraka. U slučaju da razmnožena plijesan zahvaća veću površinu zida, problem može biti riješen isključivo uz stručno savjetovanje i obnovom toplinske izolacije cijelog objekta.

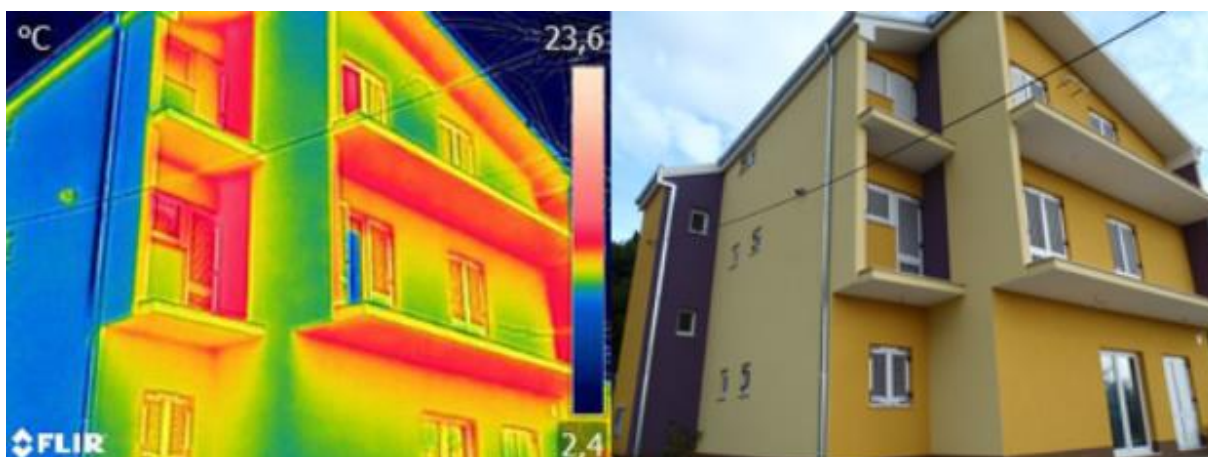
Vrste toplinskih mostova :

1. *Strukturalni* : najčešće uzrokovani diskontinuitetom materijala u ovojnici i javljaju se oko prozora, vrata, podnih spojeva
2. *Geometrijski* : ovise o obliku konstrukcije; dvodimenzionalni ili trodimenzionalni mostovi koji su posljedica promjene oblika ili debljine materijala
3. *Kombinirani* : kada je toplinski most aktivan u dijelu konstrukcije koja odgovara opisu prethodna dva ; krovovi (slika 2.1.2), konzole



Slika 2.1.2. Ravni krov - kombinirani toplinski most

Izgrađeni objekti mogu biti pregledani putem IC termografije. Na snimkama se mogu identificirati gubici toplinske energije kroz ovojnicu promatrane građevine. Preko toplinske slike se uoče mjesta procurivanja, povišene vlažnosti u konstrukciji i delaminacija žbuke, te se lakše utvrđuje uzrok i sanacija. Opcije korištenja su i više nego korisne za preventivnu provjeru u slučaju kupnje stambenih ili javnih prostora, kojima je golim okom nemoguće vidjeti unutrašnje pravo stanje materijala. Rezultat snimanja zove se termogram, a jarke boje na prikazu predstavljaju mjesta odskakanja u temperaturi.



Slika 2.1.3. Termogram građevine na kojoj su loše izvedeni toplinski mostovi; crvena boja prikazuje mjesta s najvećim prolazom topline

3. ENERGETSKA UČINKOVITOST

Smatram da je pojam energetske učinkovitosti postao aktualna tema ulaskom Hrvatske u Europsku uniju. Promjena standarda življenja apelira na nove životne navike i modernizaciju zakona koji idu u prilog čovjeku i prirodi. Od listopada 2014. godine na snazi je Zakon o energetske učinkovitosti čiji je glavni cilj : ' *smanjenje negativnih utjecaja na okoliš iz energetskog sektora, poboljšanje sigurnosti opskrbe energijom, zadovoljavanje potreba potrošača energije i ispunjavanje međunarodnih obveza Republike Hrvatske u području smanjenja emisije stakleničkih plinova i to poticanjem mjera energetske učinkovitosti u svim sektorima potrošnje energije.*' (NN 127/14) [6]

U prošlosti, posebno početkom dvadesetog stoljeća, nije se vodilo računa o ograničenosti zaliha neobnovljivih fosilnih energenata (ugljen, nafta i zemni plin), a zbog nemarne potrošnje oni u novije vrijeme postaju skuplji i sve ih je manje. Sada se procjenjuje da bi alternativni izvori energije mogli zadovoljiti današnje potrebe u stanogradnji. Znanost i tehnika neprestano se usavršavaju, a samim time i unapređuju načini korištenja izvora. Najznačajniji su sunčana energija, kinetička energija vjetra, bioenergija i energija morskih valova, stvoreni su i dinamički toplinski materijali kojima je moguće kontrolirati toplinsku vodljivost ovisno o potrebama i mjestu gradnje objekta. Uporaba alternativnih izvora energije temelji se na principu da novi obnovljivi izvori energije moraju biti tehnički ostvarivi i ekonomski isplativi, a cijena mora biti barem jednaka ili niža od cijene konvencionalnih izvora energije (fosilni energenti i hidroenergija). [7]

Na slici 2.3. prikazano je kako je uz sektor prometa, električna energija u zgradarstvu najveći potrošač gledajući potrošnju u MWh. Kako se alternativni izvori energije već aktivno koriste, evidentno je da se održivom gradnjom može značajno smanjiti količina potrošnje energije. Oni dolaze u obliku fotonaponskih čelija, vjetrogeneratora, HVAC sustava i toplinskih pumpi.

Kao dio direktive Europske Unije o ukupnoj energetske učinkovitosti zgrada, države koje su članice EU postavljaju cilj uvođenja standarda zgrada gotovo nulte energije (NZEB) do 2020. godine. Takav standard niskoenergetskih kuća podrazumijeva visoku razinu TI, što smanjuje ukupni gubitak topline kroz vanjsku ovojnicu zgrade. Cilj je maksimalno smanjiti aktivni sustav grijanja ili čak potpuno isključiti njegovu uporabu iz standardnog načina gradnje. Većina preostalih zahtjeva za topline može biti pokrivena pasivnim izvorima topline. [8]

Na našim prostorima više od 80% stambenih objekata nema energetske prihvatljive ovojnice. Taj je podatak rezultat energetske pregleda zgrade kojeg izdaje ovlaštena osoba, a zove se izvješće o energetske pregledu. Kako se svakom objektu energetska učinkovitost može poboljšati, nakon pregleda se u izvješću predlažu preinake i izolaterska rekonstrukcija kompletne ovojnice ili određenog djela.

Nakon proračuna geometrijske prirode, ovlašteni unosi podatke u program za izračun fizike zgrade. Energetske certifikati su zakonski dokumenti o energetske stanju pregledane građevine. Cilj izdavanja je informacija o energetske razredu i uvid o razini energetske učinkovitosti. Energetske razredi dijele se u skupine označene abecednim redom od A+ do G.

Pregled čini :

- Lociranje objekta zbog uvida u prosječne temperature (rezultat se evidentira u Registru certifikata)
- bilježenje tipologije izgradnje objekta – najčešće vođeno iskustvom
- tlocrtni plan s mjerama (uz naznake grijanog i negrijanog prostora, vanjskog zraka i stranama svijeta)
- izmjerene kvadrature otvora, nadvoja, serklaža, parapeta
- popis sustava za grijanje i hlađenje
- popis rasvjetnih tijela i ostalih potrošača energije
- konzultacije o mjesečnoj potrošnji energije posljednje 3 godine

Kako bi se postigao energetska razred A, objekt mora imati izvrsno izvedenu ovojnicu. To znači da bi zidovi trebali biti obloženi sa minimalno 15cm toplinske izolacije, a strop zbog veće toplinske provodljivosti 25cm. Stolarija mora biti kvalitetno postavljena sa ispravnim brtvama i staklima male toplinske provodljivosti, a poželjna je i dodatna zaštita od sunca u obliku roleta. Otvori orijentirani prema sjevernom pročelju morali bi biti minimalni zbog povećanih toplinskih gubitaka.

U slučaju da rezultati pregleda ne zadovoljavaju propise, poželjno je započeti projekt energetske obnove. Projekt nije jeftin, no ulaganja financija u obnovu postanu isplativa narednih godina u obliku uštede energije za grijanje, odnosno hlađenje. Period povrata za gledanu građevinu može biti iskazan proračunom koji je dodatak projektu obnove. Pravilnik o energetskom certificiranju zgrada zahtjeva da certifikat moraju imati dvije skupine građevina :

1. Stambene zgrade
 - Samostojeće obiteljske kuće, kuće u nizu i stanovi u zgradama
2. Nestambene zgrade
 - Obrazovne ustanove, poslovni objekti, zdravstvene i kulturno umjetničke zgrade
 - Trgovački centri
 - Ostali objekti u kojima se regulira unutarnja mikroklima

Energetski razred	$Q_{H,nd,ref}$ – specifična godišnja potrebna toplinska energija za grijanje u kWh/(m ² a)
A+	≤ 15
A	≤ 25
B	≤ 50
C	≤ 100
D	≤ 150
E	≤ 200
F	≤ 250
G	> 250

Slika 3.1. Tablični kriterij utvrđivanja energetskog razreda

3.1. Fizika zgrade

Nakon statike, izolacija objekta ima primarnu važnost u kvaliteti gradnje, stoga jedan dio projektne dokumentacije obuhvaća fiziku zgrade u obliku Elaborata racionalne uporabe energije i toplinske zaštite zgrade.

Promjenjiva veličina koja je najprisutnija u energetici zgradarstva jest toplina. Toplinu se u fizici definira na više načina, a gledano iz aspekta energije, ona je prenesena toplinska energija koja prelazi s tijela više temperature na tijelo niže temperature i teži uspostavljanju ravnoteže. Ako promatramo ovojnicu sastavljenu od više slojeva, evidentno je da svaki sloj ima svoju toplinsku provodljivost, gustoću, sastav i debljinu, te ne preuzima energiju u jednakoj količini i brzini.

Kvalitetno projektiranje slojeva materijala vođeno je zadatkom da ne dopušta narušiti funkciju ovojnice djelovanjem termičkih kontakata. Prijenos topline u svrhu zagrijavanja može biti izvršen na tri načina [9] :

1. Kondukcija - sposobnost vođenja topline u krutim, tekućim i plinovitim sredstvima
2. Konvekcija – strujanje topline u tekućim i plinovitim sredstvima
3. Radijacija – zračenje u plinovitim i vakuumskim sredstvima

Koeficijent toplinske vodljivosti služi kao mjera količine prijenosa energije, označava se slovom λ .

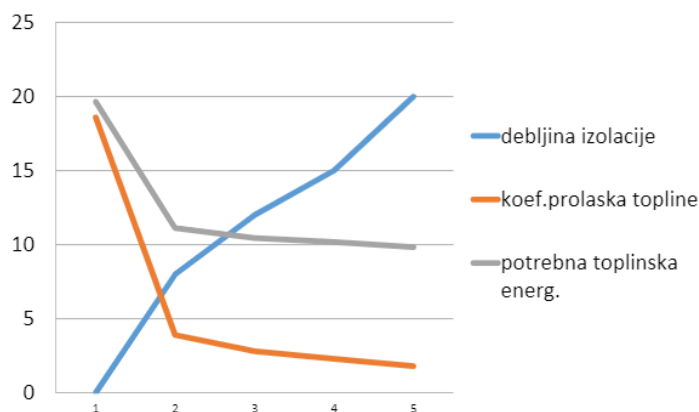
$$\lambda = q \cdot d / \Delta T \quad [\text{W/mK}] \quad (1)$$

q = gustoća toplinskog toka (W/m^2)

d = debljina materijala (m)

ΔT = razlika u temperaturi ($^{\circ}\text{K}$)

Koeficijent toplinske vodljivosti je glavna uloga toplinsko izolacijskog sustava, to jest veličina λ je mjerilo za kvalitetu materijala. Poželjno je da λ bude što manja jer to znači da je sustav termički izoliran materijalom slabe vodljivosti. U odnosu na strukturalni sastav, gusti materijali imaju manju λ .



Slika 3.1.1. Ovisnost potrebne toplinske energije o debljini izolacije i koeficijentu U

Za vrijeme djelovanja ekstremnih sezonskih atmosferskih utjecaja, ovojnica čini barijeru između vanjskih (T_1) i unutarnjih temperatura (T_2). U zimskim mjesecima, razlika između temperatura posebno dolazi do izražaja jer često bude i preko 20-30°C. Kako bi se u unutarnjem prostoru zadržala ugodna klima, vanjski zidovi i krov pružaju otpor. Taj toplinski otpor (R) predstavlja omjer debljine materijala i toplinske provodljivosti, a izražava se mjernom jedinicom m^2K/W . Svaki zasebni materijal ima vlastiti toplinski otpor koji ovisi o strukturi, porozitetu i gustoći, a zbroj svih otpora slojeva čini ukupan otpor građevinskog elementa (R_w). Ako materijal ima velik otpor, njegova izolaterska funkcija je bolja.

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

R = toplinski otpor

d = debljina sloja materijala

λ = toplinska provodljivost

Promatrajući kompletan projektirani sustav ovojnice, za ukupni toplinski otpor (R_w) potrebno je zbrojiti otpore svih homogenih materijala u presjeku sa površinskim toplinskim otporima.

$$R_w = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n + R_{se} \quad [m^2K/W] \quad (3)$$

$R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$ = otpor topline pojedinog sloja

R_{si}, R_{se} = unutarnji i vanjski plošni toplinski otpor

Kao i izolacijski, konstruktivni elementi poput zida, stropa i krova, skloni su kondukciji koja se bilježi koeficijentom U . U = količina topline koja u jedinici vremena prođe okomito kroz jedinicu površine građevinskog elementa pri jediničnoj razlici temperatura zraka sa obje strane elementa, kada je postignuto stacionarno stanje. [9] Izolacija je bolja ako je vrijednost veličine U manja.

$$U = \frac{1}{R_w} \quad [m^2K/W] \quad (4)$$

U = koeficijent prolaska topline

R_w = toplinski otpor

Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje označava se sa $Q_{H,nd}$; to je računski određena količina topline koju sustav grijanja treba dovesti u zgradu tijekom jedne godine, s ciljem da se održi prosječna unutarnja temperatura za razdoblje grijanja. [10]

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn} \quad [kWh] \quad (5)$$

$Q_{H,nd}$ = potrebna toplinska energija za grijanje

$Q_{H,ht}$ = izmjenjena toplinska energija u periodu grijanja

$\eta_{H,gn}$ = faktor iskorištenja toplinskih dobitaka

$Q_{H,gn}$ = ukupni toplinski dobici zgrade u periodu grijanja ukupno

Za primjer : gledamo međukatnu konstrukciju koja graniči s negrijanim potkrovljem veličine 10x10m, odnosno $A=100\text{m}^2$. Slojevi su :

1. Žbuka

$$\lambda_1 = 0,8 \text{ W/K} \quad d_1 = 2 \text{ cm}$$

2. Opeka (FERT strop)

$$\lambda_2 = 0,6 \text{ W/K} \quad d_2 = 10 \text{ cm}$$

3. Armirani beton

$$\lambda_3 = 1,2 \text{ W/K} \quad d_3 = 10 \text{ cm}$$

Zadatak je dobiti realni gubitak u kW, gledajući djelovanje konstrukcije 10 dana (240 h) prema vanjskoj temperaturi (T_1) koja u prosjeku iznosi -10°C , dok je unutarnja (T_2) $+20^\circ\text{C}$, te usporediti kakav bi gubitak bio ako se u slojeve doda mineralna vuna debljine 20 cm. Zbog pojednostavljenj izračuna, zanemareni su površinski toplinski otpori.

$$R_1 = \frac{0,02}{0,8} = 0,025 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_2 = \frac{0,1}{0,6} = 0,17 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_3 = \frac{0,1}{1,2} = 0,08 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_w = R_1 + R_2 + R_3 \quad (3.1)$$

$$R_w = 0,275 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{0,275} = 3,64 \text{ W/m}^2\text{K} \cdot 100\text{m}^2 \cdot 30^\circ\text{C} \cdot 240\text{h} = 2\,620,800 \text{ kW}$$

4. Mineralna vuna

$$\lambda_4 = 0,035 \text{ W/K} \quad d_4 = 20 \text{ cm}$$

$$R_4 = \frac{0,2}{0,035} = 5,71 + R_w = 5,99 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{5,99} = 0,17 \text{ W/m}^2\text{K} \cdot 100\text{m}^2 \cdot 30^\circ\text{C} \cdot 240\text{h} = 122,400 \text{ kW}$$

$$2620,8 - 122,4 = 2498,4 \text{ kW} \quad \text{UŠTEDA}$$

4. TRADICIONALNI MATERIJALI

Znanstvena otkrića u 20. stoljeću utjecala su na tada uobičajen način gradnje. Nakon debelih obodnih zidova koji su preuzimali ulogu nosivosti i izolacije, dolazi do revolucionarnih promjena u detaljima i slojevima objekata. Mijenjali su se tipovi nosivih konstrukcija i koristili novi materijali u ovojnici koji su omogućavali veću fleksibilnost u oblikovanju.

Među nizom promjena koje je obilježilo prošlo stoljeće nalaze se i pisane norme i zakoni kojima se pristupalo u gradnji. Cilj reforme je smanjiti toplinske gubitke, smanjiti količinu vlage u prostoru u kojem se boravi, očuvati cijelost fasade i smanjiti troškove za korištenje energije.

Tradicionalnu TI dijelimo na dvije kemijske skupine :

1. Anorganske materijale (mineralna vuna; kamena vuna, staklena vuna)
2. Organske materijale (EPS, XPS, PUR, PIR)

4.1. Mineralna vuna

Mineralna vuna je anorganski materijal proizveden od sirovih materijala tretiranih visokim temperaturama. Obuhvaća dvije vrste različitih baznih materijala :

1. Kamena vuna

Kamena vuna je izolaterski materijal na bazi kamena dolomita, bazalta i dijabaza koji su obrađeni pod temperaturom od 1600°C. Nakon dosezanja točke taljenja dodaje se gorivo koks, te se smjesa uz dodavanje veziva za tvrdoću nastavlja taliti do vlaknastog stanja. Iz vlakana koja nastaju oblikuje se sloj kamene vune koji se potom oblikuje u izolacijske ploče ili role.

Karakteristike[11] :

- kratka vlakna
- veća gustoća od staklene vune
- visoka čvrstoća na tlak
- odlično izoliranje od zvuka
- negoriv materijal, klasa negorivosti A1
- maksimalna radna temperatura 750°C
- veća otpornost na požar od staklene vune
- niža elastičnost materijala
- otporna na mehanička oštećenja
- mogućnost prilagodbe i kaširanja ovisno o namjeni (ventilirane fasade)



Slika 4.1.1. Izoliranje zida kamenom vunom



Slika 4.1.2. Nanos ljepila

2. Staklena vuna

Staklena vuna je izolaterski produkt kvarcnog pijeska i 50-60% recikliranog stakla. Spoj tih materijala se tali u peći do željene smjese, koja se zatim ulijeva u rotore za daljnu preradu. Iz dobivene smjese oblikuju se duguljasta vlakna koja se tretiraju vezivom. Iz vlakana se potom oblikuje sloj staklene vune, koju se reže i pakira u role.

Karakteristike[11] :

- elastičnija vlakna nego kod kamene vune
- vlakna su duža, a duži je i materijal
- jednostavnija je za ugradnju jer nije potrebno precizno rezanje materijala
- kod ugradnje ne ostaju prazna i nepopunjena mjesta; toplinski mostovi
- manje je gustoće od kamene vune
- niže je čvrstoće na tlak od kamene vune
- odlična za zvučnu izolaciju
- negoriv materijal, klasa negorivosti A1
- max. radna temperatura 230 °C
- visoka zatezna čvrstoća
- otporna na mehanička oštećenja



Slika 4.1.3. Oblaganje krovišta staklenom vunom

NAZIV MATERIJALA :	MINERALNE VUNE
Vrsta – prema građi molekula:	niskomolekulni spojevi
Podvrsta :	vlaknasti materijali
Podrijetlo :	anorgansko, mineralno
Kriterij nastajanja	sintetski materijali
Uporabna forma:	ploče i role (filčevi)



Neka fizikalna svojstva materijala STAKLENE VUNE	
Gustoća ρ (kg/m ³)	15-150
Specifični topl.kapacitet C_p (J/(kg*K))	840-1000
Toplinska provodljivost λ W / (m*K)	0.035 0.045
Koef.otpora prolaska vodene pare μ (zrak = 1)	1-2
Dugotrajna absorpcija vode % vol.	<3

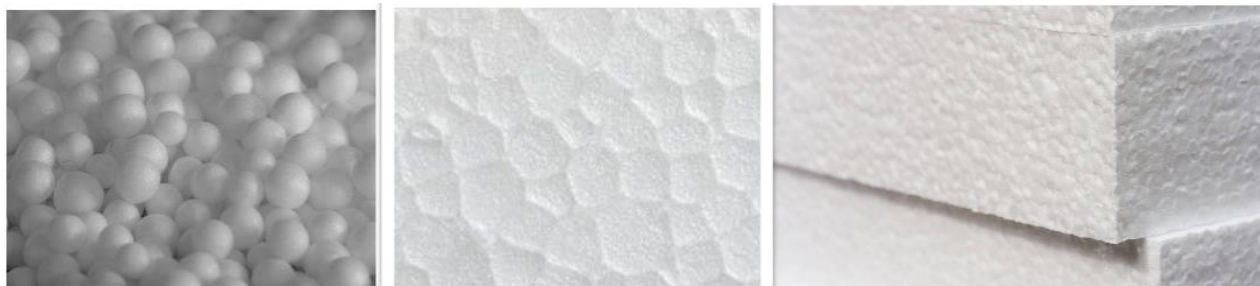


Neka fizikalna svojstva materijala KAMENE VUNE	
Gustoća ρ (kg/m ³)	20-200
Specifični topl.kapacitet C_p (J/(kg*K))	600-840
Toplinska provodljivost λ W/ (m*K)	0.035 0.045

Slika 4.1.4. Fizikalne karakteristike mineralne vune

4.2. Ekspandirani polistiren (EPS)

Polistireni su plastike koje se dobivaju iz nafte, a baziraju se i na spojevima molekula stirena. Ekspandirani polistiren se proizvodi od sirovine koja nalikuje zrnju šećera i koja se zagrijava parom na oko 100°C. Svako zrnce ekspandira na oko 30-50 puta svog prvotnog volumena, a gustoća im se smanji sa 600kg/m³ na 10-30kg/m³. [12]



Slika 4.2.1. Promjena strukture polistirena

Predekspondirane granule sazrijevaju na zraku u ventiliranim silosima, nakon čega se ugrađuju u metalne kalupe i sljepljuju u konačni oblik. Nakon vađenja iz kalupa potrebno je sazrijevanje kako bi iz materijala izašli zaostala voda i pentan (ugljikovodik). Kod proizvodnje jednostavnih ploča, u kalupima se proizvode veliki blokovi, koji se nakon sazrijevanja režu vrućom žicom na konačne dimenzije i pakiraju. [12]



Slika 4.2.2. Posljedica izgaranja stiropora; Studentski dom Cvjetno naselje

Prepoznatljivi naziv za polistiren je stiropor. On je multifunkcionalan materijal koji se koristi najčešće u graditeljstvu kao toplinski i zvučni izolator. Obzirom da je 95% njegovog sastava zrak, vrlo je lagan za ugradbu i transport. Iako su mu cijena i toplinske karakteristike solidne, stiropor je lako goriv materijal čije izgaranje brzo zahvaća ostatak fasade pojavom sekundarnih požara. Zbog te opasnosti tehnički propisi nalažu da se velike fasadne plohe EPS izolacije prekidaju, odnosno, kombiniraju s prekidima mineralne vune. U praksi su to mjesta oko otvora, jer su najčešći izvor pojave prvih plamena. Pod visokim temperaturama je topljiv kao i ostale plastike, a vatra reproducira crni dim koji je opasan za ljude i okoliš. Dimenzije EPS ploča su 100x50cm, a debljina varira po potrebi, od 2,5-30 cm.

NAZIV MATERIJALA	EKSPANDIRANI POLISTIREN
Vrsta – prema građi molekula:	polimer
Podvrsta :	čelijasti materijal, penoplast
Podrijetlo :	organsko, neživi organizmi
Kriterij nastajanja	sintetski materijal, plastika
Uporabna forma:	tvrde, rezane ploče i otpresci



Neka fizikalna svojstva materijala	
Gustoća_ρ (kg/m³)	15-30
Specifični topl.kapacitet_Cp (J/(kg*K))	1500
Toplinska provodljivost λ W / (m*K)	0.032- 0.040
Koef.otpora prolaska vodene pare_μ (zrak = 1)	20-100
Dugotrajna absorpcija vode_% vol.	1-5
Max. radna temperatura_dugotrajna_(°C)	80-85
Max. radna temperatura_kratkotrajna_(°C)	
Razred gorivosti-Euroclass	E
Razred gorivosti-Klasa građ. materijala	B1
Tlačno naprezanje_kPa	60-200
Vlačno naprezanje_kPa	
Napomene	

Slika 4.2.3. Fizikalne karakteristike EPS-a

4.3. Ekstrudirani polistiren (XPS)

Izolacija od ekstrudiranog polistirena proizvodi se postupkom ekstruzije. To je proces koji rezultira zatvorenom ćelijskom strukturom, glatke površine pri vrhu i dnu ploče. Zatvorena struktura sprječava prodiranje vode u unutrašnjost izolacijske ploče i tako osigurava dugoročnu čvrstoću i trajnost obloge. [13] Kvalitete koje stirodur razlikuju od stiropora su neosjetljivosti na vlagu i visoku tlačnu čvrstoću. Zbog tih se svojstava upotrebljava u različitim područjima visoko i nisko gradnje, ali najučestalija je na mjestima kojima prijete opasnost od vlage.

Primjeri korištenja su[14] :

- toplinska zaštita podrumskih podova
- toplinska izolacija i zaštita hidroizolacije na zasutim podrumskim zidovima
- izolacijsko rješenje za ravne krovove
- dodatna izolacija kod saniranja loše izvedenih krovova
- toplinska izolacija betonskih konstrukcija (sokl, rubovi ploča, balkoni)



Slika 4.3.1. Oblaganje sokla XPS-om



Slika 4.3.2. XPS u boji

Ekstrudirani polistiren je prepoznatljiv po pastelnim bojama, (slika 4.3.2.) najčešće svijetla žuta, plava ili roza. Boje predstavljaju samo različite proizvođače materijala i ne mijenjaju njegova svojstva. Standardne dimenzije XPS ploča su 1250mm x 600mm, a optimalna debljina varira od 2cm-12 cm.

NAZIV MATERIJALA

EKSTRUDIRANI POLISTIREN

Vrsta – prema građi molekula:

polimer

Podvrsta :

čelijasti materijal, pjenoplast

Podrijetlo :

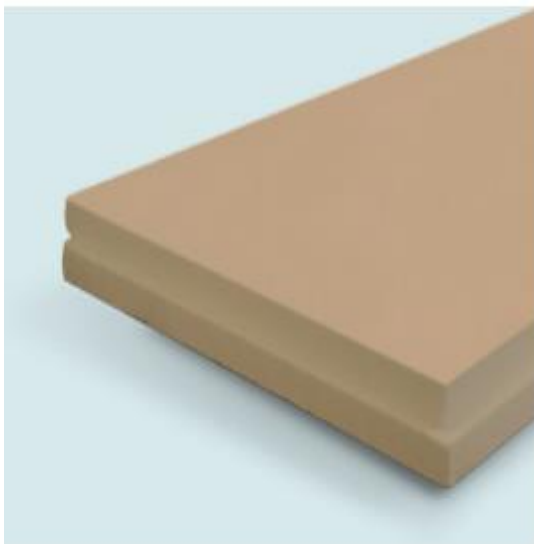
organsko, neživi organizmi

Kriterij nastajanja

sintetski materijal, plastika

Uporabna forma:

tvrde ploče



Neka fizikalna svojstva materijala	
Gustoća_p (kg/m ³)	25-45
Specifični.topl.kapacitet_Cp (J/(kg*K))	1300-1700
Toplinska provodljivost λ W / (m*K)	0.03 - 0.04
Koef.otpora prolaska vodene pare_μ (zrak = 1)	80-200
Dugotrajna absorpcija vode_% vol.	0.1-0.3
Max. radna temperatura_dugotrajna_(°C)	75
Max. radna temperatura_kratkotrajna_(°C)	
Razred gorivosti-Euroclass	E
Razred gorivosti-Klasa građ. materijala	B1
Tlačno naprezanje_kPa	50-250
Vlačno naprezanje_kPa	
Napomene: Ne proizvodi se u Hrvatskoj	

Slika 4.3.3. Fizikalne karakteristike XPS-a

4.4. Poliuretanske pjene (PUR i PIR)

Poliuretanske pjene su izolacijski materijali u obliku krute pjenaste ploče ili blokova od umjetnog materijala. Bazni materijal od kojih se rade su tvornički tretirane plastike. Najznačajnija razlika između PUR i PIR pjene je reakcija na vatru. Kroz rad je spomenuto kako svi materijali na bazi plastike brzo izgaraju, ali PIR ima nešto jaču otpornost. Izgaranje uzrokuje pare otrovnije od svih prethodnih izolacija, stoga se takve posljedice sprječavaju spajanjem pjene s drugim kompozitnim materijalima. To najčešće budu sendvič paneli koji predstavljaju lake troslojne konstrukcijske materijale (unutarnje i vanjske obloge ispunjene izolacijom).

Za obradu i ugradnju PIR izolacijskih ploča na gradilištu nisu potrebni posebni alati. Obzirom da nisu topljive, nemoguće ih je rezati ugrijanom žicom, no preinake mogu biti jednostavno izvedene uporabom adekvatnog alata za rezanje, bušenje ili brušenje. [15]

Rubovi PIR ploča mogu se obraditi tako da se ploče spajaju preklopom (vidi sliku 4.4.1.) odnosno tehnikom zvanom pero-utor, tako se sprječava diskontinuitet materijala i mogućnost nastanka toplinskih mostova. Uzimajući u obzir strukturu zatvorenih ćelija, ploče su zrakonepropusne i vodonepropusne. Na temelju visoke tlačne čvrstoće i čvrstoće na savijanje ploče su dimenzijski stabilne i pod opterećenjem. [15]

Pravilnikom o uštedi energije (EnEV) određeno je kako je minimalna montirana debljina pjene 10 cm, no dostupnost materijala raspolaže debljinama od 5-12cm.



Slika 4.4.1 PIR ploča za međukatnu izolaciju



Slika 4.4.2. PIR ploča za TI krovova i terasa

Osim što se može koristiti samostalno, pjena je nerijetko kaširana dodatnim materijalom kako bi izolacija za namijenjeno područje bila učinkovitija. Obostrano kaširana mineralnim flisom (slika 4.4.1.) odličan je izolator za međukatne konstrukcije između grijanog i negrijanog prostora ili alu-folijom (slika 4.4.2.) za ravni krov, podove ili terase. Sama činjenica da oko samog materijala postoji dodatna obloga, umanjuje vjerojatnost za uništavanje jezgre prilikom montaže. Također, postoje razne dimenzije i oblici kojima se prilagođavaju prostoru; oblici kosog trapeza za kutove, prorezi za fleksibilnost izoliranja zakrivljenih podkonstrukcija, itd.

NAZIV MATERIJALA**PLOČE OD POLIURETANSKE PJENE**

Vrsta – prema građi molekula:

polimer

Podvrsta :

čelijasti materijal, pjenoplast

Podrijetlo :

organsko, neživi organizmi

Kriterij nastajanja

sintetski materijal

Uporabna forma:

tvrde i meke, rezane ili u kalupu oblikovane ploče



Neka fizikalna svojstva materijala	
Gustoća_p (kg/m ³)	30-100
Specifični.topl.kapacitet_Cp (J/(kg*K))	1400-1500
Toplinska provodljivost λ W / (m*K)	0.024- 0.030
Koef.otpora prolaska vodene pare_ μ (zrak = 1)	30-200
Dugotrajna absorpcija vode_% vol.	1.3-3
Max. radna temperatura_dugotrajna_(°C)	-30 do +120
Max. radna temperatura_kratkotrajna_(°C)	
Razred gorivosti-Euroclass	C-s3,d0 B-s2,d0
Razred gorivosti-Klasa građ. materijala	B1, B2
Tlačno naprezanje_kPa	100-500
Vlačno naprezanje_kPa	
Napomene	

Slika 4.4.3. Fizikalne karakteristike poliuretanske pjene

5. SUVREMENI MATERIJALI

Kako bi se smanjili presjeci ovojnice u zgradarstvu i omogućila se apsolutna fleksibilnost u izradi arhitektonski avangardnih fasada, stručnjaci nastoje ukomponirati laboratorijski otkrivene materijale u građevinarstvo. Na tržištu su dostupni različiti tradicionalni materijali od kojih svaki ima područje svoje primjene, no kako svi sektori napreduju i tradicija nastoji biti unaprijeđena. Cilj je stvoriti proizvode koji površinski ne zauzimaju puno prostora, a funkcionalno nadmašuju sve koji postoje danas.

Za implementaciju novih materijala na tržište potrebna su desetljeća, ali ako ih klijenti krenu koristiti kao tradicionalne izolatore, promijenit će se životni standard čovjeka i ekosustava. Forma napredne TI prikazana je u obliku AIM (Advanced Insulation Materials) slojeva koji su bazirani na nanotehnologiji. Nano predstavlja jedinicu 10^{-9} koja u trenutnoj tematici predstavlja veličinu pora promatranog materijala.

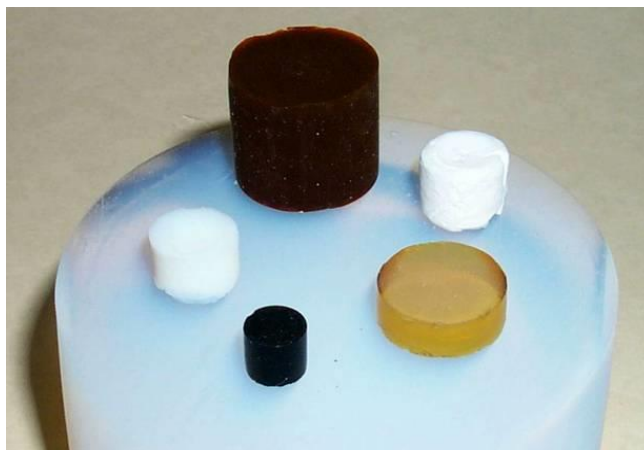
5.1. Aerogel

Nerijetko nazivan 'kruti dim' ili 'smrznuti dim', aerogel je umjetan materijal čije se postojanje bilježi od 1931. godine. Znanstveno je otkriće koje nema sličnosti sa strukturom gela kakvog poznajemo, već ga protivno tome definira pojam najveće krutosti među izolaterskim materijalima.

Prvotni sastav aerogela razlikuje se od sastava modernog, a jednako vrijedi i za njegovu uporabu. Izrađivan je na bazi silicija, aluminijske ili celuloze, a koristio se u kozmetičke svrhe. U drugoj polovici 20. stoljeća stvarali su se aerogeli organskog i anorganskog podrijetla. Spoj njihovih komponenta i dalje se uspješno analizira zbog revolucionarnih fizičkih, kemijskih i strukturalnih karakteristika, a produkt se zove hibridni nanokompozit.

Dvije faze stvaranja aerogela [16] :

1. Stvaranje 'vlažnog' gela
2. Superkritično sušenje: proces uklanjanja vlage iz smjese nakon kojeg ostaje samo kruta silikatna mreža



Slika 5.1.1. Vrste aerogela različitih baznih materijala

1. Svojstva aerogela

Poroznost aerogela ponekad iznosi i preko 99%, međutim još uvijek ne postoje dovoljno precizne metode za točno određivanje strukture poroznih materijala. Najčešća metoda je plin/para apsorpcija u kojoj uzorak aerogela apsorbira određenu količinu plina (dušika). Ta količina ovisi o veličini pora, te se BET (Brunauer, Emmet i Teller) jednadžbom može dobiti površina materijala.

U aerogelu su prisutne sve vrste pora [16]:

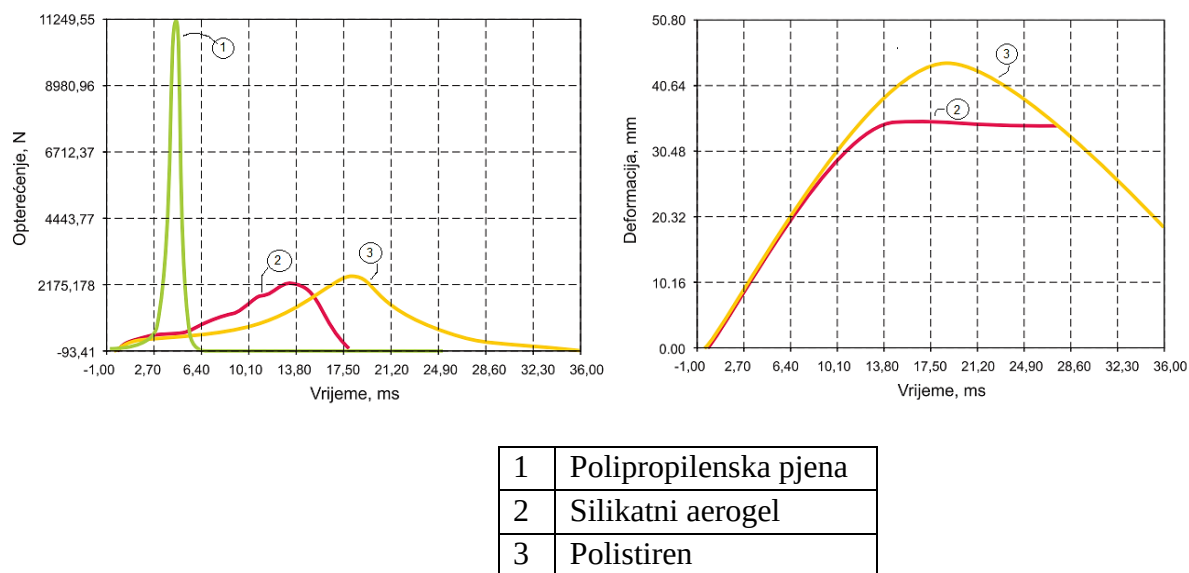
- mikropore - promjer manji od 2 nm
- mezopore (najučestalije) - promjer između 2 nm i 50 nm
- makropore - promjer veći od 50 nm

Tablica 1. Svojstva silikatnih aerogelova [16]

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

2. Mehanička svojstva

Mehanička svojstva aerogela ovise o načinu i uvjetima proizvodnje, odnosno o kemijskim vezama u materijalu. Kod proizvodnje u kiselim ili neutralnim uvjetima dobivaju se duplo veće krutosti materijala od onih proizvedenih u lužnatim uvjetima. Ovi materijali dobro apsorbiraju kinetičku energiju. Prilikom udara, do loma u materijalu dolazi tek postupno, jer se određena količina energije apsorbira u zrak kroz pore, te se sila prenosi kroz dulje vrijeme.

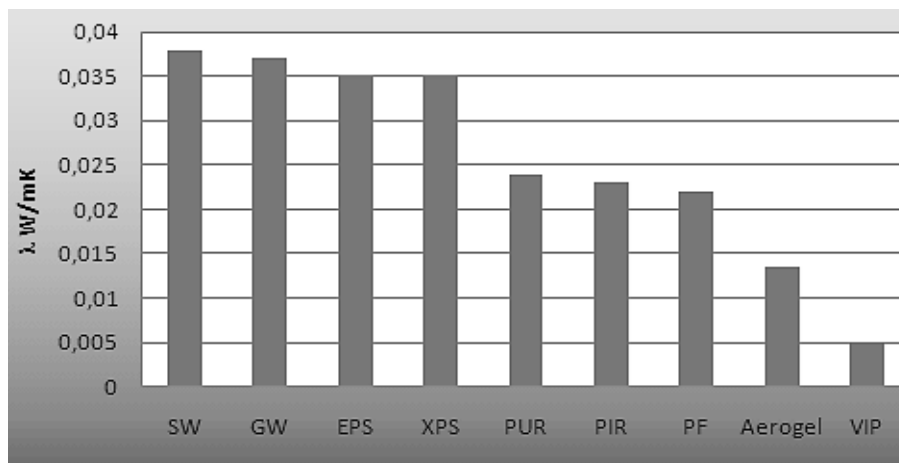


Slika 5.1.2. Usporedba materijala tijekom opterećenja i deformacija

Polipropilenska pjena je najpogodniji materijal za apsorpciju udarne energije, ali isto tako veliki dio apsorbirane energije vraća natrag objektu koji je udario. To nije slučaj s aerogelom čiji je povrat apsorbirane energije znatno manji. [16] U priloženim usporedbama, riječ je o aerogelu izrađenom od silicija, koji je zbog velike krutosti sklon pucanju. Zbog tog nedostatka, laboratorijski je razvijen aerogel na bazi polimera koji je otporan na savijanje i ekstremno opterećenje. Drugim riječima, nova generacija polimer aerogelova ima najbolja mehanička svojstva jer je njihova otpornost na mehaničku deformaciju čak 500 puta veća u usporedbi sa ostalim materijalima laboratorijskog porijekla. [17]

3. Toplinska svojstva

Koeficijent toplinske vodljivosti aerogelova je izuzetno nizak, što ga čini poželjnim izolaterskim materijalom. Udio provođenja topline u koeficijentu ovisi o gustoći (stupnju poroznosti) i atmosferskom tlaku. Obzirom da je aerogel materijal koji se praktički sastoji od pora, provodljivost topline se i odvija kroz njih. Otkriveno je da se izolaterska svojstva mogu poboljšati smanjenjem tlaka plina u materijalu, što otkriva da je aerogel najotporniji u stanju vakuuma. Prosječna toplinska provodljivost aerogelova iznosi 0,014 W/mK, što je u usporedbi s ostalim izolacijskim materijalima vrlo niska vrijednost.



Slika 5.1.3. Usporedba toplinske provodljivosti izolaterskih materijala

Izolaciju aerogelom proizvela je NASA i smatra ga najotpornijim stvorenim izolatorom. Potpuno je voodootporan i vrlo dobro propušta paru. Gustoća mu je vrlo niska, fleksibilan je i otporan na gaženje, a jednostavno se može rezati i lijepiti. S obzirom na to da je to polimer, ne stari i nema plijesni, potpuno je neškodljiv za okoliš, te se bez ikakvih dorada može primjenjivati više puta. [18]



Slika 5.1.4. Toplinski otpor uzorka aerogela

4. Primjena materijala

Otkako je aerogel dostupan na tržištu, koristi se najčešće u industrijama kojima je potrebna izražajna zaštita, poput naftne, kemijske i svemirske. Jedane od oblika toplinske izolacije aerogelom su *Cryogel*, koji omogućuje izdržljivost pri vrlo niskim temperaturama do $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$, te *Pyrogel* izdržljiv na vrlo visokim temperaturama do $650\text{ }^{\circ}\text{C}$. [18]

Aerogelovi su dostupni na građevinskom tržištu u raznim izolacijskim oblicima, međutim njegova upotreba je još uvijek dosta ograničena. Proces nanotehnoloških ispitivanja su veoma skupi, stoga je i cijena aerogel izolatera visoka. Iz navedenog razloga, njegova je uporaba u građevinarstvu parcijalna, te se češće koriste u svrhu sanacija nego za cjelokupnu izolaciju objekta. *Spaceloft* je fleksibilan kompozitni materijal čije je korištenje predviđeno za građevinske i tekstilne potrebe. Proizveden je od silicijskog aerogela koji u kombinaciji s ojačanim vlaknima ima toplinsku provodljivost $15.0\text{ mW/m}\cdot\text{K}$. Osim izoliranja ovojnice, moguće ga je koristiti za TI podova, zidova s unutrašnje strane, krovova, balkona i instalacija. Kako je spomenuto, on češće služi kao dopuna tradicionalnih TI materijala kada je potrebna primjena tanke izolacije ili kao izolater zida iza radijatora.



Slika 5.1.5. Izolacija zida iza radijatora



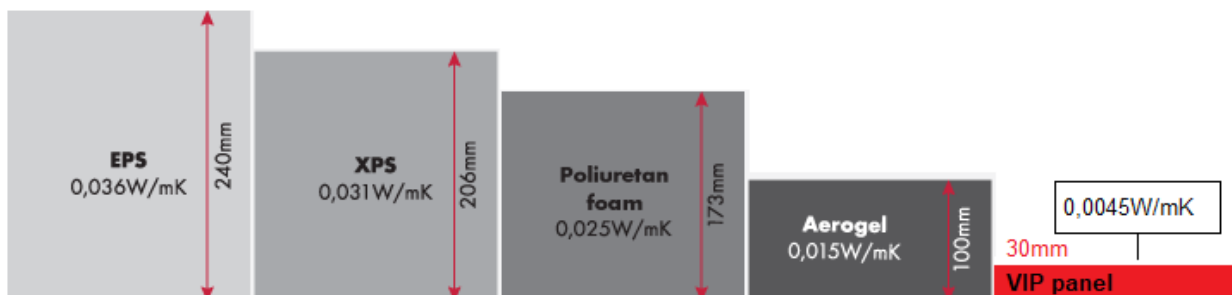
Slika 5.1.6. Aerogel rola

Kod primjene *Spacelofta* s vanjske strane zida, može s lakoćom nanijeti žbuka od vapna, akrila i mineralnih materijala, što doprinosi jednostavnosti ugradbe materijala. Izolacija na tržištu dolazi u rolama debljine 0,5 i 1 cm (Slika 5.1.5.), a koeficijent toplinske vodljivosti iznosi $0,0131\text{ W/mK}$. [18] Cijenovno, *Spaceloft* dimenzije $61\times 122\times 1\text{ cm}$ vrijedi 300 USD, odnosno 1907,73 Kn, a ako je izbor aerogela u obliku panela (*Airloy*), cijena jednog komada bude 490 USD $\cong$ 3116,20 Kn. Prednosti su :

- Reducirana debljina izoliranog zida/ poda/ krova/ instalacije
- Kratko vrijeme pripreme i postavljanja izolacije
- Jeftin transport
- Hidrofobičan ali prozračan

5.2. Vakuum izolacijski paneli (VIP)

Vakuum izolacijski paneli su kao i aerogel relativno nov proizvod koji još nije aktivan u standardnoj stambenoj gradnji. Razlog je jednak prehodnom - cijena proizvoda je uvjetovana skupim načinom proizvodnje, te proizvođačima ekonomski ne bi bilo isplativo prodavati VIP panele po iznosu kakav imaju tradicionalni materijali. Sažeto objašnjenje odijeljenja od prethodnih izolaterskih materijala jest činjenica da je faktor otpornosti VIP-a nedvojbeno učinkovitiji od tradicionalnih materijala, ako se uspoređuju jednake debljine.



Slika 5.2.1. Usporedba potrebnih debljina tradicionalnih i suvremenih TI kako bi se dobila jednaka otpornost



Slika 5.2.2. Debljine (VIP, EPS, XPS, mineralna vuna, kamena vuna) za $U = 0.3 \text{ W/ m}^2\text{K}$

Na prethodnim slikama je uz izolaterske karakteristike vidljivo i kako je VIP panelima moguće uštediti na kvadraturi prostora u slučaju da se izolacija postavlja s unutarnje strane ovojnice.

Paneli koji nisu ispunjeni zrakom, već niskoemitirajućim plinovima, zovu se GFP (gas filled panels). Najmanju provodljivost ima plin ksenon čiji je toplinski otpor R-11.

Otpori ostalih plinova su :

- Kripton : R-7,6
- Argon : R-6,4
- Zrak : R-5,0

1. Sastav VIP panela

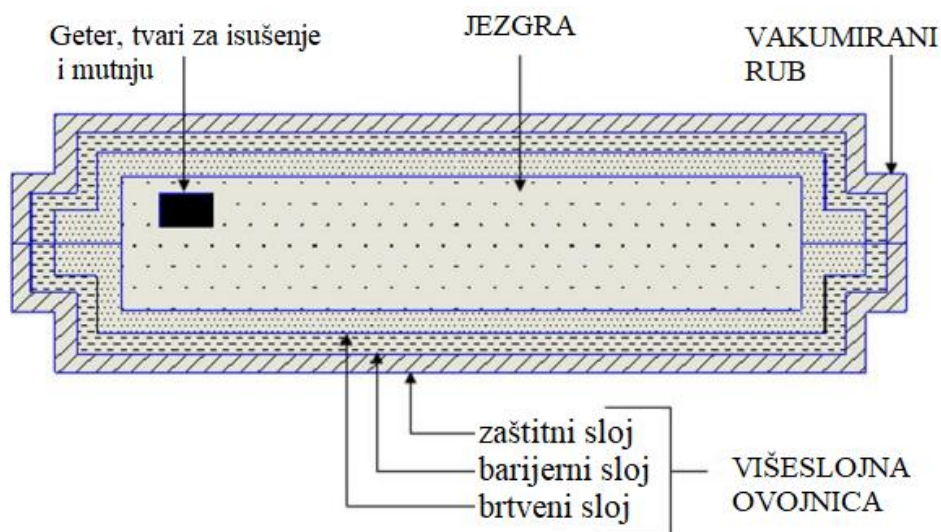
Paneli se sastoje od slojeva materijala koji su obloženi oko jezgre i štite ju od zraka. Izgledaju poput metaliziranog plosnatog paketa čije su glavne komponente :

- Vanjski sloj
- Jezgrena vrećica
- Vakumirana jezgra

Ovojnica panela uključuje tanke metalne presvlake ili višeslojne barijere od metaliziranih polimernih slojeva čija je uloga pružanje zaštite od vanjskih utjecaja. Isušivači su integrirani u jezgru, te apsorbiraju plinove i vodenu paru koja prodire u panele kroz vanjski sloj. Prve dvije navedene komponente oblažu jezgru VIP-a, pri čemu se podrazumjeva da je prilikom zatvaranja vanjskog sloja panela izvučen zrak. Tako se stvara stanje vakuuma, koje je ključno za postizanje izvanrednih toplinskih svojstava. Kod tradicionalnih izolacijskih materijala dolazi do procesa kondukcije, jer pore ispunjene zrakom ubrzavaju prijenos topline. Suprotno tome, pore bez zraka čine otporniju izolaciju. Prijenos topline zahtijeva medij preko kojeg bi bio izvršen, a glavna uloga vakumiranja je upravo ta da spriječi postojanje spomenutog medija u sastavu panela. [19]

Stanje vakuuma se postiže za vrijeme tvorničke proizvodnje i ne može biti učinjeno naknadno, jednako vrijedi i za propuštanje zraka kroz ovojnicu nakon godina ugradnje. Prema vrsti krutosti ovojnice, panele dijelimo u dvije skupine :

- VIP na bazi ploča : ovojnica je proizvedena od metalnih materijala i ima snažniju nosivost i otpornost na mehanička oštećenja
- VIP na bazi filma : ovojnicu čini višeslojni metalizirani polimerni film koji je u usporedbi sa prethodnim, fizički lakši materijal kojeg je lakše oštetiti prilikom rukovanja



Slika 5.2.3. Poprečni presjek VIP panela

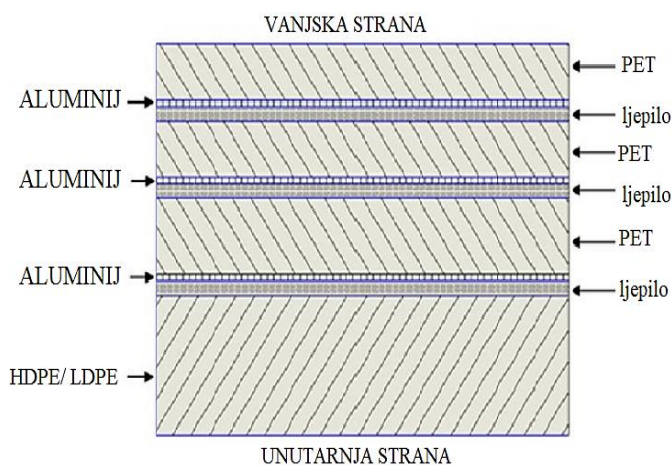
Jezgra materijala može biti sastavljena od raznih materijala, ovisno o funkciji i potrebama izolacije. Kao što je ranije spomenuto, uvjet za kvalitetnu jezgru mora biti materijal s minimalnim porama i tendencijom da stabilno drži slojeve ovojnice. Najučinkovitiji izbor je jezgra na bazi silicijevog dioksida jer mu toplinska provodljivost od 0,004W/mK ne raste čak niti ako je unutarnji tlak 1 bar. Također, može se koristiti neki od vlaknastih, spužvastih ili praškastih materijala kojima je moguće regulirati unutarnji tlak i vršiti proces vakumiranja. Neki od njih su :

- PUR i EPS : pjenasti materijali male gustoće kojima je moguće postići toplinsku provodljivost u rasponu od 0,003-0,007 W/mK
- Ekspandirani perlit i silikatni aerogel : praškasta verzija baznog materijala, ako je cilj postići nultu toplinsku provodljivost, baza aerogela ima $\lambda = 0.001 \sim 0.003 \text{ W/mK}$ čak i ako je unutarnji tlak 50mbar
- Staklena vuna (slika 5.2.4.) : vlaknasta baza koja zahtjeva potiskivanje plinske toplinske vodljivosti kako bi postigla $\lambda = 0,004 \text{ W/mK}$

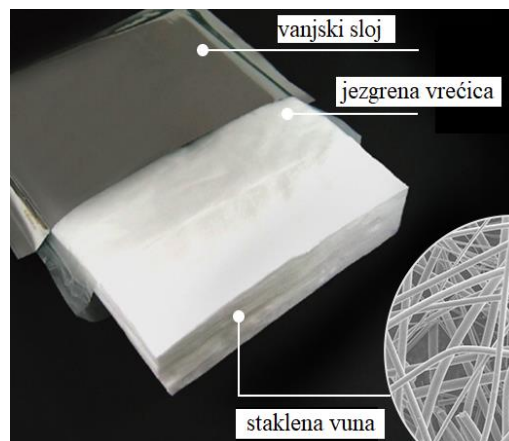
Na slici 5.2.3. prikazano je gdje su pozicionirane pojedine vrste slojeva i aditiva u jezgri:

- Barijerni sloj, aluminijska folija - regulira prolazak pare i zraka
- Brtveni sloj, HDPE i LDPE - termički zatvara jezgru
- Geter - pohranjuje i privlači eventualne elemente plina
- Tvari za isušenje - pohranjuje i privlači molekule vlage
- Tvari za mutnju - redukcija radijacijske provodnosti jezgrenog materijala

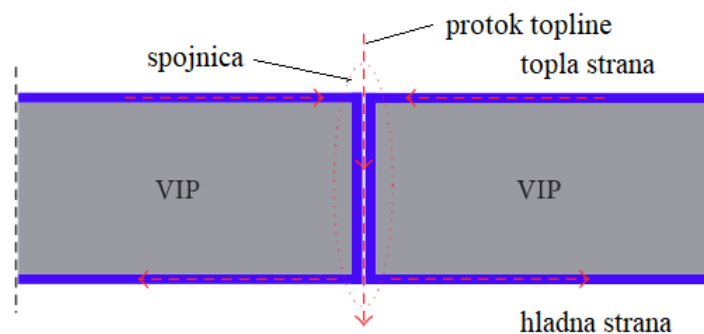
Vanjski sloj pruža zaštitu jezgri i samom panelu na sva fizička i mehanička oštećenja koja mogu biti ostvarena tijekom montiranja ili korištenja. Njegova izdržljivost ovisi o kvaliteti višeslojne ovojnice i sposobnosti da funkcionalno podnese utjecaj toplinskih mostova preko rubova. Slojevi ovojnice moraju imati ograničenu brzinu prijenosa vodene pare i kisika, kako iste ne bi prodirali u jezgru. U slučaju da plin uspije ući u jezgru, povećava se pritisak, što rezultira povećanjem toplinske provodnosti u jezgri. Ako se provodnost jezgre poveća, paneli prestaju biti funkcionalni. Metalne folije, razni polimeri i metalizirani filmovi predstavljaju materijale koji učinkovito štite jezgru. Zaštitni, krajnji sloj koji štiti od vremenskih utjecaja je vrsta polimera – PET.



Slika 5.2.4. Detalj višeslojne ovojnice

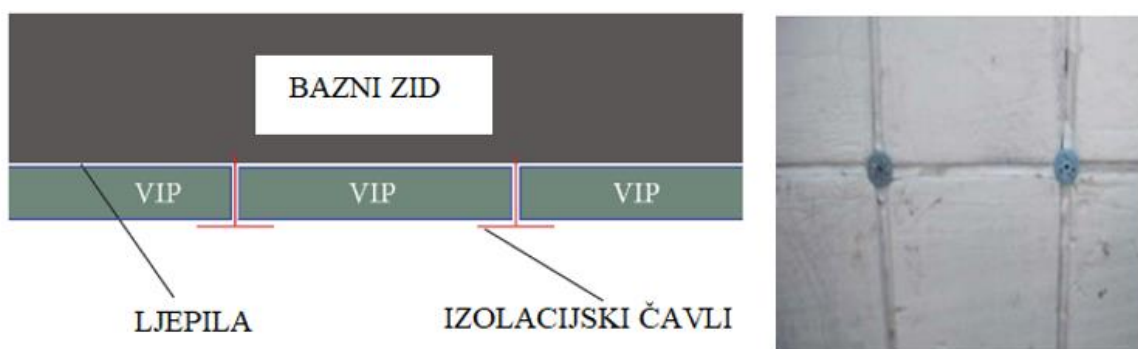


Slika 5.2.5. VIP s jezgrom staklene vune



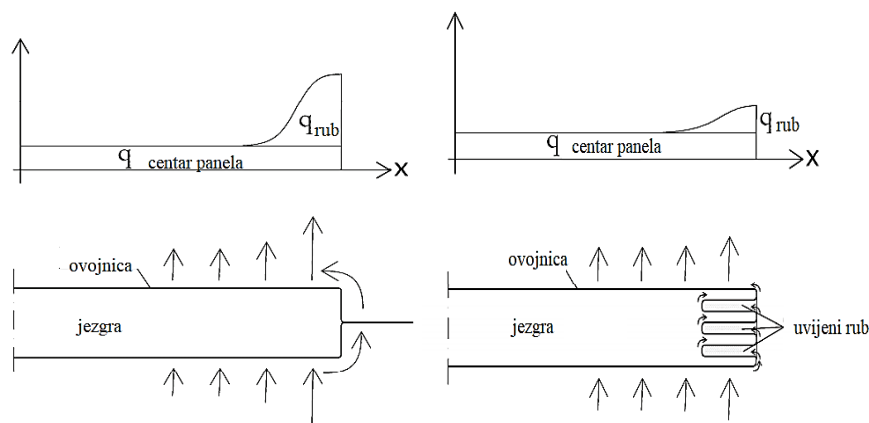
Slika 5.2.6. Protok topline kroz spoj panela

Ranije je spomenuto kako diskontinuitet izolaterskog materijala rezultira pojavom strukturalnog toplinskog mosta. U slučaju VIP panela, problematiku predstavljaju spojnice, odnosno slojevi folije na rubu panela u kojima nema jezgre, a međusobno se preklapaju zbog montiranja fasade na zid. Obzirom da je težnja postavljanja panela ostvarenje visokog stupnja energetske učinkovitosti, potrebno je maksimalno reducirati protok energije kroz spojnicu. To se postiže pravilnim i pažljivim postavljanjem panela. Pravilnim postavljanjem se izbjegava i lako postignuta šteta (bubrenje) fasade, koja je zbog visoke cijene materijala nedopustiva.



Slika 5.2.7. Shematski i stvarni prikaz montiranja panela

Bolje prijanjanje između komada panela, u smislu konstantne učinkovitosti, postiže se promišljenim dizajniranjem rubova folije koji se preklapaju za vrijeme montiranja. Na ispitanim modelima uviđeno je kako uvijeni rubovi smanjuju protok za 60% .



Slika 5.2.8. Shematski prikazana redukcija prolaska topline kroz rub panela

6. FASADE

U razvoju načina gradnje, fasada je prvenstveno imala estetsku ulogu. Njena smisao nije imala težinu u energetske učinkovitosti, već je štitila glavnu konstrukciju od djelovanja utjecaja iz prirode. Mogućnost arhitekata da se estetski izraze rezultirala je stilovima koje i danas cijesimo u polju povijesti umjetnosti arhitekture.

Trenutna tipologija gradnje nezamisliva je bez slojeva obloga koje su ranije spomenute u radu. Fasade predstavljaju sustave koji toplinski i zvučno izoliraju glavnu konstrukciju, a samim time reguliraju kvalitetu i temperaturu zraka, smanjuju mehaničke štete, te štede novac i energiju. Važnost estetike je zasjenjena funkcionalnošću održive gradnje i kvalitetnom, zakonski propisanom izolacijom koja ne umanjuje mogućnost izvedbe lijepe završne obloge.

Danas dijelimo 3 krupne podjele sustava fasada [20] :

1. Klasični fasadni sustav – čini cementni špric, žbukanje cementno-vapnenom žbukom (debljina od 2,5 cm), završna obloga može biti tankoslojna dekorativna žbuka ili boja
2. Toplinski fasadni sustav
3. Ventilirani fasadni sustav

Uz njih postoje potpodjele vezane za završnu oblogu; staklene, drvene, kamene, opekarske, metalne i keramičke fasade.

Ovo poglavlje ne sadrži analizu klasičnog fasadnog sustava jer nema sloj TI, te kao takav ne ispunjava Zakon o gradnji, niti Tehničke propise o uštedi toplinske energije i toplinske zaštite u zgradama.

6.1. Toplinski fasadni sustav

Svaki sustav čiji presjek slojeva čine nosivi, konstruktivni materijali i dodatni slojevi zaštite u obliku toplinske izolacije, predstavlja toplinski fasadni sustav.

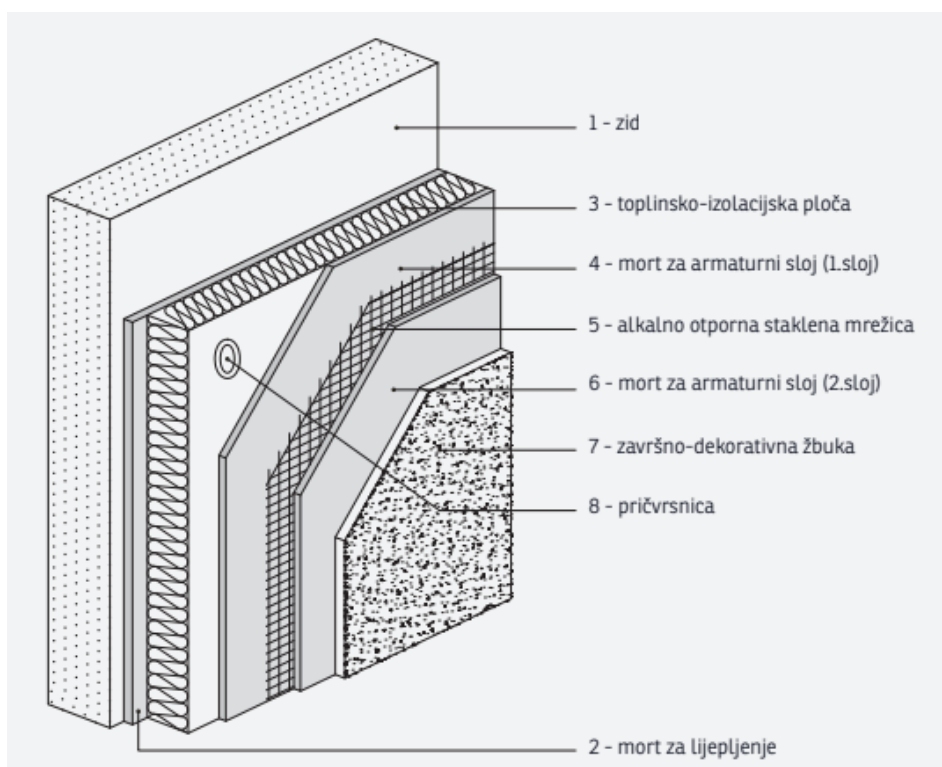
Sustav s toplinskom žbukom je pogodno rješenje za ostvarene ovojnice koje već imaju toplinsku izolaciju ; primjer : opeka s toplinskom izolacijom. Podloga se tada treba pripremiti cementnim špricom, nakon čega se pristupa žbukanju toplinskom žbukom minimalne debljine 4 cm. Sušenje apliciranih materijala kojima je debljina 1 cm traje 5 dana, te se zatim nanosi sloj finije žbuke debljine 5 mm. Postupak stvara vodoodbojnost na postojećim slojevima fasade, pa se nakon sušenja izvodi završna obrada dekorativne žbuke. [20]

Jedan od načina gradnje koji zadovoljava uvjete uštede toplinske energije na projektima u nastanku zove se ETICS ili kontakti sustav. Glavna karakteristika sustava je toplinski i zvučno izolirana kompletna ovojnica što je ujedno i preduvjet za zdravo stanovanje i dugotrajnost objekta.

Prema hrvatskim normama HRN EN 13499 i HRN EN 13500, definicija ETICS-a je sljedeća: *Na gradilištu izveden sustav koji se sastoji iz tvornički proizvedenih proizvoda. Isporučuje se od proizvođača kao potpuni sustav i sadržava minimalno sljedeće sustavu prilagođene komponente [21] :*

- *mort za lijepljenje i/ili mehaničko pričvršćenje*
- *toplinsko-izolacijski materijal*
- *mort za armaturni sloj*
- *staklenu mrežicu*
- *završno-dekorativnu žbuku*

Sve se navedene komponente odabiru ovisno o specifičnosti sustava i podloge. Kako bi se osigurala funkcionalnost, važna je savršena usklađenost komponenata sustava sa stručnim planiranjem i izvedbom.



Slika 6.1.1. Shematski prikaz slojeva ETICS sustava

Toplinsko izolacijsku ploču na slici 6.1.1. u standardnim izvedbama predstavlja EPS, XPS ili mineralna vuna, no preostali materijali nisu isključeni.

Temeljem važeće hrvatske i europske građevne regulative, proizvođači su dužni kreirati kompletni TI sustav za koji je proveden postupak ocjenjivanja sukladnosti i izdane isprave o sukladnosti u skladu s odredbama Pravilnika za ocjenjivanje sukladnosti, isprave o sukladnosti i označavanje građevnih proizvoda. Izvođači su dužni iste ugraditi prema tehničkoj uputi proizvođača i smjernicama, te vršiti kontrolu nad pravilnom isporukom i postavljanjem sustava fasade. [21]

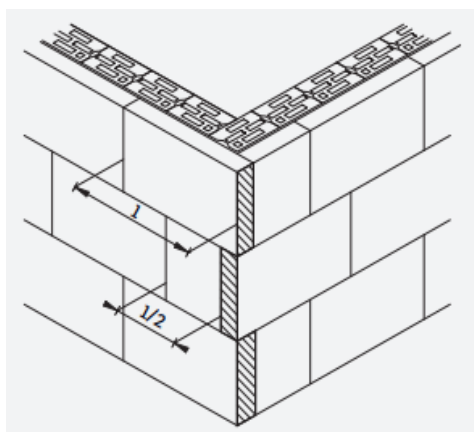
Ako razmatramo primjer ETICS fasade čija je TI često na bazi mineralne vune (prilog: Presjek kontaktna fasada na zidu od blok opeke), upoznati smo sa svojstvima vune kao tradicionalnog izolaterskog materijala. Zbog gustoće, kamena vuna zadržava toplinu unutar zidova, traje duže vremena i pruža osjećaj udobnosti. Materijal je vlaknaste strukture, što omogućava paropropusnost fasade tako da se vlaga ne zadržava u unutrašnjosti prostora, time je smanjena mogućnost pojave plijesni na unutrašnjim zidovima. U navedenom slučaju, ETICS sustav umanjuje buku iz vanjskog okruženja i također preuzima ulogu učinkovitog zvučnog izolatora.

1. Izvođenje sustava fasade

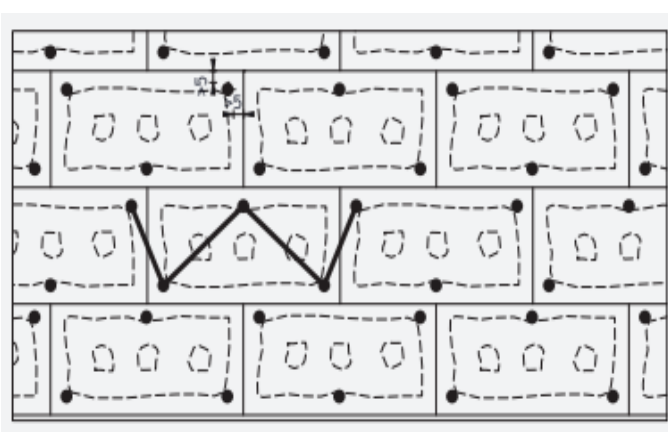
Kada je riječ o vanjskim, nosivim zidovima, sustav može biti montiran na [21]:

- 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 HRN EN 13986 – ploče na osnovi drva za vanjsku primjenu)

Sve spojeve (prozori, vrata, krov i kutija za rolete), kao i sve prodore kroz sustav (gromobranske instalacije, žljebove, elektroinstalacije i dr.), potrebno je izvesti odgovarajućim priključnim profilima ili brtvenim trakama kako bi slojevi bili zaštićeni od prodora vlage i pojave toplinskih mostova (prilozi : Presjek spoja kontaktne fasade i prozora, Presjek spoja s malim nadozidom). Pravilno izvedeni detalji spojeva bitno utječu na trajnost i funkcionalnost kompletne fasade.



Slika 6.1.2. Preklapanje TI na uglu



Slika 6.1.3. W-shema postavljanja pričvrsnica

Mort za lijepljenje može se nanositi ručno ili strojno. Prilikom nanošenja treba se obratiti pažnja na jednolično postavljanje TI materijala na podlogu kako bi se izbjegle deformacije. Ovisno o kojem je TI materijalu riječ, ljepilo se može nanositi na dva načina : obrublivanjem komada materijala i točkanjem po sredini (slika 6.1.3.) ili potpunim prekrivanjem plohe materijala. U području spojeva prema podgledima kosih krovova preporuča se zadnji red izolacijskih ploča (kojima se gornji rub reže koso) postaviti metodom floating – buttering² . Izolacijske ploče treba oblikom prilagoditi spoju s krovnom kosinom kako bi se u tom području izbjegli toplinski mostovi (prilog : Presjek spoja kosog krova i kontaktne fasade). [21] Ostatak ploča postavlja se tijesno odozdo prema gore, s preklapanjima na rubovima (slika 6.1.2.) i izbjegavajući spajanje uglova otvora sa uglovima ploča. Prije nanošenja armaturnog sloja površinu je potrebno prekriti mortom za izravnavanje od 8mm i pustiti da se suši 24 sata. Slijedi postavljanje pričvrsnica, zaštitni armaturni sloj sa staklenom mrežicom koji sustavu daje otpornost na atmosferske utjecaje, te završno-dekorativni sloj.

2. Održavanje ETICS sustava fasade

Fasade su izložene različitim opterećenjima [21] :

- Vlastitom masom sustava
- Opterećenjem vjetrom
- Promjenama temperature i vlage
- Mehaničkim udarima
- Naprezanjima nosive konstrukcije

Ako je izvedba sustava odrađena po propisima i pravilima struke, ozbiljna oštećenja ne bi smjela biti moguća. Dopustivo je da promjene koje godinama djeluju na ovojnicu postanu vidljive samo u estetskom smislu, ali nikako ne smije biti narušena funkcionalnost sustava.

Promjene koje nastaju na završnom sloju ETICS-a ovise i o konstrukciji objekta, klimatskom području i lokaciji objekta te izvedbi detalja. Povremeno periodičko prebojavanje podrazumijeva se i smatra redovnim održavanjem fasade. Ako je izvedba bila tehnički korektna, bez narušavanja funkcionalnosti i potrebe za ozbiljnijim zahvatima u smislu renoviranja, trajnost sustava je otprilike dvadeset pet godina.

floating – buttering² – metoda nanošenja ljepila u dva koraka; prvo okomito, zatim vodoravno

6.2. Ventilirani fasadni sustav

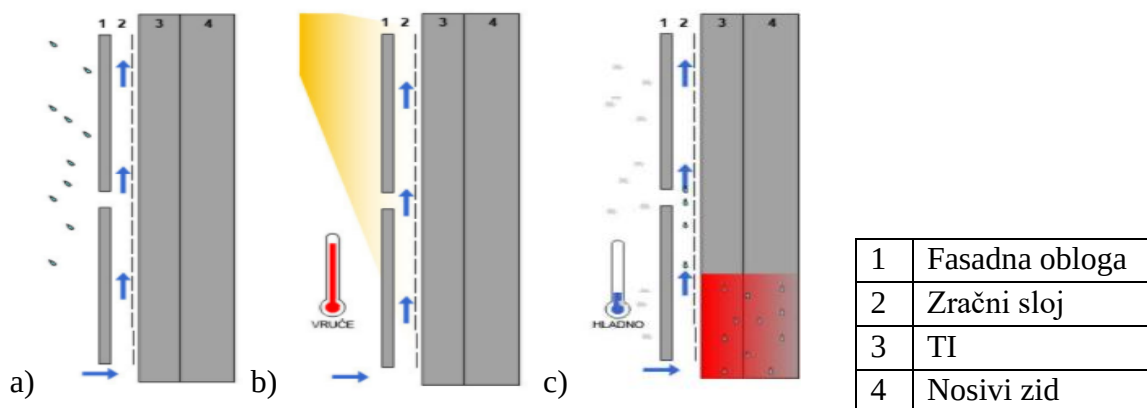
Zahtjevi za poboljšanje energetske učinkovitosti i kvalitete interijera, spomenuto se provode kroz smanjenje potrošnje energije. Ostakljeni objekti imaju očite nedostatke u obliku povećanih energetskih gubitaka tijekom zime i povećanog rizika od pregrijavanja tijekom ljetnih mjeseci. Da bi riješili ove probleme, inženjeri nastoje stvoriti nove koncepte i pristupe u dizajniranju objekata. Korištenjem novih tehnika i uređaja, kao što su uređaji za zaštitu od sunčevog zračenja, uređaji za automatsko provjetravanje i ventilaciju, nove vrste stakla (niska emisija, reflektivno staklo ...), probleme je moguće umanjiti zaštitom ovojnice sekundarnom konstrukcijom preko fasadne.

Jedina negativna strana prethodnog poglavlja (u slučaju pravilnog postavljanja ETICS sustava) je izloženost fasade atmosferskim utjecajima i dotrajalost nakon određenih godina. Plan kreiranja ventiliranih fasada inspiriran je pojmom 'efekt dimnjaka', a cilj je kontrolirano upravljanje kretanja topline, zaštita od prirodnih utjecaja na fasadu, te učinkovita toplinska i zvučna izolacija prezentirane na moderan stilski način.

Slojevi ventiliranog fasadnog sustava su :

- Potporne konstrukcije
- Izolacijski sloj
- Zračni (ventilirani) sloj
- Fasadna obloga

Kod ventiliranog sustava, TI je učvršćena na nosivi zid, a između izolacije i vanjske obloge nalazi se sloj ventiliranog zraka kojeg je moguće izvoditi u širini od 2-5cm. U većini sustava, izolacija je osim vlastite težine izložena mehaničkom opterećenju u vidu strujanja zraka u ventiliranom sloju (prilog: Opšav nadozida prema postojećoj dvorani).



Slika 6.2.1. Različiti vremenski utjecaji na sustav ventilirane fasade

- Vrijeme kiše : fasadna obloga slijeva kišu i brani konstrukciju, zidovi su suhi i trajniji
- Vrijeme visokih temperatura : vrući zrak se diže prema vrhu, hladni ulazi kroz zračni prostor i hladi vanjske stijenke zgrade, potreba za hlađenjem je manja
- 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

Jedinstvena karakteristika sustava je da zagrijani zrak koji se diže u ventilacijskoj šupljini, povlači hladan zrak odozdo i otpušta topli zrak na vrhu. Ovaj prirodni protok zraka uklanja vlagu unutarnjeg zida i ujednačuje temperaturu, a na njega najviše utječu brzina i temperatura zraka, te karakteristike otvora. U sustavima ventiliranih fasada zračni sloj između vanjske obloge i izolacijskog sloja projektiran je na način da zrak zbog efekta dimnjaka može strujati na prirodan ili umjetno kontrolirani način, ovisno o godišnjem dobu i dnevnim potrebama. Postojanje zračnog sloja dodatno ističe prednosti izolacije na konstrukciji vanjskog zida stvarajući dinamičku izolaciju koja optimizira energetske učinkovitost obloge u zimskom i ljetnom razdoblju. [22]

Parametri koji imaju utjecaj na sustavu fasade[23] :

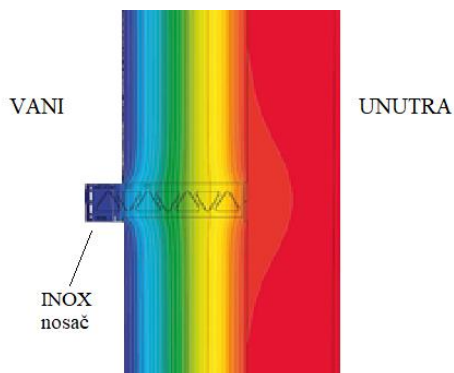
- relativna vlažnost zraka (%)
- temperatura zraka (°C)
- atmosferski tlak (Pa)
- brzina vjetra (m/s)
- smjer strujanja vjetra (°)
- prosječno globalno zračenje Sunca (W/m²)
- maksimalno globalno zračenje Sunca u promatranom satu (W/m²)

1. Izvođenje sustava fasade

Metalni nosači podkonstrukcije se učvršćuju na nosivu konstrukciju vanjskog zida. Poželjno je da materijal nosača bude nehrđajući čelik koji ima manju toplinsku provodljivost, ali je aluminijska verzija jeftinija i time pristupačnija. Postavlja se na geometrijski usklađenim linijama ili točkama, tehnikom sidrenja ili vijcima (prilog: Raster fasadne obloge i podkonstrukcije). Broj i pozicije nosača projektira statičar, ovisno o planiranom opterećenju i modularnosti završne obloge.



Slika 6.2.2. Postavljanje nosača



Slika 6.2.3. Termogram zida s Inox nosačem

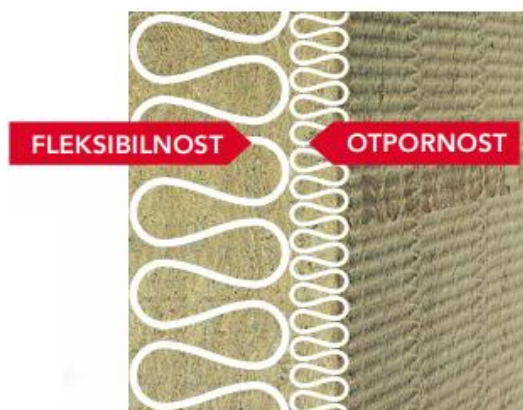
Ploče izolacije postavljaju se bez razmaka kako bi se izbjegla mogućnost pojave toplinskog mosta, te se osigura kontinuirana toplinska, zvučna i protupožarna izolacija. Izolacija mora imati antikondenzacijski flic zbog izražajnije otpornosti na vjetar i vodu, te zbog zaštite vune kao vlaknastog materijala. Za sigurnije prijanjanje koriste se mehanički pričvršćivači ovisno o vrsti izolaterskog materijala, minimalno dvije po komadu izolacije (prilog: Presjek ventilirane fasade s dvoslojnim pločama kamene vune).

Nosiva potkonstrukcija sastavljena je od :

- Uzdužnih profila : pričvršćuju se na nosače potkonstrukcije kako bi preuzeli projektom definirana opterećenja sustava
- Poprečnih profila : postavljaju se s vanjske strane izolacijskog sloja na udaljenostima uvjetovanim geometrijom završne obloge i očekivanom maksimalnom snagom vjetra



Slika 6.2.4. Montaža potkonstrukcije



Slika 6.2.5. Dvoslojna ploča kamene vune

Kao i u ostalim fasadama, postoje razni tipovi završne obloge koji imaju različita opterećenja na potkonstrukciju.[22] U praksi su to najčešće vlaknima ojačane ploče, HPL i aluminijske kompozitne ploče, a rijeđe kamen, bakar, keramika i ploče na bazi cigle jer im je cijena viša.

Prednosti ventiliranih fasadnih sustava[24] :

- Kratko, ekonomično vrijeme korištenja skele
- Nema dodatnih troškova zbrinjavanja otpada tijekom faze montiranja
- Dugoročnije očuvanje vrijednosti i povećanje vrijednosti zgrade
- Jednostavan popravak/ zamjena u slučaju oštećenja
- Visok energetska razred



Slika 6.2.6. Primjer ventiliranog fasadnog sustava

7. ZAKLJUČAK

Kada je riječ o materijalu koji se koristi za neodređenu svrhu, idealan bi bio onaj koji je uzet iz prirode i prerađen do mjere kako njegova uporaba i potencijalno uništavanje ne bi posljedično štetili okolišu. Iako je većina izolaterskih materijala nastala u prvoj polovici 20.stoljeća, njihova je uporaba zbog promjena zakona postala standard tek nakon što su bile izgrađene mnoge građevine koje i danas koristimo. To znači da smo okruženi objektima koji su veliki potrošači energije i financija. Iz stajališta energetske učinkovitosti i zaštite okoliša, ključno je nastaviti osvještavati kako prirodno prihvatljivi materijali i sustavi mogu pružiti učinkovite rezultate.

U radu su prezentirane osnovne karakteristike pojedinih materijala, no za postizanje željenog energetskog razreda nije dovoljno samo odabrati materijale s najvećim toplinskim otporom, već ih aplicirati po propisima, projektu i uputama proizvođača. Pravilni postupci obnove ili novogradnje smanjuju mogućnost pojave toplinskih mostova koji su uz krov i prozore najveći uzročnici toplinskih gubitaka; jednako vrijedi za tradicionalne i suvremene materijale.

Iako je fasada prvotno imala estetsku ulogu, dokazano je kako se inovativnim sustavima ukomponiranim u ovojnicu postiže zdrava zaštita, koja se izrazito iskazuje u kvaliteti svakodnevnog života. Produkt uspješno projektiranog fasadnog sustava je otpornost na narušavanje funkcije, estetike i nosivosti kompletne ovojnice, a samim time su zadovoljena načela energetske učinkovitosti.

Očekivana su uzastopna unapređenja standarda življenja, a tako i fasadnih sustava, koji i sada teže samoodrživom razvoju, stoga je potrebno poticati istraživanja, razvoj i edukaciju kako bi se koristila isključivo obnovljiva energija iz prirode.

8. LITERATURA

- [1] Glasnović Z., Horvat J., Omahać D., Slama kao superiorni građevinski materijal, Tehnoeko br.3, 2008., str. 14
- [2] Bašić S., Vezilić Strmo N., Marjanović, S.: Ovojnice zgrada, Građevinar br.71, 2019., str. 674-675
- [3] Zakon o gradnji (NN 115/20), Temeljni zahtjevi za građevinu, Čl.14
- [4] Milovanović B., Toplinska ovojnica zgrade – problemi i rješenja u praksi, Zavod za materijale, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, str.39
- [5] Ytong sustav gradnje, brošura Toplinski mostovi, str. 4
- [6] Zakon o energetske učinkovitosti(NN 127/14), Svrha i interes Republike Hrvatske, Čl.3
- [7] Zagorec M., Josipović D., .Majer J., Mjere uštede toplinske energije u zgradama, Građevinar 60, 2008., str. 412
- [8] Katalog proizvoda Rockwool, Kontaktne fasade ETICS, veljača 2020., str. 7
- [9] Koški Ž., Energetski učinkovite građevine, Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek. predavanje, str 12
- [10] Soldo V., Novak S., Horvat I., Algoritam za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora zgrade prema HRN EN ISO 13790, 2017., str. 6
- [11] <https://zgipsman.hr/suha-gradnja-knauf/mineralna-vuna/>
- [12] http://www.arhiteko.hr/menu.html?http://www.arhiteko.hr/_polistiren.html
- [13] <https://m-kvadrat.ba/izolacija-ovojnice-objekta-razlika-između-eps-a-i-xps-a/>
- [14] <https://www.ikoma.hr/hr/fasade/stirodur-xps/stirodur-3-cm-xps-s-preklpom-2938/>
- [15] <http://karl-bachl.hr/pur-pir/>
- [16] Ivanković H., Kramer I., Filetin T. Suvremeni materijali i postupci, Zagreb, Hrvatsko društvo za materijale i tribologiju, 2005. str. 121-140
- [17] Vrančić T., Polimer aerogel visoke čvrstoće; Nevjerojatna svojstva i široka mogućnost primjene, Građevinar 64, 2012., str.982
- [18] Komuves P., Aerogel i njegova primjena u građevinarstvu, Građevinar 66, 2014. str. 387-388
- [19] Alam M., Development of vacuum Insulation panel with low cost core material, 2015., Brunel University London, str. 17-86
- [20] <http://www.5plus.hr/fasade-i-fasaderski-radovi.html>
- [21] Smjernice za izradu ETICS sustava, Hrvatska udruga potrošača toplinsko fasadnih sustava (HUPFAS), izdanje IV, 2016.
- [22] brošura Rockwool, Izolacija ventiliranih fasada, rujan 2019, str 6-7
- [23] Anđerković A.S., Eksperimentalna analiza primene koncepta dvostrukih ventilisanih fasada u uslovima umereno-kontinentalne klime, KGH, 2015., str. 32
- [24] https://www.frischeis.hr/proizvodi/konstruktivne_ploce/kompakt_ploce/ventilirana_fasada

Popis slika

Slika 1.1. Čerpič, Izvor : <http://www.glas-slavonije.hr/Slike/2017/07/306866.jpg>

Slika 1.2. Čerpič u izvedbi, Izvor: Ozdanovac I., Enigmatika, Reč po riječ, Čerpič, 2018.

Slika 1.3. Blokovi bala u drvenoj konstrukciji, Izvor: https://www.studio8.hr/wp-content/uploads/2020/04/IMG_8647-1536x1024.jpg

Slika 1.4. Žbukanje slame, Izvor : http://www.arhiteko.hr/images/zbukanje_rucno.jpg

Slika 1.5. Slojevi ovojnice na bazi slame, Izvor : Richard Y., Kerzerho B., Egis Group, The wooden straw bale panels, a technique with many advantages, 2018. (prevedeno)

Slika 2.1. Slikovita definicija ovojnice

Slika 2.2. Vanjski utjecaji na ovojnicu

Izvor : Bašić S., Vezilić Strmo N., Marjanović, S.: Ovojnice zgrada, Građevinar br.71, 2019. str 674-675

Slika 2.3. Potrošnja energije po sektorima i energentima, Izvor: T. Jukić Nežnanović, Prijedlog Godišnjeg plana energetske učinkovitosti u neposrednoj potrošnji energije Grada Rijeke za 2016. godinu, str. 3 (prilagođeno)

Slika 2.1.1. Nastanak toplinskog mosta,

Izvor: <https://civilengineering4u.wordpress.com/2017/05/29/thermal-bridging/> (prilagođeno)

Slika 2.1.2. Ravni krov - kombinirani toplinski most, Izvor: Ytong sustav gradnje, brošura Toplinski mostovi, str.6

Slika 2.1.3. Termogram građevine s vidljivim toplinskim mostovima; crvena boja prikazuje mjesta s najvećim prolazom topline, Izvor: Milovanović B., Infracrvena termografija, Građevinski fakultet Zagreb, 2018.

Slika 3.1. Tablični kriterij utvrđivanja energetske razreda, Izvor: Pravilnik o energetske certificiranju zgrada, NN 113/2008, Čl.8

Slika 3.1.1. Ovisnost potrebne toplinske energije o debljini izolacije i koeficijentu U, Izvor: Jukić J., Zahtjevi za energetska svojstva postojećih zgrada kod kojih se provodi značajna obnova, Dan inženjera strojarstva, 2015., str.33

Slika 4.1.1. Izoliranje zida kamenom vunom

Slika 4.1.2. Nanos ljepila

Izvor : Brošura Knauf insulation, Izolacija vanjskih zidova, Kontaktne fasade, str.7-9

Slika 4.1.3. Oblaganje krovišta staklenom vunom, Izvor: <https://www.certainteed.com/building-insulation/products/high-performance-fiberglass-batts/>

Slika 4.1.4. Fizikalne karakteristike mineralne vune

Slika 4.2.3. Fizikalne karakteristike EPS-a

Slika 4.3.3. Fizikalne karakteristike XPS-a

Slika 4.4.3. Fizikalne karakteristike poliuretanske pjene

Izvor : R.Keindl, Stručno usavršavanje ovlaštenih arhitekata, 2010., Toplinsko i zvukoizolacijski građevni materijali i proizvodi za zgrade

Slika 4.2.1. Promjena strukture polistirena,

Izvor: (prilagođeno) http://www.arhiteko.hr/images/ekspandirana_zrna.jpg ,
<http://www.arhiteko.hr/images/strukturaEPS.jpg>, <https://www.libelagroup.si/ali-stiropor-gori/>

Slika 4.2.2. Posljedica izgaranja stiropora; Studentski dom Cvjetno naselje, Izvor: https://www.pictures.glasgacke.hr/2016/3492_1487931923.jpg

Slika 4.3.1. Oblaganje sokla XPS-om, Izvor : <https://www.buildings.com/article-details/articleid/8498/title/insulation--eps-and-xps>

Slika 4.3.2. XPS u boji, Izvor : https://www.alibaba.com/product-detail/150Kpa-500Kpa-Extruded-Polystyrene-Foam-XPS_60662913951.html

Slika 4.4.1. PIR ploča za međukatnu izolaciju, Izvor: <http://www.bachl.de/images/daemm/pur/produkte/PUR-Decken-Daemmelement-MV.jpg>

Slika 4.4.2. PIR ploča za TI krovova i terasa, Izvor: <http://karl-bachl.hr/portfolio-items/bachl-pir-alu-2/>

Slika 5.1.1. Vrste aerogela različitih baznih materijala, Izvor : <http://www.aerogel.org/?p=3>

Slika 5.1.2. Usporedba materijala tijekom opterećenja i deformacija, Izvor: Ivanković H., Kramer I., Filetin T. Suvremeni materijali i postupci, Zagreb, Hrvatsko društvo za materijale i tribologiju, 2005.

Slika 5.1.3. Usporedba toplinske provodljivosti izolaterskih materijala, Izvor : <https://static.koos.hu/2011/03/lambda.gif>

Slika 5.1.4. Toplinski otpor uzorka aerogela, Izvor : <https://enviroform-insulation.com/ei/wp-content/uploads/2016/02/Monolith-Image-Crayons-768x714.jpg>

Slika 5.1.5. Izolacija zida iza radijatora, Izvor: Komuves P., Aerogel i njegova primjena u građevinarstvu, Materijal neobičnih svojstava, Građevinar 66, 2014., str.388

Slika 5.1.6. Aerogel rola, Izvor: brošura Aspen aerogels, Spaceloft data sheet

Slika 5.2.1. Usporedba potrebnih debljina tradicionalnih i suvremenih TI kako bi se dobila jednaka otpornost, Izvor: <https://www.turvac.eu/portals/0/Content/Slike-vseбина/turvac-vacuum-insulation-panels-comparison-to-other-insulation-materials.png>

Slika 5.2.2. Debljine (VIP, EPS, XPS, mineralna vuna, kamena vuna) za $U = 0.3 \text{ W/ m}^2\text{K}$, Izvor: Bugarin, M. (2015). 'Inovativni materijali i tehnologije ovojnice zgrada : završni rad', Završni rad, Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije

Slika 5.2.3. Poprečni presjek VIP panela

Slika 5.2.4. Detalj višeslojne ovojnice

Izvor: Alam M., Development of vacuum Insulation panel with low cost core material, 2015., Brunel University London, Doktorska teza

Slika 5.2.5. VIP s jezgrom staklene vune, Izvor:

https://www.homeappliances.hitachi.com/products/refrigerators/image/features_panel_11.jpg

Slika 5.2.6. Protok topline kroz spoj panela

Slika 5.2.7. Shematski i stvarni prikaz montiranja panela

Izvor: C.Peng, J.Yang, Structure, Mechanism and Application of Vacuum Insulation Panels in Chinese Buildings, 2016. (prilagođeno)

Slika 5.2.8. Shematski prikazana redukcija prolaska topline kroz rub panela, Izvor : T. Thorsell, Advances in Thermal Insulation - Vacuum Insulation Panels and Thermal Efficiency to Reduce Energy Usage in Buildings, KTH Royal Institute of Technology, Doktorska teza, Stockholm, 2012.

Slika 6.1.1. Shematski prikaz slojeva ETICS sustava

Slika 6.1.2. Preklapanje TI na uglu

Slika 6.1.3. W-shema postavljanja pričvrsnica

Izvor: Smjernice za izradu ETICS sustava, Hrvatska udruga potrošača toplinsko fasadnih sustava (HUPFAS), izdanje IV, 2016. str., 11-34

Slika 6.2.1. Različiti vremenski utjecaji na sustav ventilirane fasade, Izvor: <http://www.size-projekti.hr/ventilirane-fasade-p10>

Slika 6.2.2. Postavljanje nosača

Slika 6.2.3. Termogram zida s Inox nosačem

Slika 6.2.4. Montaža potkonstrukcije

Izvor: <https://www.ejot.hr/crossfix>

Slika 6.2.5. Dvoslojna ploča kamene vune, Izvor: brošura Rockwool, Izolacija ventiliranih fasada, rujan 2019, str.9

Slika 6.2.6. Primjer ventiliranog fasadnog sustava, Izvor: <https://decorexpro.com/images/article/orig/2018/04/ventiliruemye-fasady-domov-ustrojstvo-i-montazh-51.jpg>

Prilozi

Kontaktne / ETICS fasade

- Presjek kontaktne fasada na zidu od blok opeke
- Presjek spoja s malim nadozidom
- Presjek spoja kontaktne fasade i prozora
- Presjek spoja kosog krova i kontaktne fasade

Izvor: <https://www.rockwool.hr/brosure-i-dokumentacija/cad-detalji/?selectedCat=kontaktne%20fasade%20etics>

Ventilirane fasade

- Opšav nadozida prema postojećoj dvorani
- Raster fasadne obloge pod-konstrukcije; Pogled

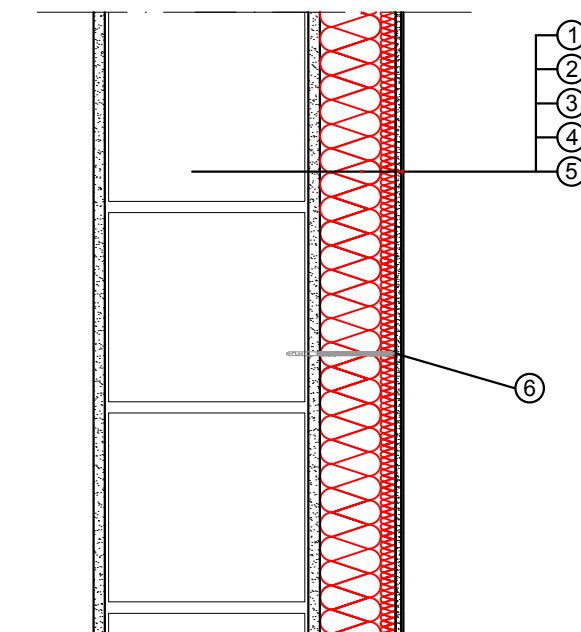
Izvor: Izolaterski i limarski obrt Gužvinec

- Presjek ventilirane fasade s dvoslojnim pločama kamene vune

Izvor: <https://www.rockwool.hr/brosure-i-dokumentacija/cad-detalji/?selectedCat=ventilirane%20fasade>

KONTAKTNA FASADA

Presjek kontaktna fasada na zidu od blok opeke



1 blok opeka

2 polimer-cementno ljepilo

3 ROCKWOOL Frontrock MAX Plus (DD)*

4 polimer-cementno ljepilo armirano tekstilno-staklenom mrežicom

5 završni sloj

6 pričvrsnica

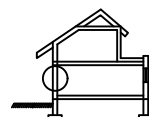
* Proizvodi za istu namjenu: Frontrock Casa (DD), Frontrock Reno (DD)
DD - dual density (dvoslojna gustoća)
SD - standard density (standardna gustoća)

Detalj:

2.1.2.

Mjerilo:

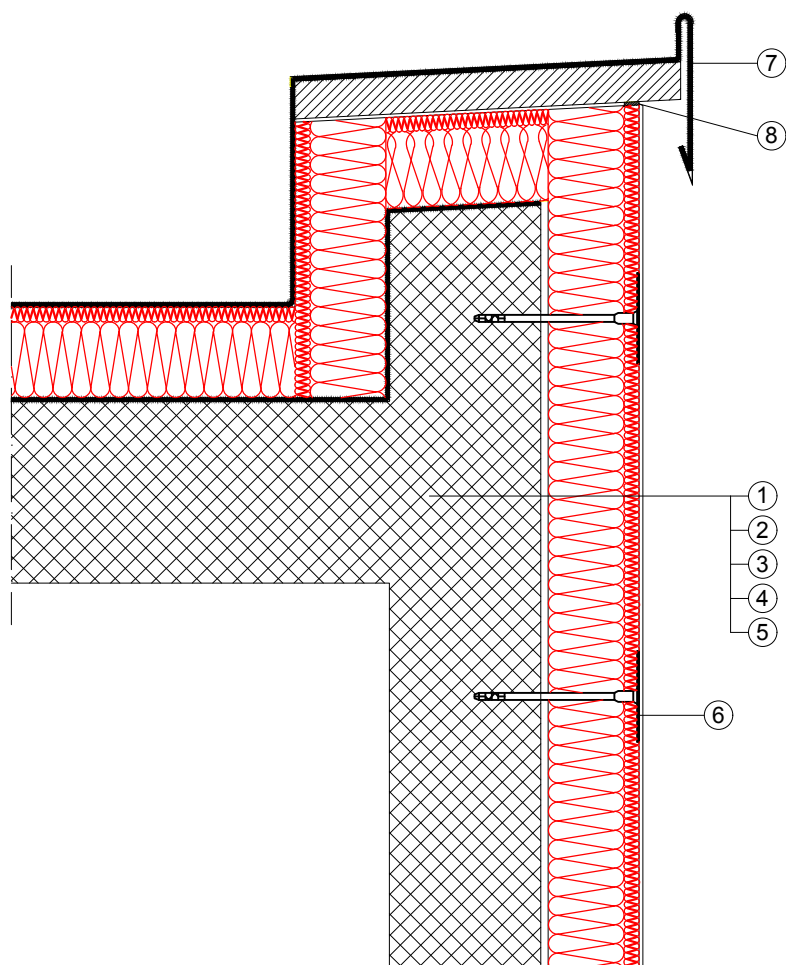
1 : 10



www.rockwool.hr
info@rockwool.hr

KONTAKTNA FASADA

Presjek spoja s malim nadozidom



- 1 završni sloj
- 2 polimer-cementno ljepilo armirano tekstilno-staklenom mrežicom
- 3 ROCKWOOL Frontrock MAX Plus (DD)***
- 4 polimer-cementno ljepilo
- 5 armirano-betonski zid
- 6 mehanička pričvrsnica
- 7 hidroizolacija sustava (uvala i obloga)
- 8 brtvena traka

* Proizvodi za istu namjenu: Frontrock Casa (DD), Frontrock Reno (DD)
DD - dual density (dvoslojna gustoća)
SD - standard density (standardna gustoća)

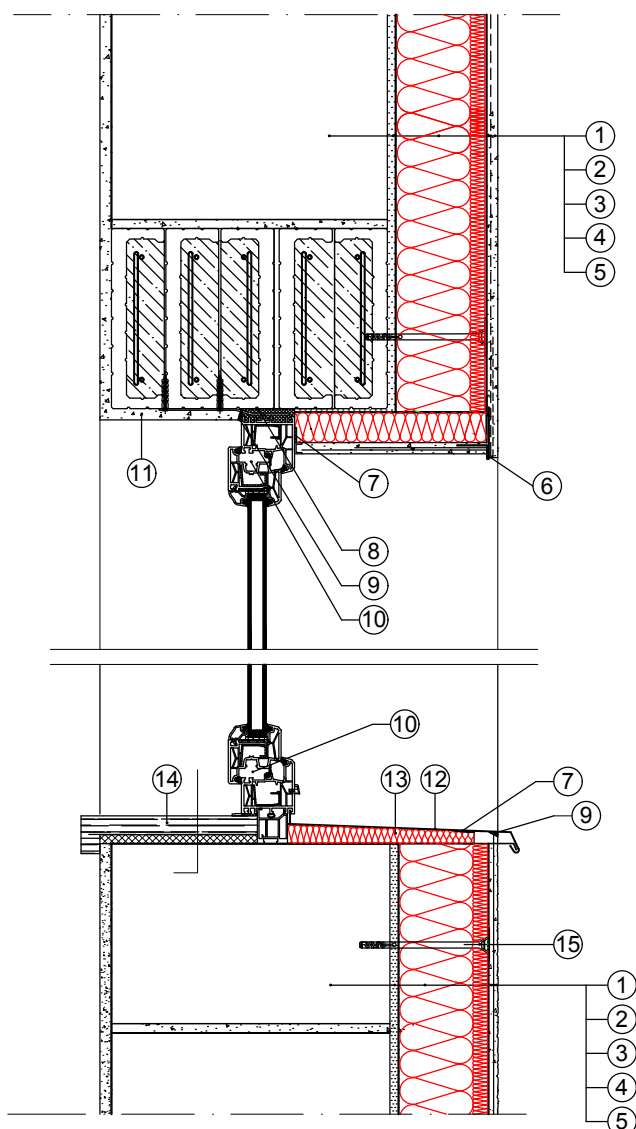
Detalj:	2.1.7.	
Mjerilo:	1 : 10	

**ROCKWOOL®**

www.rockwool.hr
info@rockwool.hr

KONTAKTNA FASADA

Presjek spoja kontaktne fasade i prozora



- 1 blok opeka
- 2 polimer-cemento ljepilo
- 3 ROCKWOOL Frontrock MAX Plus (DD)***
- 4 polimer-cementno ljepilo armirano testilno-staklenom mrežicom
- 5 završni sloj
- 6 okapni profil
- 7 brtvena traka
- 8 montažna pjena
- 9 trajno eleastična brtvena masa
- 10 prozor
- 11 unutarnja žbuka
- 12 vanjska klupčica
- 13 ROCKWOOL Fasrock/Frontrock 20 - 40 mm (SD)**
- 14 unutarnja klupčica
- 15 pričvrsnica

* Proizvodi za istu namjenu: Frontrock Casa (DD), Frontrock Reno (DD)
 DD - dual density (dvoslojna gustoća)
 SD - standard density (standardna gustoća)

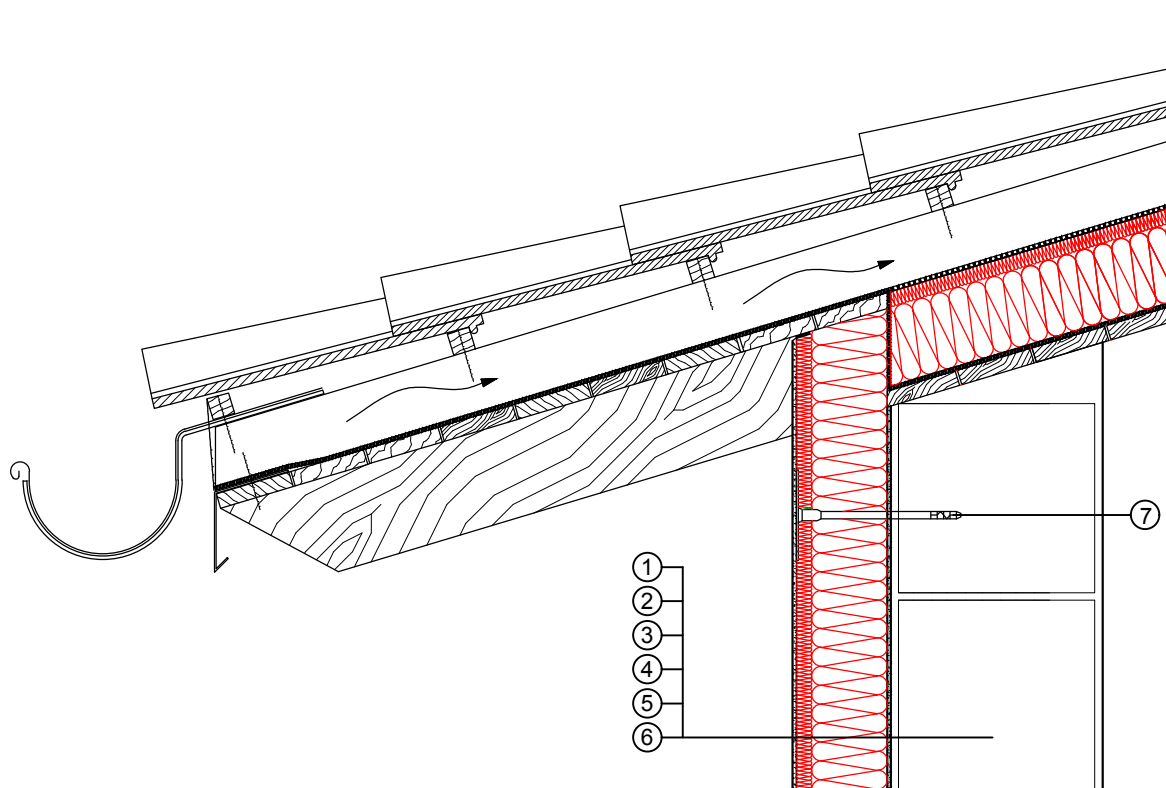
Detalj:	2.1.3.	
Mjerilo:	1 : 10	

**ROCKWOOL®**

www.rockwool.hr
info@rockwool.hr

KONTAKTNA FASADA

Presjek spoja kosog krova i kontaktne fasade



- 1 završni sloj
- 2 polimer-cementno ljepilo armirano tekstilno-staklenom mrežicom
- 3 ROCKWOOL Frontrock MAX Plus (DD)***
- 4 polimer-cementno ljepilo
- 5 opeka
- 6 unutarnja žbuka
- 7 mehanička pričvrsnica

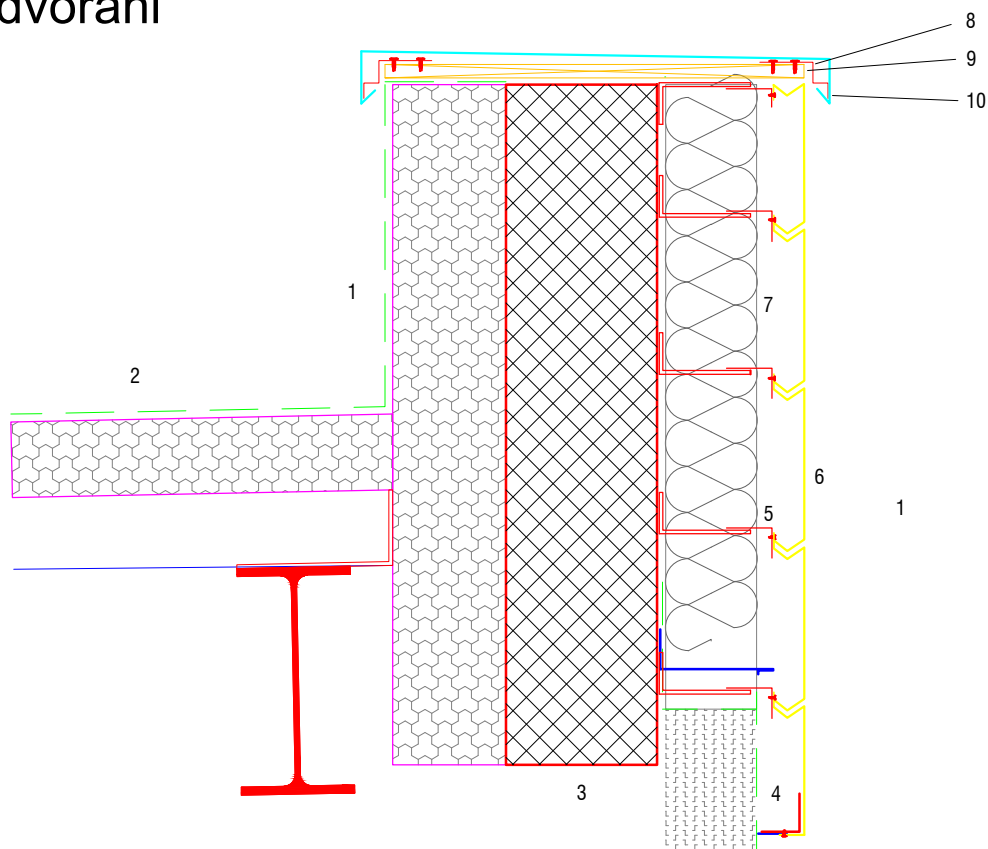
* Proizvodi za istu namjenu: Frontrock Casa (DD), Frontrock Reno (DD)
DD - dual density (dvoslojna gustoća)
SD - standard density (standardna gustoća)

Detalj:	2.1.5.	
Mjerilo:	1 : 10	

**ROCKWOOL®**
www.rockwool.hr
info@rockwool.hr

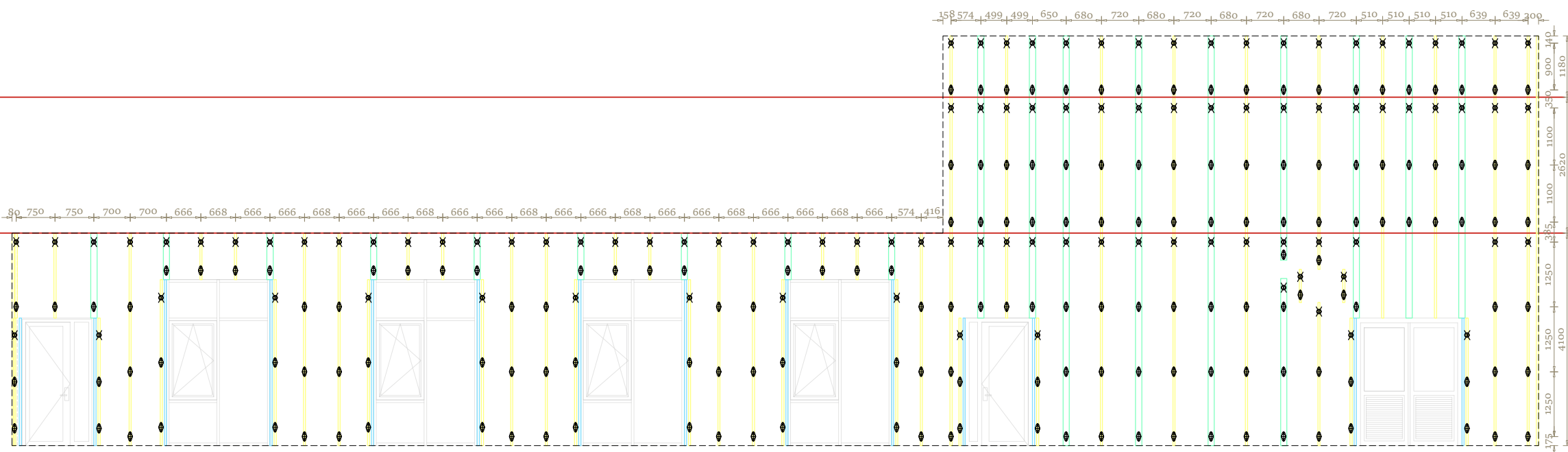
Izolaterski i limarski obrt BOŽIDAR GUŽVINEC

Opšav nadozida prema postojećoj dvorani



- 1 - Fasadni panel d=100mm
- 2 - Krovni panel sa apliciranom HI folijom
- 3 - Betonski nadozid (2cm stiropor između panela)
- 4 - HI folija ekvivalentna foliji na krovnom panelu – podloga XPS
- 5 - Podkonstrukcija fasadne obloge lamela (temeljni nosač – spidij, L i T profili – prema statičkom proračunu izvodjaca)
- 6 - Aluminijske lamele d=0,7mm h=20cm
- 7 - Mineralna vuna sa apliciranom parnom branom za ventilirane sustave d=12cm
- 8 - Limeni nosač kape atike
- 9 - OSB ploča d=18mm sa folijom
- 10 - Opšav kape atike u boji fasadnog panela

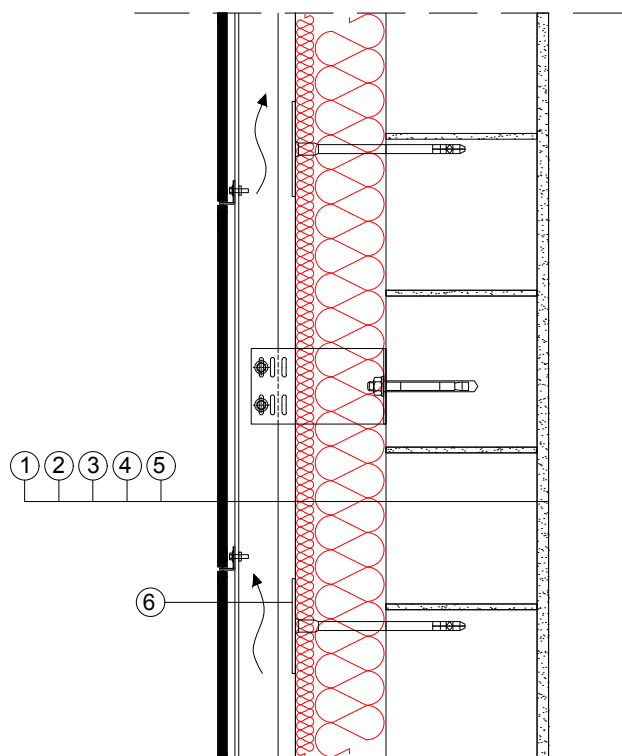
Izolaterski i limarski obrt BOŽIDAR GUŽVINEC	
Građevina:	Škola Jelkovec
Izradio:	Kristijan Gužvinec mag.ing.aedif
Ovjerio:	



Nikola Hulina, bacc.ing.aedif

VENTILIRANA FASADA

Presjek ventilirane fasade s dvoslojnim pločama kamene vune



1 završna obloga na podkonstrukciji - 8 mm

2 ventilirani sloj zraka - 50 mm

3 ROCKWOOL Ventirock Duo*

4 blok opeke

5 unutarinja žbuka

6 mehanička pričvrsnica

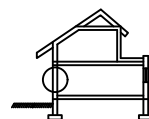
* Proizvodi za istu namjenu: Ventirock Duo, Airrock LD FB1, Airrock ND FB1, Airrock XD FB1

Detalj:

2.2.3.

Mjerilo:

1 : 10



ROCKWOOL®

www.rockwool.hr
info@rockwool.hr

**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, Lucija Budinščak (*ime i prezime*) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (*obrisati nepotrebno*) rada pod naslovom Materijali i toplinsko izolacijski sustavi u zgradarstvu (*upisati naslov*) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

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

Lucija Budinščak

(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, Lucija Budinščak (*ime i prezime*) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (*obrisati nepotrebno*) rada pod naslovom Materijali i toplinsko izolacijski sustavi u zgradarstvu (*upisati naslov*) čiji sam autor/ica.

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

Lucija Budinščak

(vlastoručni potpis)