

# Tradicionalni i inovativni toplinsko izolacijski materijali

---

Oreški, Goran

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:061792>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-20**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





Završni rad br. 438/GR/2021

**TRADICIONALNI I INOVATIVNI TOPLINSKO  
IZOLACIJSKI MATERIJALI**

Goran Oreški, 4245/601

Varaždin, studeni 2021. godine





Odjel za Graditeljstvo

Završni rad br. 438/GR/2021

**TRADICIONALNI I INOVATIV TOPLINSKO  
IZOLACIJSKI MATERIJALI**

**Student**

Goran Oreški, 4245/601

**Mentor**

doc.dr.sc. Željko Kos

Varaždin, studeni 2021. godine

# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za graditeljstvo		
STUDIJ	preddiplomski stručni studij Graditeljstvo		
PRISTUPNIK	Goran Oreški	MATIČNI BROJ	4245/601
DATUM		KOLEGIJ	Zgradarstvo I
NASLOV RADA	Tradicionalni i inovativni toplinsko izolacijski materijali		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	Traditional and innovative insulation materials		
MENTOR	dr.sc. Željko Kos	ZVANJE	docent
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. prof.dr.sc. Božo Soldo		
	2. doc.dr.sc. Željko Kos		
	3. doc.dr.sc. Aleksej Aniskin		
	4. doc.dr.sc. Bojan Đurin		
	5. _____		

## Zadatak završnog rada

BROJ	438/GR/2021
OPIS	<p>Pristupnik u radu treba opisati tradicionalne izolacijske materijale i sustave toplinske izolacije te inovativne materijale i sustave koji su u sve većoj primjeni u modernom zgradarstvu. Ukratko objasniti fiziku zgrade te njezine elemente kao što su: kapilarno dizanje vlage i sanacija iste, mehanizme prijenosa topline, toplinske mostove te utjecaj hidroizolacije, ETICS sustava i modernih materijala kao što su aerogelovi, PCM i dr.</p> <p>U radu je potrebno obraditi sljedeće teme:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Povijesni razvoj ovojnice zgrade</li><li>- Zaštita od vlage u zgradarstvu</li><li>- Mehanizmi prijenosa topline i toplinski mostovi</li><li>- Ventilirani sustavi izolacija u zgradarstvu</li><li>- Tradicionalni i inovativni toplinsko izolacijski materijali</li></ul>

ZADATAK URUČEN 05.05.2021.

POTPIS MENTORA

## **Predgovor**

Zahvaljujem mentoru doc.dr.sc Željku Kosu koji je uvijek bio spreman pomoći i odgovoriti na moja pitanja i dati sugestije. Srdačno hvala mojim kolegama koji su uvijek bili spremni razumjeti i pomoći riješiti probleme. Najveće hvala mojoj obitelji koja me pratila u svim godinama fakulteta i pružila bezuvjetnu podršku.

## **Sažetak**

U ovom radu je opisan pregled tradicionalnih i inovativnih izolacijskih materijala. Objašnjena je sama povijest ovojnice zgrada i njezini utjecaji. Utjecaj vlage te zaštita od istih je jako bitna za dugotrajnost svake građevine.

Spomenuta je fizika zgrade te njezine karakteristike. Toplinsko izolacijski materijali imaju veliku ulogu u očuvanju energije zgrada. Predstavljene su tradicionalni izolacioni materijali te usporedba s inovativnim toplinsko izolacijskim materijalima. Inovativni toplinski izolacijski materijali zaokružuju tematiku ovog završnog rada.

***KLJUČNE RIJEČI:*** ovojnice zgrada, EPS,XPS, mineralna vuna, PUR sistem, PCM, aerogel, ETICS

## **Summary**

In this final work is described review of traditional and innovative insulation materials. History of building envelopes and their influence is explained. Influence of moisture and protection from moisture is very important for durability of every building.

Physics of the buildings and her characteristics is mentioned. Thermal insulation materials have big role in preservation of energy in the buildings. Traditional insulation materials are presented and compared with innovative thermal insulation materials.

Innovative thermal insulation materials round up thematics of this final work.



## **Popis korištenih kratica**

ETICS External thermal insulation composite system; povezani sustav za vanjsku

toplinsku izolaciju

XPS ekstrudirani polisteren

PCM phase-change materials

TI toplinska izolacija

VIP vakuum izolacijski paneli

PUR poliuretanska pjena

PIR poliizocijanurati

VIM vakuum izolacijski materijali

GIM plin izolacijski materijali

DIM dinamički izolacijski materijali

# Sadržaj

Predgovor.....	1
Sažetak.....	2
Summary.....	3
Popis korištenih kratica.....	4
1. Uvod.....	1
2. Povijesni razvoj ovojnice zgrada.....	4
2.1. Utjecaji na ovojnicu.....	6
2.2. Utjecaji iz vanjskog okoliša.....	6
2.3. Utjecaji iz unutarnjeg okoliša.....	7
3. Fizika zgrade.....	9
3.1. Kondenzacija i difuzija vlage.....	9
3.2. Kapilarno dizanje vlage.....	11
3.3. Kapilarna vlaga – uzroci nastanka.....	11
3.4. Sanacija kapilarne vlage u zidu – injektiranje.....	12
<i>Sušenje zidova – očuvanje zdravlja.....</i>	<i>12</i>
3.5. Hidroizolacija.....	13
4. Mehanizmi prijenosa topline.....	15
4.1. Radijacija.....	15
4.2. Kondukcija.....	15
4.3. Konvekcija.....	16
4.4. Latentna i senzibilna toplina.....	18
4.5. Energetska učinkovitost.....	19
5. Toplinski mostovi.....	22
6. ETICS sustav (external thermal insulation composite system).....	25
1. Mort za lijepljenje i/ili mehaničko pričvršćenje.....	26
2. Toplinsko-izolacijski materijal.....	26
3. Mort za armaturni sloj.....	26
4. Staklenu mrežicu.....	26
5. Završno-dekorativnu žbuku.....	26
7. Tradicionalni izolacijski materijali.....	29
7.1. Mineralna vlakna.....	30
7.2. Ekspandirani polistiren (EPS).....	31
7.3. Ekstrudirani polistiren (XPS).....	32
7.4. Poliizocijanarutna (PIR) kruta pjena.....	33
7.5. Poliuretanska (PUR) kruta pjena.....	34
8. Ventilirane fasade.....	36
9. Inovativni izolacijski materijali.....	41
• Aerogel.....	41
• Plinom ispunjene ploče (GFP).....	41
• Fazno promjenjivi materijali (PCM).....	41
• Vakuum izolacijske ploče (VIP).....	41
9.1. Aerogel.....	41
9.2. Plinom ispunjene ploče( GAS FILLED PANELS-GFP).....	42
9.3. Fazno promjenjivi materijali (PCM).....	43

9.4. Vakuum izolacijske ploče (VIP) .....	46
9.5. Ostali napredni materijali sutašnjice .....	46
• Vakuum izolacijski materijali .....	46
• Plin izolacijski materijali .....	46
• Dinamički izolacijski materijali .....	46
• Nano izolacijski materijali .....	46
10. Zaključak.....	49
11. Literatura.....	50
Popis slika .....	54

## 1. Uvod

Zgrade potrošnjom energije, resursa te emisijom štetnih plinova značajno utječu na vanjski okoliš, ali su odgovorne i za stvaranje poželjnih uvjeta za ljudsko zdravlje, udobnost i produktivnost. Prema statističkim podacima za Hrvatsku, potrošnja energije u zgradarstvu iznosi 48,1 % ukupne potrošnje, slijedi promet sa 35,1 % te industrija sa 16,8 %. Kućanstva čine 62,8 % potrošnje sektora zgradarstva, a najveći dio te energije utroši se na grijanje. Kada pogledamo energetske bilancu obiteljske kuće s prirodnom ventilacijom, uviđamo da se najveći dio izgubljene energije, čak 88 %, odnosi na transmisijske i ventilacijske gubitke preko ovojnice zgrade, a na gubitke samog sustava grijanja otpada 12 %. Osim same potrošnje energije čije se posljedice osjete i financijski, vrlo važan je i utjecaj uvjeta unutar zgrade na zdravlje i udobnost ljudi, što je posebno važno ako se zna da ljudi provedu 80 % vremena u zatvorenim prostorima. U navedenoj interakciji vanjskog i unutarnjeg okoliša najveću ulogu ima ovojnica zgrade koja djeluje kao filter koji poželjne utjecaje propušta u unutrašnjost, a nepoželjne odbija ili mijenja. Pritom ovojnica štiti ostale sustave zgrade (nosivu konstrukciju, instalacije, interijer, itd.) te u suradnji s njima omogućuje sigurno i ugodno okruženje za korisnike zgrade. Također, vidljivi dijelovi ovojnice (pročelja) objedinjuju dvije, često oprečne, značajke zgrade – estetske i funkcionalne/fizičke. Projektiranje ovojnice vrlo je složen zadatak jer je potrebno uzeti u obzir velik broj čimbenika kako bi se uspostavila ravnoteža između razine željenih svojstava i financijskih troškova [1].

Sama ovojnica sadrži mnogo podsustava sastavljenih od brojnih komponenti. Svaki dio ovojnice je trodimenzionalan, višeslojan sklop različitih materijala, od onog na krajnjem unutarnjem. Budući da ovojnica čini bilo koji dio zgrade koji fizički razdvaja vanjsku od unutarnje okoline razlikujemo nadzemni i podzemni dio ovojnice, a njene sustave možemo podijeliti na: sustave podova na tlu, sustave vanjskih podzemnih zidova, sustave vanjskih nadzemnih zidova, uključujući prozore i vrata, krovne sustave [1].

Tradicionalna gradnja ovisila je o dostupnim resursima i tehnologiji te o klimatskim uvjetima koji su vladali na određenom području. Primjerice, u Europi je tradicionalna gradnja obilježena masivnom gradnjom, tj. debelom ovojnicom zgrade koja je bila najbolje rješenje iz više razloga: bolja nosivost tereta, krova i snijega, ali i u energetske smislu - akumulacija topline zimi, zaštita od pregrijavanja ljeti. Ovojnica je imala i dobra akustična, kao i sigurnosna svojstva zbog velike debljine zida i malih dimenzija otvora. Osim u plastičnoj obradi ovojnice, oblikovanju volumena zgrade u cjelini i upotrijebljenom građevnom materijalu, upravo na tom odnosu zida i

otvora utemeljena su i osnovna stilska obilježja povijesnih razdoblja. U doba kada ne postoje odgovarajuća tehnička rješenja otvori se tretiraju kao slabe točke ovojnice te se njihov broj i veličina svode na minimum. U trenutku kada je važnost oblikovanja ovojnice kao nosivog (masivnog) zida promijenjen – primjenom drugačijih konstrukcijskih principa, uz istovremeno razvijanje manufakturne staklarske proizvodnje i tehnike ugradnje prozorskog stakla – povećavaju se i zahtjevi za sve većim udjelom ostakljenih površina ovojnice. No, ti zahtjevi su ograničeni na reprezentativne zgrade razdoblja. Ukratko, tradicionalna gradnja obilježena je ovojnicom sastavljenom od jednog sloja, tj. jednog materijala koji je zadovoljavao sve funkcije koje su se od ovojnice očekivale. Postupno su se na taj sloj dodavali završni slojevi s unutarnje i vanjske strane, ali njihova je uloga bila ponajprije estetska. Tek s industrijskom revolucijom i korištenjem novih građevnih materijala koji su omogućili drugačije tipove nosivih konstrukcija zgrada, počinje i doba suvremenog oblikovanja ovojnica zgrada. Napuštanjem tradicionalne gradnje i prihvaćanjem novih materijala i tehnika građenja bez sagledavanja mogućih posljedica dovelo je u poslijeratnom razdoblju do niza problema u ulozi ovojnice kao fizičkoj kontroli vanjskih utjecaja. Također, javila se povećana potreba za energijom kako bi se navedeni utjecaji regulirali. Za razliku od dotadašnje graditeljske tehnike koja se oslanjala na iskustvo i umješnost graditelja, te tradicionalno provjerene oblike građevina, novonastala situacija nametnula je potrebu za zakonima, normama i standardima, tj. znanstveno utemeljenim spoznajama o poželjnim svojstvima unutrašnjeg prostora (svjetlo, klima i dr.) te proučavanjem fizikalnih svojstava građevnih materijala [1].

Inovativna gradnja velikim dijelom zahtjeva montažni i polumontažni način građenja, većinom skeletnih konstrukcija ispunjenih i obloženih laganim građevinskim materijalima s vrlo visokim toplinskoizolacijskim svojstvima. Teži se višem stupnju prefabriciranja svih građevinskih elemenata što omogućava bržu izgradnju, te time visoku razinu učinkovitosti.

Međutim, u nastojanju dematerijalizacije građevinskih elemenata, pored raznih praktičnih i ekonomskih prednosti, dolazi do problema gubitka mase građevine potrebne za toplinsku akumulaciju, što rezultira negativnim utjecajima na unutarnju klimu i povećanom potrošnjom energenta za grijanje, hlađenje i klimatizaciju. Vrlo lako se zaključuje da bi bilo poželjno nadomjestiti mogućnost izotermne pohrane dnevnih vršnih toplinskih opterećenja ljeti, a zimi omogućiti toplinsku akumulaciju konstrukcije radi manjeg kontinuiranog opterećenja sustava grijanja i klimatizacije, te radi održavanja topline grijanog prostora za vrijeme prekida grijanja. Današnji propisi problem toplinskih karakteristika laganih konstrukcija u smislu energetske

učinkovitosti rješavaju na način povećanja toplinskog otpora površina konstrukcije koje sudjeluju u transmisijskim gubicima topline za grijanje i hlađenje [1].

## 2. Povijesni razvoj ovojnice zgrada

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 ( Slika 2.1). 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 supstance 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.

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 energetska učinkovitost, stoga je u novije doba potrebno smanjiti količinu potrošnje energije u postojećim građevinama, te preventivno projektirati nove objekte prema propisima ( Slika 2.1.2).

Najprimitivniji građevinski materijal za stvaranje ovojnice koji poštuju 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 svježi zrak [2].



*Slika 2.1., Razvoj ovojnice kroz povijest*





*Slika 2.1.2, Razvoj ovojnice kroz povijest*

## **2.1. Utjecaji na ovojnicu**

Sve utjecaje koje ovojnica mora podnijeti i sve funkcije koje mora zadovoljiti proizlaze iz tri bitne komponente i njihova međuodnosa: vanjskog okoliša, unutarnjeg okoliša i same ovojnice. Utjecaji su događaji, fenomeni ili karakteristike koji utječu na ovojnicu, a povezani su s gravitacijom, tlom, toplinom, vlagom ili zrakom. Razlikujemo utjecaje proizašle iz vanjskog ili unutarnjeg okoliša. Variranje može biti u intervalima dan/noć, radni/ neradni dan, tjedno, sezonski, itd. [1].

## **2.2. Utjecaji iz vanjskog okoliša**

Utjecaji iz vanjskog okoliša posljedica su klime, prirode i njenih fenomena te čovjeka i njegovih postupaka (Slika 2.2.1.). Budući da je vanjski okoliš trodimenzionalan prostor s promjenjivim svojstvima mase i energije, za projektiranje je potrebno poznavati prosječne, ali i ekstremne vrijednosti za svaki utjecaj. Vrijednosti za klimatske utjecaje moguće je dobiti na osnovi podataka iz meteoroloških stanica, ali je vrlo važan utjecaj i vanjskih mikroklima, posebno kod manjih zgrada kod kojih se taj utjecaj više osjeti. Različiti dijelovi ovojnice zgrade izloženi su različitim vanjskim mikroklimama, npr. utjecaju susjednih zgrada, krajolika i sl. [1].



*Slika 2.2.1, Propadanje građevine od djelovanja vanjskih utjecaja*

### **2.3. Utjecaji iz unutarnjeg okoliša**

Unutarnji okoliš su nastanjeni, korišteni i vrlo često klimatizirani prostori. Takvi prostori imaju funkciju zadovoljavanja različitih ljudskih fizičkih potreba za koje treba osigurati određene uvjete (Slika 2.3.). Uvjeti su definirani temperaturom, relativnom vlažnošću zraka, brojem izmjena zraka, kvalitetom zraka, i sl. Također, unutarnji okoliš može biti uvjetovan i određenom opremom ili namjenom (arhivi, bazeni, ledene dvorane, itd.) Unutar svake zgrade može postojati nekoliko unutarnjih okoliša s različitim poželjnim uvjetima. Između unutarnjih okoliša nalaze se pregrade koje također moraju zadovoljiti određene zahtjeve, ali znatno blaže i malobrojnije od onih za vanjsku ovojnicu zgrade [1].



*Slika 2.3. Utjecaj vlage na unutrašnji zid*

### 3. Fizika zgrade

Unatoč velikom broju navedenih funkcija ovojnice zgrade, ipak se najveći dio njih odnosi na kontrolu prijenosa topline i vlage. Važnost ovojnice zgrade, odnosno nedostaci u njenom oblikovanju i odabiru materijala, vidljivi su već i samo vizualnim pregledom zgrade. Ovisno o vrsti prijenosa topline i vlage, ovise i mogući načini kontrole. Ako se radi o prijenosu topline provođenjem, cilj je povećati toplinski otpor ( $R$ ) ovojnice, što se postiže upotrebom slabo provodljivih materijala (materijali niskih  $\lambda$  vrijednosti), ispravnim odabirom i ugradnjom toplinske izolacije te izbjegavanjem toplinskih mostova. Prilikom prijenosa topline konvekcijom većinu gubitaka moguće je umanjiti smanjenjem protoka zraka i ograničavanjem gibanja zraka, što se postiže smanjenjem zračnih šupljina među elementima, dodavanjem umetaka za blokiranje konvekcije te ugradnjom materijala za zračne barijere. Kod prijenosa topline zračenjem važno je smanjiti izloženost ovojnice Sunčevom zračenju te smanjiti transmisiju toga zračenja. Pritom je važan pažljiv odabir lokacije i tlocrta zgrade, pažljiv odabir sustava ostakljenja i upravljanja kao i upotreba barijera Sunčeva zračenja [1].

#### 3.1. Kondenzacija i difuzija vlage

Do **kondenzacije** vodene pare na unutarnjim površinama vanjskih zidova građevina dolazi zbog neodgovarajuće izolacije vanjskih zidova, kao i pojava toplinskih mostova. Toplinski most predstavlja ograničeno područje u vanjskom pojasu kod kojeg, uslijed promjene materijala, debljine ili geometrije građevnog dijela, za razliku od neprekinutih dijelova, dolazi do povećanog toplinskog toka kroz omotač. Kada je otpor prolasku topline vanjskih zidova mali, vanjska i unutarnja temperatura zraka teže izjednačenju. Ako temperatura unutarnje površine vanjskog zida padne ispod temperature rosišta, vlaga iz zraka će kondenzirati na površini zida. Kondenzacija vodene pare smanjuje kvalitetu građevine. Uzrokuje brojne negativne posljedice na stjenkama unutarnjih zidova, kao što je povećanje toplinske provodnosti materijala, degradacija mehaničkih svojstava i propadanje strukture materijala, moguća pojava korozije itd.,. Da bi se kondenzacija spriječila, uz pravilan odabir debljine i strukture građevnih dijelova, najznačajnija je odgovarajuća toplinska izolacija unutarnjeg i vanjskog prostora. Svakako, pažnju treba posvetiti i pravilnoj izvedbi toplinskih mostova [3].

## Difuzija vlage

Difuzija vlage je proces, kojim se vlaga, tj. molekule vode, kreću s mjesta više koncentracije prema mjestu niže koncentracije. Koncentracija vodene pare u zraku proporcionalna je njezinom parcijalnom tlaku u zraku. Do difuzije dolazi uslijed razlike u parcijalnim tlakovima vodene pare s dvije strane elementa, a proces se odvija u smjeru nižeg parcijalnog tlaka. Intenzitet difuzije ovisi i o strukturi građevnog materijala elementa. Svaki materijal karakterizira koeficijent difuzijske vodljivosti vodene pare  $\delta$ . Različiti materijali imaju različite otpore difuziji vodene pare, te u većini slučajeva materijali koji su dobri toplinski izolatori, su ujedno loši difuzni izolatori i obrnuto [3].

Difuzija vodene pare kroz elemente, sama po sebi nije štetna. Tek kondenzacijom vodene pare u slojevima elementa, dolazi do negativnih utjecaja. Stoga je potrebno utvrditi dolazi li i na kojim mjestima unutar slojeva do kondenzacije. To se utvrđuje određivanjem raspodjele parcijalnih tlakova vodene pare kao i raspodjele tlakova zasićenja po presjeku elementa. Na mjestima za koje se utvrdi da bi parcijalni tlakovi vodene pare bili viši od tlakova zasićenja za odgovarajuće temperature, očekuje se pojava kondenzacije vlage unutar građevnog elementa. Naime, pojava se kondenzacije procjenjuje tako da se za promatrani element najprije provede proračun transporta topline, uvažavajući rubne uvjete, toplinske i geometrijske značajke pojedinih slojeva. Rezultat je temperaturna raspodjela unutar elementa. Temeljem dobivene temperaturne raspodjele i krivulje napetosti za vodu (p,θ dijagram), svakoj temperaturi se pridružuje odgovarajuća vrijednost tlaka zasićenja, čime se dobije raspodjela tlakova zasićenja kroz profil. Tlakovi zasićenja se ne mijenjaju linearno, zbog čega je potrebno očitati nekoliko tabličnih vrijednosti unutar pojedinih slojeva elementa, unutar kojeg se temperaturni profil mijenja linearno [3].

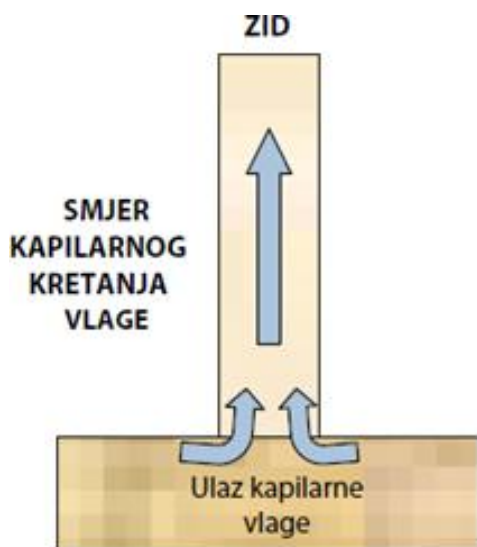
Krivulja raspodjele parcijalnih tlakova vodene pare određuje se na način da se izjednači odnos pada parcijalnog tlaka za pojedini sloj prema ukupnom padu tlaka s obje strane građevinskog elementa i odnos otpora difuzijskoj propusnosti vodene pare promatranog sloja prema ukupnom otporu difuzijskoj propustljivosti elementa. Tako određena raspodjela se ucrtava preko prethodno određene raspodjele tlakova zasićenja [3].

Ako krivulja parcijalnih tlakova vodene pare ni na jednom mjestu unutar elementa ne presijeca krivulju tlakova zasićenja, tada za dane uvjete unutar građevinskog elementa ne dolazi do kondenzacije difundirane vodene pare. Ako se krivulje presijecaju, doći će do kondenzacije vodene pare i to na cijelom području presijecanja [3].

### 3.2. Kapilarno dizanje vlage

Kapilarna vlaga javlja se u građevinama bez hidroizolacije te zbog dotrajalosti ili nestručne ugradnje. Hidroizolacija zidova izvana i hidroizolacija zidova iznutra čuva zidove od vlage.

**Vlaga u zidovima** nastaje tako da se voda kreće prema porama materijala (cigla, žbuka, kamen...) te ukoliko je kapilarna sila veća od sile teže, dolazi do oštećenja koja se pojavljuju iznad mjesta ulaska vode (Slika 3.2.). Kapilarna vlaga karakteristična je za starije građevine koje su nastale u vrijeme kada graditelji nisu bili upoznati s vodonepropusnim materijalima. [4]



Slika 3.2.. Prikaz smjera dizanja kapilarne vlage

### 3.3. Kapilarna vlaga – uzroci nastanka

Voda u zidu može se naći zbog različitih razloga, a naznake tih oštećenja su: pojava štetnih soli, otpadanje žbuke sa zidova, neugodan miris vlage i nastajanje po zdravlje štetnih gljivica plijesni te izrazito hladne površine.

Unatoč tome što je kapilarna vlaga više karakteristična za starije građevine, u današnje vrijeme se sve češće susrećemo i s građevinama novije dobi koje imaju isti problem. Kod njih su uzročnici kapilarne vlage malo drugačiji, a oni mogu biti: poplave, puknuća cijevi unutar zida, slijevanje vode kroz terasu, kod bočnih prodora vode ili općenito bilo kakve prisutnosti u zidovima [4].

### 3.4. Sanacija kapilarne vlage u zidu – injektiranje

Injektiranjem se ispunjavaju i zatvaraju pukotine u zidovima, fasadama ili betonskim pločama kako bi se spriječilo daljnje prodiranje kapilarne vlage. U patentiranom postupku sanacije kapilarne vlage u zidu se injektiranjem u zid unosi trajno elastična i ne truleća umjetna smola koja onemogućuje kapilarno penjanje vlage po zidovima [5].

#### Sušenje zidova – očuvanje zdravlja

Treba imati na umu da objekti oštećeni kapilarnom vlagom donose i određeni zdravstveni rizik – ponajprije pad imuniteta, a zatim i razvoj alergijskih i imunoloških problema, pojavu astme i drugih bolesti. Sušenje zidova i isušivanje vlage različitim isušivačima ne rješava probleme s kapilarnom vlagom. Jedino rješenje je injektiranje zidova i hidroizolacija s unutarnje strane [5].

U konstrukciji se svakodnevno događa transport zraka, vode, vlage, vodene pare i njihovih sastojaka kroz građevne elemente. Njihovo djelovanje na konstrukciju uvelike utječe na samu funkcionalnost građevine i udobnost življenja u istoj. Istraživanja su pokazala da je u 70% slučajeva vlaga direktno ili indirektno uzrok narušene kvalitete zgrade i njezinih elemenata [6].

Utjecaj promjene higrotermalnih parametara materijala numeričkog modela na transport topline i vlage u vremena pripada kontroli vlage, jer osim nelagode uzrokovane viškom vlage, pojava plijesni i gljivica uvelike može utjecati na zdravlje stanara. Osim visoke vlažnosti problem se može razviti i zbog premale vlažnosti u prostoriji što rezultira suhoćom kože, grla i nosa te povećava alergijske reakcije. Osim zdravstvenih tegoba i smanjene ugodnosti boravka, neadekvatna vlažnost uzrokuje degradaciju materijala što dovodi do narušavanja izgleda zidova, stropova i ostalih građevnih elemenata te u dužem periodu može narušiti trajnost i dovesti u pitanje stabilnost same konstrukcije. Oštećenja uslijed djelovanja vlage. Uzrok transporta zraka je gradijent pritiska kojeg mogu izazvati vanjski utjecaji, voda koja se kreće kroz materijal, vjetar, razlike u temperaturi i sastavu zraka. Sam transport zraka može se promatrati kao prolazak kroz otvore vrata i prozora i kao prolazak kroz otvorene pore građevnih elemenata. Dok se vodena para najčešće prenosi difuzijom i samim tokom zraka, voda se kroz elemente širi pomoći kapilarnosti, gravitacije i pritiska. Prolazak topline, vlage i zraka kroz vanjsku ovojniju zgrade karakterizira njezino higrotermalno ponašanje (eng. hygrothermal performance/behaviour). Smjer kretanja topline i vlage jednak je u građevinskom elementu te do

njega dolazi uslijed razlike parcijalnih tlakova i temperature u unutrašnjosti zgrade i u vanjskom okolišu. Do kretanja vodene pare dolazi procesom difuzije kroz vanjsku ovojniciu iz područja višeg parcijalnog tlaka vodene pare u područje nižeg parcijalnog tlaka, s težnjom da koncentracija vodene pare na svim mjestima bude jednaka. Što je veća razlika parcijalnih tlakova, to je i veća gustoća difuzijskog toka vlage kroz vanjsku ovojniciu. Svaki građevni element, u ovisnosti od strukture materijala, pruža određeni Utjecaj promjene higrotermalnih parametara materijala numeričkog modela na transport topline i vlage u vremenu. Samo kretanje vodene pare kroz građevni element, ako ne dolazi do njene kondenzacije, nema nikakve negativne posljedice po element, do opasnosti za oštećenje elementa i smanjenja njegove toplinsko-izolacijske sposobnosti dolazi jedino u slučaju kondenzacije vodene pare unutar elementa. [7,8].

### **3.5. Hidroizolacija**

Cilj izgradnje hidroizolacije je zaštita svih građevinskih objekata od nastanka vlage. Postupak koji se naziva hidroizolacija je proces u kojem se vrši izrada strukture ili objekta koji je hidroizoliran ili vodootporan po principu da navedena struktura ili objekt ne mijenjaju oblik ukoliko dođe do prodiranja vode u nekim određenim uvjetima (Slika 3.5.). Najčešće se koristi hidroizolacija krova. Sredine koje su jako vlažne ili objekti koji se nalaze pod vodom zahtijevaju izgradnju takvih struktura. Hidroizolacija se uvodi da bi sanirala moguću štetu nastalu prodiranjem vode koja je ili pod pritiskom ili u tekućem stanju.

S druge strane, vodootpornost otkriva koliko su neki određeni objekti ili strukture otporni na vlagu. Nekad davno, u prošlosti, su se trupovi velikih i malih brodova premazivali katranom kako bi ostvarili hidroizolaciju i to je, zapravo, prvi način hidroizolacije premazom ikad zabilježen. U današnje vrijeme se većina modernih objekata ili struktura izoliraju na način da se koristi primjena brtvljenja fuga s brtvilom ili se primjenjuju razni vodootporni premazi [21].





*Slika 3.5* Zaštita konstrukcije objekta koja je djelomično podrumljena

## 4. Mehanizmi prijenosa topline

### 4.1. Radijacija

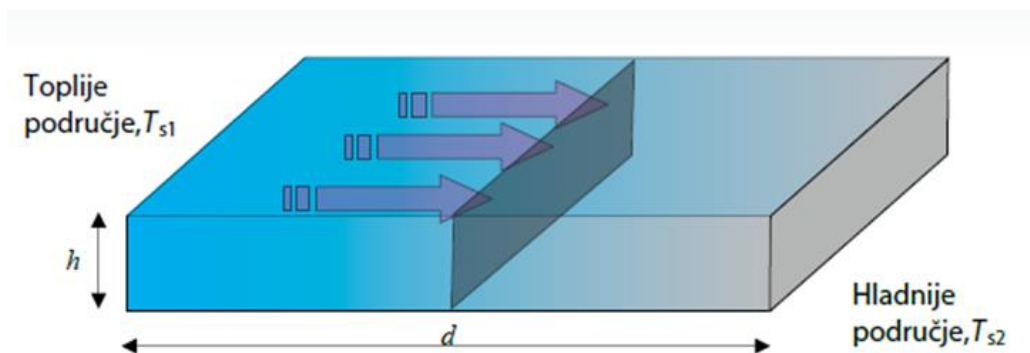
To je način izmjene topline putem elektromagnetskih valova između tijela različitih temperatura, između kojih je proziran (propustan) medij. Širenje se elektromagnetskih valova odvija bez materijalnog posrednika što je osnovna razlika između zračenja i konvekcije i kondukcije. Sve površine emitiraju i primaju zračenje. Iznos emitirane energije s površine tijela ovisi o temperaturi tijela, vrsti materijala i stanju površine. Debljina površinskog sloja odgovornog za emisiju i apsorpciju zračenja za metalne materijale iznosi nekoliko molekula, a za nemetalne materijale nekoliko mikrometara. Većina je materijala nepropusna za toplinsko zračenje. No, postoje materijali koji su propusni za upadna zračenja na pojedinim dijelovima elektromagnetskog spektra. Primjer je staklo, koje je vrlo propusno za svjetlosne zrake (valne duljine 0,4 do 0,7  $\mu\text{m}$ ), te potpuno nepropusno za infracrvene zrake (valne duljine od 0,7 do 400  $\mu\text{m}$ ) [3].

Geometrijski ili vidni faktor ovisi samo o geometriji graničnih ploha tijela i njihovom međusobnom položaju u prostoru [1]. Emisijski faktor površine tijela u općem slučaju ovisi o vrsti materijala, stanju površine, temperaturi i valnoj duljini. Koeficijenti emisije većine građevinskih materijala (beton, žbuka i sl.) kreću se od 0,8 do 0,9, što znači da su dobri emiteri i apsorberi zračenja [3].

### 4.2. Kondukcija

Kondukcija ili vođenje (eng. Heat Conduction) prijenos je topline uzrokovan učestalim molekularnim sudaranjem. Kod materijala u krutom agregatnom stanju to je jedini način vođenja topline zbog jakih međumolekularnih sila. Kondukcija se javlja i u krutinama i u tekućinama i u plinovima, a od izuzetne je važnosti za građevinske materijale. U kondukciji prijenos toplinske energije nastaje djelovanjem temperaturnih razlika u tvar (Slika 4.2.). Brzina gibanja molekula proporcionalna je temperaturi pa tako pri višoj temperaturi molekule se gibaju brže, a pri niskoj sporije. U skladu s drugim zakonom termodinamike molekule se gibaju iz područja više temperature u područje niže temperature. Fourier je na temelju tih spoznaja postavio zakon koji glasi:  $q_p = -\lambda(dT/dx)$  pri čemu  $\lambda$  (toplinska provodljivost) ovisi o vrsti materijala kroz koji se provodi toplina, ali ovisi i o temperaturi. Izražava se u  $[\text{W}/\text{mK}]$ , a predstavlja svojstvo

građevinskih materijala da u manjoj ili većoj mjeri provode toplinu uslijed razlike temperature na dvije granične površine elementa. S fizikalnog aspekta predstavlja količinu toplinu u J, koja u jedinici vremena prođe kroz sloj materijala ploštine presjeka u  $m^2$  i debljine 1 m okomito na njegovu površinu pri razlici temperature od 1K. Taj se koeficijent mijenja u širokom rasponu materijala od onih koji dobro vode do onih koji slabo vode toplinu. Sama vrijednost toplinske provodljivosti ovisi o: gustoći, kemijskom sastavu materijala, vlažnosti samog materijala, temperaturi, homogenosti materijala te atmosferskom tlaku. Što je veći koeficijent toplinske provodljivosti to je materijal bolji vodič, a što je taj koeficijent manje vrijednosti materijal je bolji izolator [7,8,9].



Slika 4.2. Prijelaz topline iz toplijeg područja u hladnije

### 4.3. Konvekcija

Konvekcija ili strujanje (eng. Convective Heat Transfer) je prijenos topline kretanjem mase fluida kao što su npr. zrak ili voda. Za fluide je karakterističan prijenos topline istovremeno na makroskopskom (izmjenom mjesta i sudaranjem čestica fluida) i mikroskopskom nivou (sudaranjem molekula). Nastaje kada se zagrijani fluida giba od izvora topline i sa sobom nosi energiju, a primjer ovakvog gibanja je djelovanje radijatora. Fluid prima toplinu na jednom mjestu i odnosi je svojom strujom na neko drugo mjesto. Topliji zrak je lakši pa se diže u vis dok se hladniji koji je teži spušta prema tlu, na taj način dolazi do strujanja zraka prilikom čega se toplina raznosi po sobi. Postoje tri vrste konvekcije:

1. Prirodna (slobodna)

2. Prisilna

3. Mješovita, prirodna ili slobodna konvekcija nastaje gibanjem fluida uzrokovane razlikom u gustoći zbog nejednolike temperature.

Kako gibanje fluida nije izazvano nikakvom prisilom tj. mehaničkim utjecajem okoline takav se prijenos naziva slobodnom konvekcijom.

Prisilna konvekcija ostvaruje se djelovanjem nekog tehničkog uređaja: ventilatora, kompresora, pumpe i dr. Pokretni dijelovi ovih uređaja (lopatice) potiskuju čestice fluida prema području nižeg tlaka.

Mješovita konvekcija nastaje pod približno jednakim utjecajem prisilne i prirodne konvekcije. Za bolje razumijevanje kretanja fluida potrebno je definirati tri osnovna oblika strujanja: laminarno (nema preskakanja čestica iz jedne strujnice u drugu), prijelazno i turbulentno [7].

Koeficijent toplinske vodljivosti služi kao mjera količine prijenosa energije, označava se slovom  $\lambda$ .

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

$q$  = gustoća toplinskog toka (W/m<sup>2</sup>)

$d$  = debljina materijala (m)

$\Delta T$  = razlika u temperaturi (°K)

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

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<sup>2</sup>K/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.

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

$R$  = toplinski otpor

$d$  = debljina sloja materijala

$\lambda$  = 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.

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

$R_1, R_2, R_3, R_n$  = 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. Izolacija je bolja ako je vrijednost veličine  $U$  manja [22].

$$U = 1/R_w \text{ [ m}^2\text{K/W ]}$$

$U$  = 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. [23]

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,g} \cdot Q_{H,g} \text{ [kWh]}$$

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

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

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

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

#### 4.4. Latentna i senzibilna toplina

Pohrana toplinske energije (Thermal Energy Storage -TES) omogućuje da hladnoća i toplina budu uskladišteni, kako bi kasnije mogli biti korišteni. Uskladištenje može biti izvršeno na dva načina: fizikalnim (osjetno i latentno skladištenje topline) i kemijskim metodama [10].

Kad zagrijavamo neki objekt i kako mu dodajemo toplinu njegova temperatura raste. Povećanje te topline naziva se *senzibilna toplina*. Slično tome, kad objektu oduzimamo toplinu i njegova temperatura pada, oduzeta toplina također se naziva *senzibilna toplina*. Toplina koja uzrokuje promjenu temperature kod nekog objekta naziva se senzibilna toplina [11].

Sve supstance u prirodi imaju mogućnost promjene stanja. Krute supstance mogu postati tekuće i tekuće mogu postati plinovite. No za takve promjene potrebno je dodati ili oduzeti toplinu. Toplina koja uzrokuje ovakve promjene za zove se latentna toplina [11].

#### **4.5. Energetska učinkovitost**

U fizici pojam energije (oznaka E) označava sposobnost nekoga tijela ili sustava da obavi neki rad. Energija je neophodna u gotovo svim poljima ljudskog života. Energija pokreće gospodarstva i industriju, o njoj ovisi gotovo svaka djelatnost koju koristimo na dnevnoj bazi. Opskrba energijom je, uz opskrbu pitkom vodom i hranom, ravnopravno važan čimbenik jer je ona sastavni dio svake opskrbe a potrebe za energijom su u konstatnom rastu. Nažalost, većina energije se dobija na neodrživ način i njena potrošnja nije racionalna. Gotovo 2/3 svjetskih emisija ugljikovog dioksida se stvaraju proizvodnjom i korištenjem energije što je ključan faktor kod klimatskih promjena. Stoga je bitno promijeniti tradicionalne načine proizvodnje energije koji se fokusiraju na izgaranje fosilnih goriva, s naglaskom na obnovljive izvore energije koji su održivi i učinkovitiji način proizvodnje energije. Bitan je naglasak i na racionalnoj potrošnji proizvedene energije na koji način se mogu postići velike uštede i smanjiti potrebe proizvodnje i negativnog utjecaja na okoliš. Što po tom pitanju možemo učiniti u građevinskom sektoru?

Gospodarenje energijom i očuvanje topline te održivost uporabe održivih izvora su dva temeljna zahtjeva na građevinu koja je potrebno zadovoljiti tijekom čitavog životnog ciklusa građevine.

Jedan od najvećih potrošača energije općenito, vezan je uz građevinski sektor, a to su postojeće građevine, stambene i komercijalne. Ukupna potrošnja energije postojećih javnih i privatnih građevina unutar Europske Unije iznosi od 40 – 45% (otprilike po 30% otpada na industriju i jednako toliko na transport) uz to što proizvode 30% ukupog otpada i 20% dostupne vode.

Iz tog razloga bitno je uštedjeti energiju unutar sektora zgradarstva u kojem leži najveći potencijal uštede energije, poboljšavanjem energetske karakteristika postojećih zgrada kao i

novogradnjom zgrada visokoenergetskih svojstava po nZEB standardu. Kako bi se postignula ušteda energije zgrada uz produljenje njena životnog vijeka propisani su razni akcijski planovi, zakoni i direktive koji uz poticajne mehanizma i stroga pravila pri projektiranju doprinose zaštiti okoliša [24].

U Republici Hrvatskoj, obiteljske kuće sačinjavaju 65% ukupnog stambenog fonda. Većina obiteljskih kuća u Hrvatskoj je izgrađeno prije 1987. godine kada je doneseno novo i pooštreno izdanje postojećeg Propisa pod nazivom HRN U.J.5.600. U ovom propisu ograničene su U vrijednosti kao i količina toplinskih gubitaka zgrade. U skladu s građevinskim navikama karakterističnima za period prije donošenja navedenog propisa, bitno je bilo samo zadovoljiti statiku konstrukcije a gotovo nikakva pozornost nije davana energetskim karakteristikama zgrade. Stoga kuće građene prije 1987. godine nemaju gotovo nikakvu ili samo minimalnu toplinsku izolaciju i po današnjoj kategorizaciji spadaju pod energetski razred E i lošiji zbog čega se u takvim kućama troši 70% energije za grijanje, hlađenje i pripremu potrošne tople vode. Slična je situacija i sa višestambenim zgradama koje su većinom građene prije 1987. godine, i koje su također vrlo slabih energetskih svojstava. Ostakljeni otvori na takvim zgradama su zauzimali sve veći udio pročelja a energetska svojstva takvih stakala i profila nije bila zadovoljavajuća uz nedostatak brtvljenja i bez prekida toplinskog mosta. Nikakva pažnja nije bila davana rješavanju toplinskih mostova na ovojnici zgrade što bi dovodilo do pojave gljivica i plijesni kao i vlage na rubovima zidova koji su bili od armiranog betona uz nikakvu toplinsku izolaciju. Navedeno ima za posljedicu da te zgrade otprilike troše 200-250 kWh/m<sup>2</sup> toplinske energije za grijanje. Mjerama energetske obnove moguće su znatne uštede u energetskim potrebama takvih višestambenih zgrada i obiteljskih kuća, u nekim slučajevima čak i do 70% u usporedbi sa trenutnim stanjem (Slika 4.5.) [25].

Stambene zgrade	Nazivni normativ godišnje potrebne topline za grijanje po jedinici ploštine korisne površine zgrade $Q_b$ [kW·h/(m <sup>2</sup> ·a)]
Postojeće stanje	
Stare zgrade	~ 250
Novije zgrade (norma iz 1987.)	~ 150
Energijski štedljive zgrade (Tehnički propis iz 2005.)	≤ 90
Planirano stanje (štedljive zgrade)	
Zgrade s malim utroškom energije	≤ 40
Pasivne kuće/zgrade	≤ 15
Zgrade/kuće koje ne troše energiju	= 0

godina izgradnje	kontinentalna Hrvatska površina m <sup>2</sup>	primorska Hrvatska površina m <sup>2</sup>
- 1945	3,878,546	3,610,110
1945 - 1970	9,007,436	3,791,040
1970 - 1980	7,448,541	3,829,945
1990 - 2006	5,201,759	2,721,837
2007 - 2008	868,325	516,106
2009 - 2010	597,705	369,090

Slika 4.5. Godišnja potrošnja energije različitih zgrada

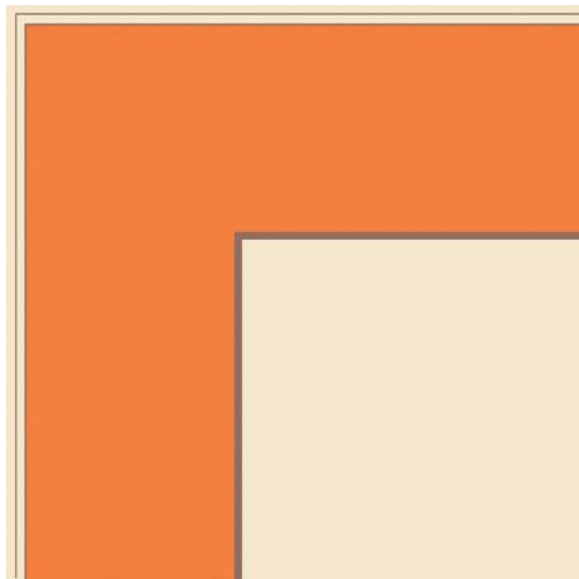


## 5. Toplinski mostovi

Toplinski most je manje područje u omotaču grijanog dijela građevine kroz koje je toplinski tok povećan radi promjene materijala, debljine ili geometrije građevnog dijela zgrade. Toplinski mostovi i s energetskog i s higijenskog gledišta predstavljaju slabe točke u konstrukciji zgrade. Udio toplinskih mostova u gubicima prijenosa energije može, ovisno o rubnim zahtjevima, iznositi do 20%, čak i više. Istovremeno raste rizik akumuliranja kondenzata, što uz određene preduvjete može dovesti do stvaranja plijesni. Uz sve veće poboljšanje građevinske toplinske zaštite, doprinos toplinskih mostova gubicima prijenosa topline dobiva na značenju [6]. Toplinski mostovi po obliku mogu biti linijski i točkasti [12].

U načelu se toplinski mostovi mogu podijeliti u dvije grupe: geometrijski uvjetovani toplinski mostovi, a koji mogu biti točkasti, dvodimenzionalni i trodimenzionalni, te toplinski mostovi uvjetovani materijalima [6].

U praksi se često susreće preklapanje obaju fenomena. Tipični predstavnik geometrijskog toplinskog mosta je vanjski ugao (Slika 5.1.).



*Slika 5.1.* Dvodimenzionalni toplinski most

Toplinski su mostovi ograničena područja s gustoćom toplinskog protoka koja je veća u odnosu na druga područja građevinskih elemenata. Uslijed lokalno povećanog odvođenja topline, pada temperatura površine na unutrašnjoj strani građevinskog elementa. Time raste rizik povećanja 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. To ne predstavlja samo optički nedostatak, već može izazvati i zdravstvene poteškoće, npr. alergijske reakcije. Učinak toplinskih mostova još se pojačava pogrešnim zagrijavanjem i prozračivanjem [6].

Posljedice toplinskih mostova povećani gubici topline, niža površinska temperatura unutrašnje plohe vanjskog građevinskog dijela, pojava površinske kondenzacije vodene pare, pojava gljivica i plijesni, šteta na građevini [6].

Mjesta pojavljivanja toplinskih mostova:

- uglovi zgrada
- spojevi unutrašnjih i vanjskih zidova
- spoj drvenih podrožnica i rogova s armirano betonskim serklažima
- spoj stropa i vanjskog zida
- spoj zida i krova
- spoj zida i plohe poda / stropa podruma
- spojevi prozora i vrata (nadvoji, ograde i sl.)
- proboji izolacijskih slojeva (balkoni, konzole i sl.)

Posljedice toplinskih mostova:

- povećani gubici topline
- niža površinska temperatura unutrašnje plohe vanjskog građevinskog dijela
- pojava površinske kondenzacije vodene pare
- pojava gljivica i plijesni (Slika 5.2.).
- šteta na građevini



*Slika 5.2.* Pojava gljivica i plijesni

Preporuke za smanjenje utjecaja toplinskih mostova:

- razrada projekta s obuhvatom detaljnog rješavanja svih toplinskih mostova
- postići kontinuiranost ugradbe toplinske izolacije (bez prekida) gdje god je to tehnički moguće
- ako postoji dodatna toplinska izolacija, postaviti je s vanjske strane
- dobro brtvljenje svih spojeva
- prozore ugraditi u ravnini s vanjskom toplinskom izolacijom, ako ista postoji
- toplinski izolirati kutije za rolete
- ugrađivati elemente za prekid toplinskih mostova kod prodora građevnih dijelova slabih toplinsko-izolacijskih svojstava kroz vanjski omotač zgrade (npr. prodor armirano betonske stropne ploče)
- toplinski izolirati podnožje (“sokl”) zidova, a toplinsku izolaciju provući dijelom preko temelja
- zone zidova negrijanih ili otvorenih prostora koji se nastavljaju u grijane prostore, obavezno toplinski izolirati u dužini najmanje 50 cm od spoja konstrukcija (produženje toplinskog mosta)

## 6. ETICS sustav (external thermal insulation composite system)

Fasada je naziv za vanjski vidljivi dio neke građevine. Riječ fasada potječe od latinske riječi *facies* što znači lice. Paralelno s razvojem graditeljstva razvijale su se i fasade, kako po obliku, tako i po načinu izrade.

Osnovna podjela fasadnih sustava:

a) Klasično ožbukana fasada – fasada koja se sastoji od cementno-vapnene temeljne žbuke, sloja za izravnavanje i završne-dekorativne žbuke. Takva fasada nema funkciju toplinske izolacije, nego je njena jedina svrha zaštita zidova od vanjskih atmosferskih utjecaja i estetska funkcija. Izolacijski sloj je moguće postaviti iznutra, što i nije baš najbolje rješenje, no u prošlosti je ovo bio jako čest i skoro jedini način izrade fasada. Inače, žbukanje ima višestruku namjenu. U tehničkom smislu, žbukom se omogućuje izravnavanje neravnih ploha, zidova i stropova i stvaranje ravne podloge za bojanje, polaganje tapeta i sl., štiti se zid i pročelje od atmosferilija, oštećenja i vlage, a poboljšavaju se akustična i toplinska svojstva zida. U higijenskom smislu, zatvara se nepravilnost reška i spojeva, omogućuje lakše čišćenje i održavanje zida, te sprečava uvlačenje kukaca. U estetskom smislu, oblikuje se zidna ili stropna ploha u skladu s arhitektonskim izrazom građevine. Iako je ovaj tip fasade u startu jeftiniji u odnosu na druge tipove fasada, sve se manje preporučuje i radi zbog svojih loših toplinskih karakteristika. Postavljanjem toplinske izolacije na fasadi postiže se kvalitetnija zaštita građevine od vanjskih utjecaja i poboljšava se njena energetska učinkovitost.

b) Povezani sustav za vanjsku toplinsku izolaciju (ETICS) – fasada se sastoji od ljepila, termo-izolacijske ploče sa ili bez pričvrsnica, sloja za izravnavanje i armaturnog sloja te završne dekorativne žbuke. U današnjem svijetu sve više raste svijest o štednjoj energiji, što značajno utječe i na odluke o toplinskoj izolaciji objekta. Izolacija te vrste ne osigurava samo niže troškove grijanja, već posljedično omogućuje i zdraviju i ugodniju klimu unutar objekta, te udobnije uvjete boravka. Toplinski izolirani objekti su i bolje zvučno izolirani. Kod zidova koji su bez toplinske izolacije, uslijed niskih vanjskih temperatura, dolazi do velikog gubitka topline kroz zid. Ukoliko se na objekt ugradi odgovarajući fasadni toplinsko-izolacijski sustav (ETICS), gubitak topline kroz izolirani zid je puno manji, što posljedično dovodi do toga da je temperatura unutarnjeg zida, a

samim time i cijele prostorije, viša nego što bi bila bez izolacije (Slika 7.1.). Osim toga, tijekom vrućih ljetnih mjeseci kvalitetan ETICS sustav na građevini sprečava prodor toplog zraka u unutarnje prostorije, što s jedne strane osigurava ugodnije uvjete boravka u objektu, a s druge značajno umanjuje troškove klimatizacije (hlađenja). Osim ove podjele fasade se mogu razlikovati i s obzirom na materijal od kojeg su izrađene, one tako mogu biti drvene, staklene, metalne, kamene i betonske [13].

### **Definicija ETICS-A**

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 (Slika 6.1.):

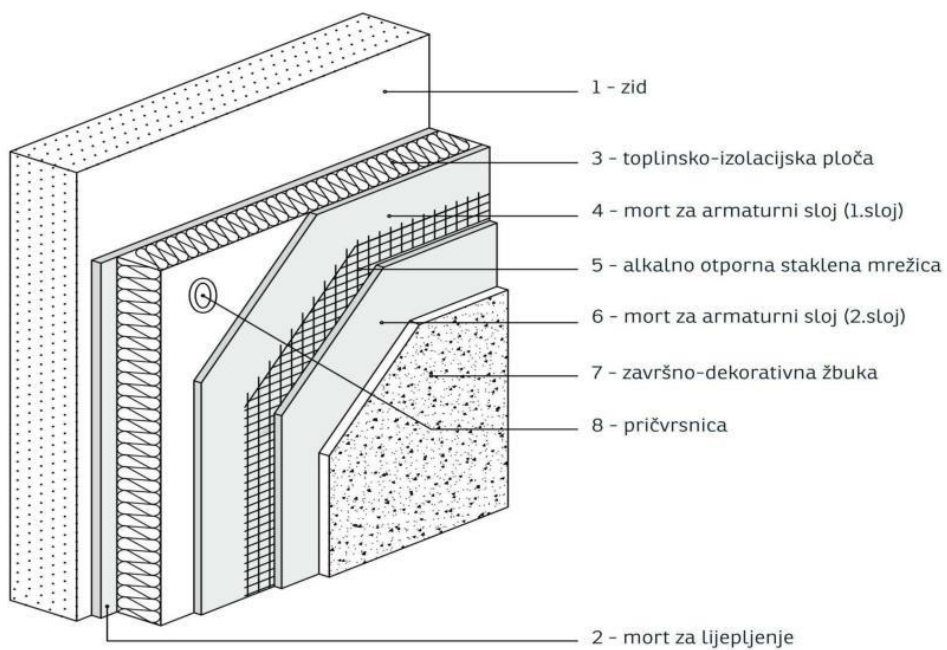
1. Mort za lijepljenje i/ili mehaničko pričvršćenje
2. Toplinsko-izolacijski materijal
3. Mort za armaturni sloj
4. Staklenu mrežicu
5. Završno-dekorativnu žbuku.

Sve se komponente sustava odabiru ovisno o specifičnosti sustava i podloge.

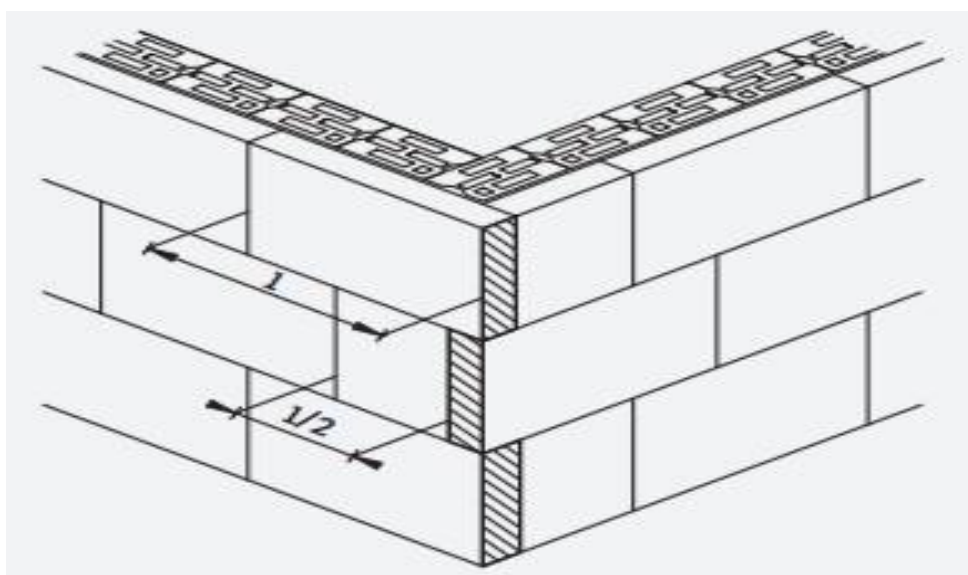
Kako bi se osigurala funkcionalnost, važna je savršena usklađenost komponenata sustava te stručno planiranje i izvedba (Slika 6.2.) [14].

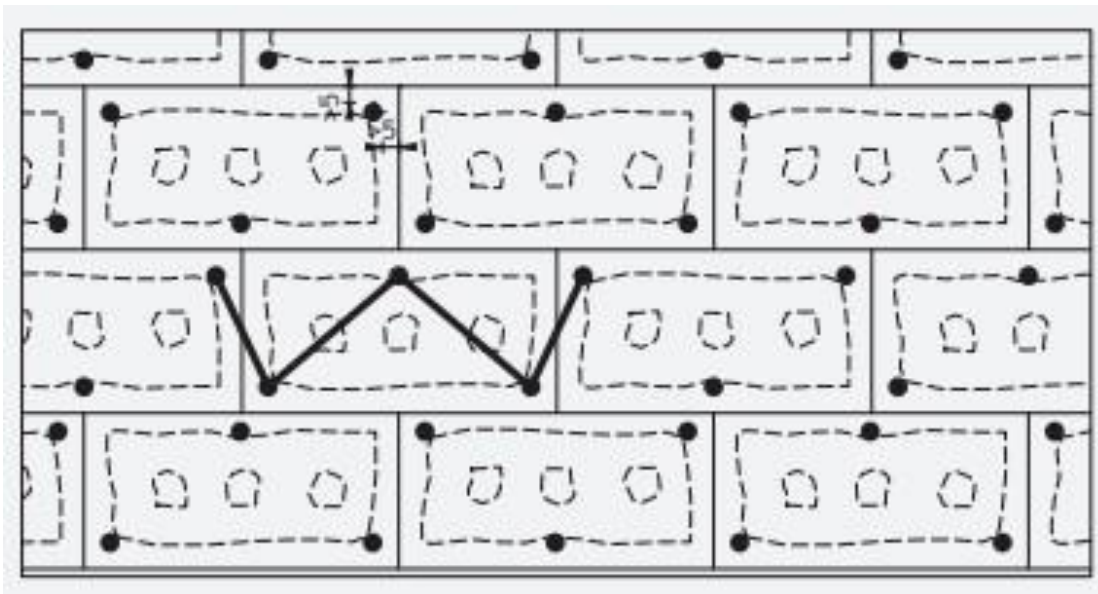
## STRUKTURA NEVENTILIRANE FASADE ETICS SUSTAVA - PRESJEK

Slika 1. Presjek strukture ETICS sustava



Slika 6.1. Primjer ETICS sustava





Slika 6.2.. Preklapanje TI na uglu, W-shema postavljanja pričvrsnica

## 7. Tradicionalni izolacijski materijali

Kod današnjih uobičajenih postupaka gradnje, potrebno je ovoj zgrade dodatno toplinski izolirati jer osnovni konstrukcijski materijali, koji zgradi osiguravaju nosivost i krutost, provode previše topline nego li je prihvatljivo. Zadaća je toplinske izolacije smanjivanje toplinskih gubitaka, a posredno i troškova za energiju, ali i zaštita nosive konstrukcije od vanjskih vremenskih utjecaja (npr. kiša, intenzivne promjene temperature i Sunčevo zračenje) i njihovih posljedica (kao što su vlaženje konstrukcije, smrzavanje u unutrašnjosti nosivih zidova, pregrijavanje). Poboljšana toplinska izolacija ovoja zgrade također neposredno utječe na čovjekov osjećaj u prostoru boravljenja jer su unutarnje površine zidova toplije, što poboljšava toplinski ugođaj u zgradi [15].

### **Podjela toplinskoizolacijskih materijala:**

Toplinskoizolacijski materijali mogu se podijeliti s obzirom na **kemijski sastav i strukturu**.

**Anorganski i organski** materijali imaju predstavnika u skupini najčešće upotrebljivanih klasičnih toplinsko izolacijskih materijala.

Od anorganskih materijala, na prvome je mjestu po opsegu uporabe toplinska izolacija od mineralnih vlakana, staklena i kamena vuna, od organskih materijala najvažniji su pjenasti materijali, na primjer ekspanzirani i ekstrudirani polistiren te pjenasti poliuretan.

S obzirom na fizikalno-kemijske karakteristike toplinsko izolacijski materijali mogu se podijeliti na vlaknaste i porozne materijale.

Među vlaknaste materijale spadaju tvari od (umjetnih) mineralnih vlakana, biljnih i životinjskih vlakana. Poroznim materijalima pripadaju anorganske tvari, prirodne organske i sintetičke organske tvari.

S uporabnog stajališta važna je podjela na "tradicionalne" i tzv. "ekološke" ili "alternativne" toplinskoizolacijske materijale, koja je dosta uobičajena u praksi, iako nije najsretnija i mjestimično se može opovrgnuti.

Kao ekološki toplinskoizolacijski materijal označuje se materijal odnosno proizvod koji se odlikuje po tom da u cijelom životnom krugu, od proizvodnje preko uporabe do odstranjivanja, što manje zagađuje okoliš.



Energija potrebna za proizvodnju toplinskoizolacijskih materijala razlikuje se ovisno o materijalima. Niske vrijednosti odnosa potrebne energije u proizvodnji i postignute toplinske vrijednosti postižu mineralna vuna, celuloza, pluto, kokos, srednju vrijednost ima ekstrudirani i ekspanzirani polistiren [15].

## **7.1. Mineralna vlakna**

Mineralna vuna se, s obzirom na sirovinski materijal, dijeli na staklenu i kamenu vunu. Staklena vuna proizvodi se od borosilikatnoga recikliranog stakla, kvarcnog pijeska, vapnenca, natrijeva karbonata i ostalih materijala. Najprije se sirovinski materijali rastale na temperaturi od 1400 °C do 1500 °C te se takva rastaljena masa raspuhuje kroz mlaznice u vlakna. Tijekom procesa raspuhivanja vlakna se miješaju s organskim vezivima (najčešće fenolna smola) za mehaničku čvrstoću i mineralnim uljima za zaštitu od prašenja te smanjenja površinske vodoupojnosti. O namjeni gotovog proizvoda ovisi i gustoća i način slaganja vlakana, debljina i tvrdoća proizvoda te dimenzije i smjer rezanja. Temperatura taljenja gotovog proizvoda je oko 700 °C.

Kamena vuna proizvodi se od prirodnih minerala, npr. vulkanskih stijena kao što su bazalt, diabaz, dolerit i sl. te ostalih materijala koji se koriste i za proizvodnju staklene vune (Slika 7.1.). Osnovna je razlika, u odnosu na staklenu vunu, u višoj temperaturi taljenja tijekom proizvodnje i kraćim vlaknima, stoga je konačni materijal teži i ima višu točku taljenja (iznad 1000°C), pa i bolju postojanost na višim temperaturama.

Obje su vrste mineralne vune negorive (razred reakcije na požar A1 ili A2) te se koriste u vanjskim konstrukcijama za toplinsku zaštitu, u pregradnim zidovima za zvučnu zaštitu te za zaštitu od požara u svim elementima građevine. Ne preporučuje se za izolaciju zidova pod zemljom.

Obje vrste mineralne vune, i kamena i staklena, te ostali vlaknasti toplinsko-izolacijski materijal i materijali otvorene strukture ćelija nisu primjenjivi na pozicijama izloženima vodi ili vlazi (podnožja zidova uz teren, uz podove terasa, lođa, balkona, krovna atike) zbog gubljenja toplinsko-izolacijskih svojstava i trajne degradacije materijala toplinske izolacije kod ugradnje na navedenim pozicijama [16].



*Slika 7.1. Staklena i kamena vuna*

## **7.2. Ekspandirani polistiren (EPS)**

Ekspandirani polistiren proizvodi se od sitnih kuglica polistirena veličine 0,1 - 2 mm (dobivenih od sirove nafte), pentana (4 – 6 posto) i usporivača plamena (eng. flame retardant).

Kuglice polistirena ekspandiraju zagrijavanjem parom na temperaturi od približno 100 °C dok se ne dostigne potrebna gustoća materijala. Svako zrnce ekspandira na veličinu veću oko 30 - 50 puta od svoga početnog volumena. Tako predeksandirane 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. Tvrdi EPS pjena sadrži 98 posto zraka te zbog toga ima odlična svojstva toplinske vodljivosti. EPS ima slaba svojstva na visokim temperaturama jer je termoplastični polimer niske toplinske inercije koji se topi na temperaturama višim od 100°C stvarajući topljive kapljice.

Posebne vrste EPS-a s poboljšanim elastičnim svojstvima (elastificirani EPS) koriste se za zaštitu od udarnog zvuka (u međukatnoj konstrukciji) gdje se mogu postići poboljšanja i do 30

dB na tvrdim podlogama. Također postoji i sivi EPS sa dodatkom grafita koji mu daje još bolja svojstva toplinske vodljivosti (Slika 7.2.) [16].



Slika 7.2. Ekspandirani polistiren (EPS)

### 7.3. Ekstrudirani polistiren (XPS)

Kemijski sastav ekstrudiranog polistirena isti je kao i kod ekspaniranog polistirena. Granule polistirena tope se u ekstruderu te zapjenjuju s dodatkom za ekspanziju (odnedavno najčešće ugljikov dioksid). Nakon završetka proizvodnog procesa sav ugljikov dioksid izađe iz materijala te ostane samo zrak.

XPS apsorbira zanemarivu količinu vode zbog zatvorene strukture ćelija i ima minimalno odstupanje u vodljivosti topline ili dimenzijama i kod dugotrajne izloženosti vodi ili vlazi, visoku tlačnu čvrstoću, visoku otpornost na difuziju, ali nije otporan na ultraljubičasto zračenje i na otapala. Kao i EPS, XPS spada u grupu termoplastičnih polimera koji nisu otporni na visoke temperature, a najveća temperatura primjene je 85°C.

Koristi se na mjestima u građevini gdje je uz toplinsku zaštitu potrebno osigurati i određenu nosivost (veću površinsku ili tlačnu čvrstoću) ili otpornost toplinske izolacije na vodu i vlagu, a najčešće za toplinsku izolaciju i zaštitu hidroizolacije zidova prema tlu s toplinskom izolacijom s vanjske strane hidroizolacije i podova pod zemljom, za toplinsku izolaciju industrijskih podova, toplinsku izolaciju konvencionalnih i obrnutih ravnih krovova (neprohodnih, prohodnih i zelenih krovova), toplinsku sanaciju krovova te najčešće u zonama podnožja zidova uz teren, podove terasa, lođa, balkona, uz krovne nadozide kod primjene drugih sustava toplinsko-izolacijskih materijala i sl. (Slika 7.3.) [16].



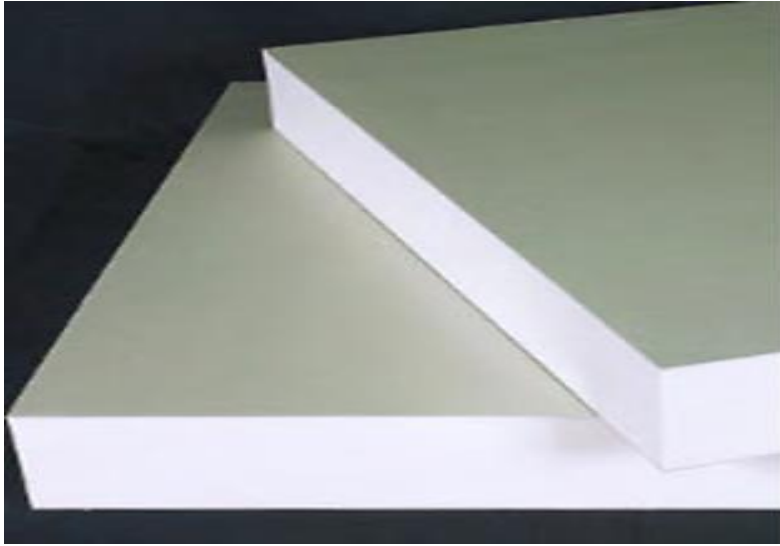
*Slika 7.3.* Ekstrudirani polistiren (XPS)

#### **7.4. Poliizocijanarutna (PIR) kruta pjena**

Poliizocijanurat, također poznat kao PIR spada u grupu termostabilnih polimera, kemijskog sastava sličnog poliuretanskoj pjeni (PUR). Za razliku od PUR-a, najveći udio PIR-a čine prstenovi izocijanurata što rezultira čvršćim vezama pjenastog materijala. Zbog toga PIR ima bolju toplinsku stabilnost i otpornost na visoke temperature (Slika 7.4.).

S aspekta gorenja, PIR se, kao i PUR, ubraja u skupinu termostabilnih polimera, ali ima bolja svojstva od njega. U ranoj fazi razvoja požara PIR se ponaša kao i PUR s usporivačem požara, ali stvaranje sloja drvenog ugljena na površini PIR-a znatno usporava daljnje napredovanje gorenja. U posljednje se vrijeme na tržištu mogu naći proizvodi PIR pjene ojačane staklenim vlaknima koji pri gorenju razvijaju manje dima od obične PIR pjene.

Česta je primjena PIR krute pjene u krovovima te sendvič-panelima s valovitim čeličnim limom zaštićenim od korozije, koji se koriste za krovne konstrukcije ili zidove (npr. u skladištima, tvornicama, poslovnim zgradama itd.) [16].



*Slika 7.4. Poliizocijanrarutna( PIR) kruta pjena*

## **7.5. Poliuretanska (PUR) kruta pjena**

Poliuretanska pjena je, prema svojstvima toplinske vodljivosti, među najboljima u odnosu na uobičajene toplinsko-izolacijske materijale jer 90% materijala čine zatvorene ćelije. Osnovne komponente za proizvodnju ovoga toplinsko-izolacijskog materijala su poliizocijanurat (P-MDI) i polialkoholi koji se proizvode od sirove nafte ili nekih obnovljivih materijala (npr. šećerna repa, kukuruz ili krumpir). Poliuretanska pjena proizvodi se miješanjem i kemijskim reakcijama tekućih komponenti s ekspanzirajućim dodatkom, pentanom ili ugljikovim dioksidom. Tijekom proizvodnje dodaju se i usporivači požara.

Poliuretanske ploče laminirane aluminijskom folijom s jedne strane ili obostrano otporne su na difuziju vodene pare i mogu doseći vrijednost toplinske vodljivosti od 0,023 W/mK. Poliuretan nije otporan na ultraljubičasto zračenje, ali je otporan na vrući bitumen i različita otapala.

Poliuretanske pjenaste tvrde ploče izrazito su male osjetljivosti na promjenu vodljivosti u slučaju povećanja vlažnosti materijala (za razliku od vlaknastih izolacija ili materijala s otvorenom strukturom ćelija, kod kojih se toplinska vodljivost - gubljenje toplinsko-izolacijskih svojstava drastično povećava s povećanjem vlažnosti unutar sloja materijala) (Slika 7.5.). Zbog toga su primjereni za primjenu na svim pozicijama izloženima vodi i vlazi kao i XPS ploče toplinske izolacije. PUR spada u grupu termostabilnih polimera koji ne omekšavaju (za razliku

od EPS-a i XPS-a), nego se pri gorenju na površini stvara sloj drvenog ugljena koji povoljno djeluje na zaštitu ostatka materijala. Počinju se razgrađivati na 150 – 200°C, a gore na temperaturama iznad 300°C. Međutim, pri gorenju razvija izrazito toksične pirolitičke plinove, te se gašenje građevina s toplinskim izolacijama od poliuretana obvezno mora provoditi s maskama s kisikom jer svako udisanje produkta gorenja poliuretana može biti fatalno. Brzina izgaranja ovisi o količini usporivača požara, koji je tijekom proizvodnje dodan u materijal [16].



*Slika 7.5.* Poliuretanska( PUR) kruta pjena

## 8. Ventilirane fasade

Ventilirane fasade su sustavi vanjske ovojnice zgrade u kojima postoji sloj ventiliranog zraka između obloge i toplinske izolacije. Ovakav tip fasade poznat je pod nekoliko naziva, kao što su vjetrena fasada, prozračivana fasada, samoventilirana fasada, ili fasada sa zračnim slojem i oblogom, straga provjetravana fasada. Ventilirane fasade se smatraju najučinkovitijim sustavima za istovremeno rješavanje problema toplinske izolacije zgrade, smanjenje utjecaja toplinskih mostova, kao i problema uzrokovanih kondenzacijom vodene pare, čime se postiže optimalno termo-higrometrijsko ponašanje zgrade. Suprotno od slučaja monolitnih zidova, fasadni sustavi s višestrukim ovojnicama su složeniji, teži za ugradnju i zahtijevaju finije podešavanje za postizanje bolje toplinske izolacije. Posebni slučajevi ovakvih konstrukcija su ventilirane fasade, kod kojih je jedan od slojeva zrak i pri čemu je vanjski sloj odvojen od samog sustava zida. U tom se slučaju višak vode u obliku tekućine može eliminirati gravitacijskim otjecanjem, a vlaga u obliku vodene pare koja dolazi iz zgrade i ona iz vanjskog prostora može se evakuirati strujanjem zraka. Dodatno, sloj ventiliranog zraka omogućuje prekid kapilarnog upijanja vlage u poroznim materijalima, a time smanjuje utjecaj prodora vlage u konstrukciju te izjednačuje pritiske na fasadu, omogućuje sušenje toplinsko izolacijskog materijala što posljedično omogućuje duži životni vijek vanjskih zidova, a time i same zgrade. Ventilirana fasada, osim utjecaja na smanjenje potrošnje energije u zgradama (smatra se da se iza završne obloge može postaviti do 30 cm toplinske izolacije), smanjuje i utjecaj izravnog sunčevog zračenja kao i utjecaj lošeg vremena na same zidove, čime ih štiti od negativnih utjecaja (patologija) koje djeluju na tradicionalne fasadne sustave. Ventilirana fasada je sustav gradnje vanjskog zida kuća, sastavljen od nosive metalne podkonstrukcije na koju se slažu fasadni paneli, sloja mineralne vune za toplinsku izolaciju i prostora za ventilaciju [17].

Svi dijelovi imaju strogi raspored i ulogu unutar sustava :

- nosivi zid zgrade,
- sloj toplinske izolacije,
- podkonstrukcija za panele,
- fasadni paneli,
- profil na spoju panela,
- prostor za ventilaciju.

Ideja ventilirane fasade proistekla je iz takozvanog „efekta dimnjaka“. Efekt dimnjaka je pojava povezana s podizanjem toplog zraka koji je lakši od hladnog. Dimnjak radi tako da je dim

unutar njega puno topliji od vanjskog zraka, pa se brzo uzdiže prema gore. Upotrijebljen na ventiliranoj fasadi, taj efekt izražava činjenicu da je zrak unutar prostora za ventilaciju topliji od vanjskog i da nastoji pobjeći kroz izlaz na vrhu fasade. Ovaj tlak zraka uzrokuje povećanu ventilaciju unutar same fasade

Smatra se da ventilirane fasade više doprinose energetskej učinkovitosti u ljetnom razdoblju i u toplijim klimatskim uvjetima, zbog toga što vanjski sloj preuzima toplinsko opterećenje, a ventilirajući sloj zraka značajno smanjuje temperaturu vanjske površine sloja toplinske izolacije. Pri tome je moguće smanjiti smanjenje potrebne energije za hlađenje od 50 % u vrijeme velikog intenziteta sunčevog zračenja i pri visokim temperaturama vanjskog zraka.

S druge strane, ventilirane fasade se smatraju manje učinkovitim fasadnim sustavima u hladnijim klimatskim uvjetima, kod kojih se zahtijeva i brtvljenje zbog bolje zaštite kiše nošene vjetrom [17].

Zahtjevi za sastavne dijelove ventiliranih fasada.

Kao što je ranije spomenuto, tipična ventilirana fasada sastoji se od nekoliko osnovnih elemenata:

- nosivog zida,
- podkonstrukcije za panele,
- toplinsko-izolacijskog materijala,
- prozračne folije (kišne brane, vodonepropusne-paropropusne barijere),
- sloja ventiliranog zraka,
- vanjskog završnog sloja (različite vrste panela i ploča).

Svaki od navedenih elemenata mora zadovoljiti određene temeljne zahtjeve, a sve kako bi se postigla učinkovita i trajna ventilirana fasada. Pri tome je za nosivi zid najvažnija njegova čvrstoća, te tolerancija vezana uz odstupanje od okomice i horizontale, a čije odstupanje mora biti najmanje moguće. Također, nosivi zid treba dopustiti difuziju vodene pare kroz sebe te imati dovoljan otpor prolasku topline.

Iako postoji veliki broj sustava podkonstrukcije i sidrenja, osnovni zahtjev koji treba biti zadovoljen jednak je kao i za nosivi zid, a to je da bude dovoljno čvrst da može prenositi opterećenje vanjskog završnog sloja, te da može odolijevati djelovanju vjetra, mehaničkih djelovanjima kao i potresu. Također, on mora omogućiti dovoljno prostora za ugradnju vanjskog završnog sloja te biti optimiran, kako bi se smanjili toplinski mostovi. Podkonstrukcija može biti drvena ili metalna.



Prozračne folije (kišne brane, vodonepropusne-paropropusne barijere) sprječavaju prodiranje vode u toplinsko-izolacijski materijal s vanjske strane, a istovremeno dopuštaju prolazak vodene pare, što omogućuje odstranjivanje viška vlage iz unutarnjeg prostora zgrade. Iako pojedini proizvođači nude na tržištu proizvode koji sadrže membranu na krutim pločama, svejedno se preporučuje izvođenje kontinuirane membrane koja pokriva cjelokupni sloj toplinske izolacije kako bi se smanjio toplinski most na spojevima izolacijskih ploča kao i efekt hlađenja zbog strujanja zraka na površini same izolacije. Unutar sloja ventiliranog zraka potrebno je osigurati nesmetanu cirkulaciju topline i vodene pare, te spriječiti kondenziranje vodene pare (izvana ili iz unutrašnjosti zgrade) na površini zida, kao i u sloju toplinske izolacije (Slika 8.1.). Dodatno, sloj ventiliranog zraka omogućuje određeni stupanj toplinske izolacije u zimskom razdoblju, te toplinsko rasterećenje u ljetnom razdoblju godine.

Kako bi se sloj ventiliranog zraka na odgovarajući način dimenzionirao, potrebno je zadovoljiti sljedeće uvjete:

- a) kontakt između nosivog zida i vanjskog završnog sloja treba biti sveden na najmanju moguću mjeru
- b) osigurati zadovoljavajuće odvođenje vjetrom nošene kiše koja ulazi u sloj ventiliranog zraka
- c) osigurati dovoljnu debljinu sloja kako bi se osigurala ventilacija tijekom ljeta
- d) osigurati komunikaciju s vanjskim zrakom kroz otvore postavljene na vrhu i na dnu fasade, ili pak kroz otvorene sljubnice (fuge) ploča ili panela [17].



*Slika 8.1.* Slojevi ventilirane fasade

### Problemi s ventiliranim fasadama

Ukoliko dođe do loše ugradnje podkonstrukcije, vrlo često se posljedice vide na završnoj oblozi koju je tada vrlo teško ugraditi na način da su fuge jednolike i ravne. Ukoliko se ventilirana fasada loše dimenzionira ili ugradi (uključujući mineralnu vunu, kao i podkonstrukciju) moguće je da će pod utjecajem vjetra doći do pada dijelova konstrukcije, što može biti opasno po ljude.. Također, kod ventiliranih fasada, moguće je da uslijed mehaničkih djelovanja dođe do oštećenja panela završne obloge [17].

## Staklene fasade

Jednostruke i dvostruke element fasade u skladu su sa najnovijim trendovima suvremene arhitekture i zahtjevima za racionalnom potrošnjom energije.

Ugradnja zahtjeva gotovo minimalan rad na terenu. Nakon izrade čeličnih sidara na armiranobetonskoj konstrukciji, za ugradnju je potreban samo kran, tj. dizalica. Okomiti i vodoravni brtveni EPDM ulošci nasjedanjem u alu-profile pri ugradnji osiguravaju pored krutosti i nužnu mogućnost vodoravnih i okomitih pomaka (dilatiranja) uslijed različitih linearnih koeficijenata istezanja materijala pri temperaturnim razlikama. Jednostruke i dvostruke element fasade izrađuju se obično od aluminijskih profila s prekinutim toplinskim mostom. Dimenzije elemenata rade se prema arhitektonskom nacrtu u različitim širinama i visinama etaže (Slika 8.2.). U visini armiranobetonske ploče, kako bi se spriječilo širenje požara s kata na kat, izvodi se protupožarni parapet s minimalnom otpornosti na požar u trajanju od 90 minuta, minimalno u visini 1000 mm. Jedno od rješenja za sprječavanje širenja požara je samonosivi „sandwich“ iz pocinčanog lima, mineralne vune i vatrootpornih gips ploča [17].



*Slika 8.2.* Staklena fasada

## 9. Inovativni izolacijski materijali

- Aerogel
- Plinom ispunjene ploče (GFP)
- Fazno promjenjivi materijali (PCM)
- Vakuum izolacijske ploče (VIP)

### 9.1. Aerogel

Aerogel je sintetički porozni, iznimno lagan materijal proizveden iz gela glinice, kroma, kositrovog oksida ili ugljika, u kojem je tekuća komponenta gela zamijenjena plinom. Često nazivan "smrznuti dim", aerogel spada u zapanjujuće materijale današnjice. Ovaj je osušeni gel otkriven 1934. godine, kada su Kistler i Caldwell izvijestili o materijalu koji je imao nevjerojatna svojstva. Novi materijal je, u trenutku otkrića, imao najnižu izmjerenu toplinsku vodljivost u povijesti [18].

Zamjena tekućeg djela plinom obavlja se sušenjem pod kritičnim uvjetima, što omogućava da se tekućina može lagano sušiti bez urušavanja pora gela, kao što bi se dogodilo standardnim sušenjem [18].

Aerogel "state-of-the-art" materijali, trenutno dostupni na tržištu, su na bazi silicija. Struktura aerogela je uglavnom prazna; ima veliku specifičnu površinu (500-1200 m<sup>2</sup>/g), visoku poroznost (80-99,8%) i nisku gustoću (~ 3 kg/m<sup>3</sup>), a kao rezultat toga je niska toplinska provodljivost od oko 0,005 W/(mK). Unutarnja struktura aerogela ograničava sva tri mehanizma toplinskog transporta, što dovodi do toga da materijal ima izuzetna toplinska svojstva [18].

Postoji nekoliko patenata, u vezi korištenja aerogela u raznim izolacijskim oblicima, vakuum ploče su jedno od njih, kao i kompozitni materijal s polimerima ili fibreglasom. Komercijalno dostupni proizvodi na bazi granula aerogela dosežu nisku toplinsku provodnosti od 0.013-0.014 W/(mK). Također su dostupni i na građevinskom tržištu u nekoliko oblika, kao što su pokrivači i granule za rastresite ispune ili se miješaju u žbuku ili drugi sustav za premazivanje. (Slika 9.1.). Monolitni aerogel može biti proziran ili neproziran, čime ostvaruje mogućnost široke primjene. Može se koristiti tamo gdje je poželjno veće osvjetljenje uz dobra izolacijska svojstva. Budući da su uobičajene prozirne površine objekata prozori i ostakljene fasade, koji su

vrlo često glavni krivci povećanog ispuštanja topline, to je prvo mjesto gdje aerogel itekako može poboljšati toplinsku učinkovitost [18].



Slika 9.1. Primjer upotrebe aerogelova u građevinarstvu

Aerogel ostakljenje nije materijal, već sustav kombiniranih materijala koji imaju za svrhu poboljšanje postojećih performansi. Budući da se u ovom slučaju radi o prozoru ili ostakljenoj fasadi, nastoji se, uz toplinsku otpornost, poboljšati i propuštanje svjetlosti. Koristi se tradicionalno okno prozora, gdje se aerogel kao materijal uvodi u prazninu, između staklenih ploča. Jedan od načina snižavanja toplinske provodnosti je eliminacija plina sadržanog u materijalu. U slučaju aerogela, pore su toliko male da je potreban samo grubi vakuum od 1-10% okolnog tlaka, za otklanjanje plinske provodnosti. Rub se zatim zapečati, tako da se aerogel ostakljenje može koristiti kod tradicionalnih okvira [18].

## 9.2. Plinom ispunjene ploče( GAS FILLED PANELS-GFP)

GFP se sastoji od tri glavne komponente: pregrade (ili unutrašnje saće), inkapsulacijske barijere i plinskog punjenja. Pregrada ima više funkcija. Prvo, stvara ćelije (stanice),

dovoljno male da suzbiju konvekciju plina, drugo, niskoemitirajuća površina pregradnog materijala značajno potiskuje radijaciju. Kondukcija duž pregradne mreže je limitirana geometrijskim oblikom mreže. Mreža ima osnovni oblik saća i put provođenja kondukcije od jedne ploče do druge je produljen, što dovodi do smanjene provodnosti.

Provodnost odabranog plina je vrlo važna za ukupni učinak. Plinovi s većom molekulskom masom, obično imaju nižu toplinsku provodnost. Jednoatomski plinovi, kao što su kripton i ksenon, imaju nižu toplinsku vodljivost od poliatomskih plinova jednake ili veće težine. Plinski punjeni ploče još nisu uvedene na građevinsko tržište, iako su izvedena preliminarna testiranja i modeliranja. Predstavljeni su rezultati numeričkog modeliranja stjenke s tradicionalnom izolacijom i njezina zamjena s GFP-om [18].

### **9.3. Fazno promjenivi materijali (PCM)**

Problem se danas počinje rješavati primjenom specijalnih takozvanih PCM materijala (engl. Phase Change Materials) ugrađenih u građevinske elemente ili integriranih s drugim građevinskim materijalima. PCM imaju sposobnost promjene agregatnog stanja i pohrane, te zatim kod povratka u prvobitno agregatno stanje oslobađaju velike količine energije u vidu latentne topline, uz istovremenu minimalnu promjenu vlastite temperature. Svakako da je efektu primjene PCM-a s aspekta efikasnog doprinosa održivom razvoju potrebno dati nedvojbenu prednost u odnosu na manje izražajnu ekonomsku profitabilnost zbog još uvijek relativno visoke tržišne cijene [19].

Fazno promjenljivi materijali, takozvani PCM su tvari ili smjese tvari koje isparavanjem, taljenjem ili kristalizacijom, odnosno kondenzacijom, skrutnjavanjem ili rekristalizacijom primaju, odnosno oslobađaju velike količine energije u vidu latentne topline, uz istovremenu minimalnu promjenu vlastite temperature, a temperatura promjene agregatnog stanja nalazi im se u iskoristivom području za regulaciju unutarnjih projektnih temperatura.

Kod klasičnih građevinskih materijala mogućnost pohrane osjetne (senzibilne) toplinske energije ovisi o masi i specifičnom toplinskom kapacitetu materijala, te o razlici temperature u odnosu na okolinu. Specifični toplinski kapacitet čvrstih tijela, u koja se u uglavnom ubraja građevinski materijal, ispituje se pri konstantnom volumenu (samo uvjetno) i tlaku, izražava se po jedinici mase, a definiran je kao i specifična toplina, potrebnom količinom topline da se jediničnoj masi (1 kg) nekog materijala poveća stupanj temperature za temperaturnu jedinicu (1 K). Pri ispitivanju specifičnog toplinskog kapaciteta postoji ovisnost i o temperaturi ispitivanja,

pa tako, primjerice različite temperature ispitivanja kod vode rezultiraju različitim vrijednostima specifičnog toplinskog kapaciteta:

- 100 °C (para)  $C_p = 2,08 \text{ kJ}/(\text{kg K})$
- 25 °C (tekućina)  $C_p = 4,18 \text{ kJ}/(\text{kg K})$
- -10 °C (led)  $C_p = 2,05 \text{ kJ}/(\text{kg K})$

Kod zgrada s masivnim građevnim dijelovima, zahvaljujući većem toplinskom kapacitetu u odnosu na lagane konstrukcije, prilikom prekida, odnosno smanjenja grijanja dolazi do vraćanja akumulirane temperature iz konstrukcije u grijani prostor, što osigurava stabilnu temperaturu. Navedeni pozitivan učinak izostaje kod laganijih konstrukcija, a budući da su toplinski kapaciteti i kod masivnih građevnih dijelova današnje gradnje relativno mali, te razlike temperature i mase materijala ograničene, također je poželjno da ukupni efekt pohrane topline bude znatno veći.

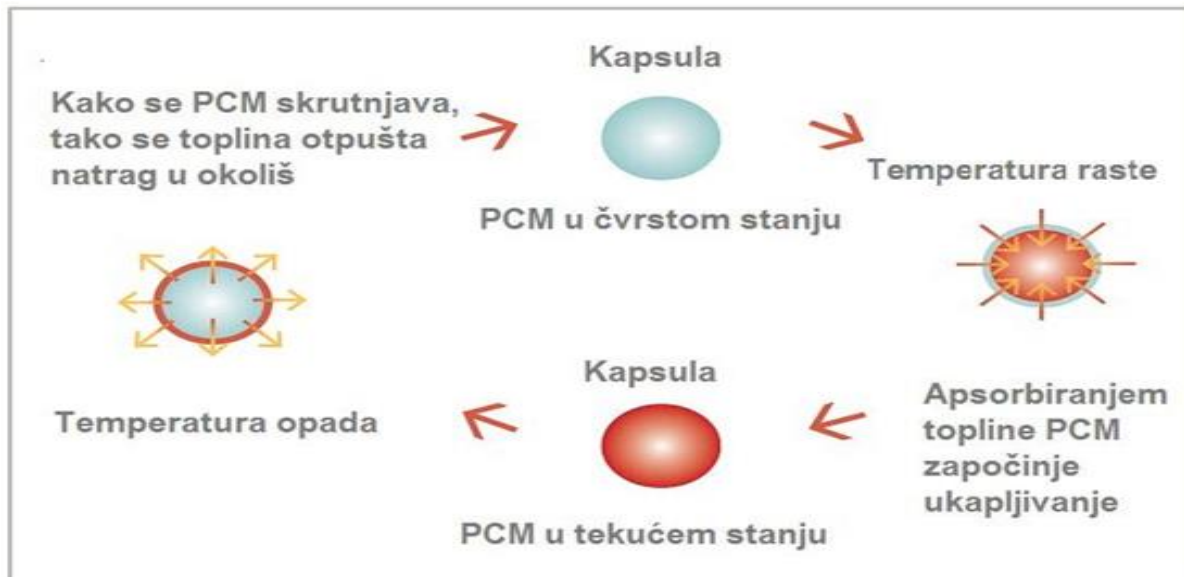
$$QI = q_s \cdot m \text{ (kJ)}$$

Kako je u praksi vrlo teško PCM ugraditi kao samostalan građevinski materijal, za usporedbu se navodi primjer ploče debljine 15 mm u koju je po  $\text{m}^2$  ugrađeno svega 3 kg PCM-a u obliku posebne mješavine voska, te takve dvije ploče u smislu toplinskog kapaciteta nadomješćuju betonski zid debljine 14 cm ili zid debljine 36,5 cm od visoko perforirane blok opeke. Pri hlađenju PCM kristalizacijom pri istoj temperaturi prelaze iz kapljevito u čvrsto agregatno stanje otpuštajući latentnu toplinu u okoliš, a pri temperaturama nižim i višim od tališta, odnosno temperature skrutnjavanja PCM se ponašaju kao svaki drugi konvencionalni građevinski materijal (Slika 9.3.) [19].

#### Vrste i svojstva PCM-a

Poznate kemijske spojeve s mogućnošću pohranjivanja, odnosno oslobađanja znatne količine latentne topline bilo je potrebno integrirati kao dodatak konvencionalnim građevinskim materijalima da bi se proizveli PCM, koji mijenjaju fazu u kraćim vremenskim temperaturnim intervalima unutar realnih promjena temperatura vanjskog zraka. Prikladnost proizvodnje u formi granula ili vodenih disperzija otkrivena je kod organskih i anorganskih spojeva:

- hidrati anorganskih soli, posebno kalcij klorid heksahidrat i hidrat natrijevog sulfata tzv. glauberova sol
- organski PCM od kojih su najpoznatiji parafini i mješavine alkana (zasićeni ugljikovodici)
- alkoholi, prvenstveno polietar poliol, masne kiseline i esteri masnih kiselina
- eutektičke smjese različitih materijala



Slika 9.3. Stanja PCM-a

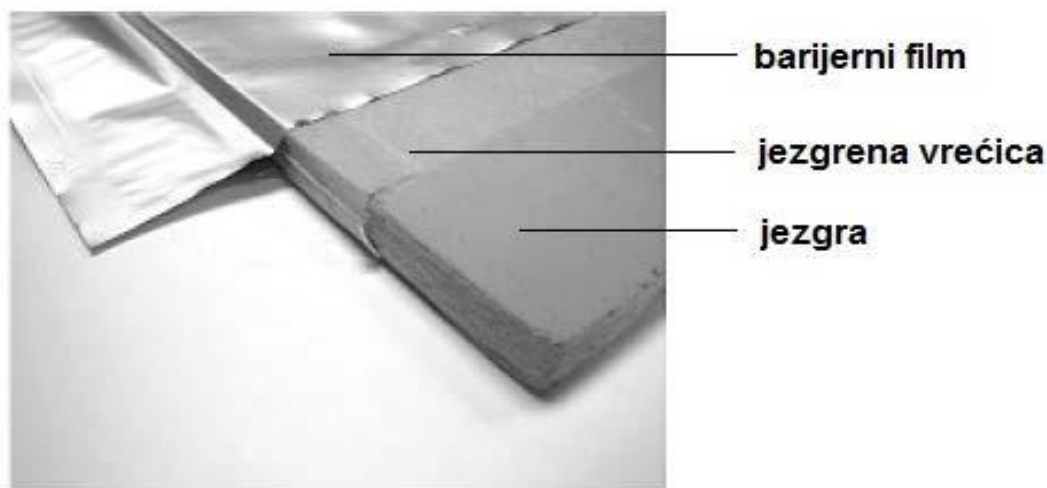
Početak primjene PCM-a u građevinarstvu datira od pedesetih godina prošlog stoljeća, kada su u SAD-u na pročelja zgrada montirani paneli ispunjeni PCM-om. Da bi se spriječilo odavanje topline u okoliš paneli su prekrivani staklom, te su tijekom dana upijali sunčevu toplinu, a noću su latentnom toplinom zagrijavali zid. NASA-ini istraživački centri su prilikom izrade svemirskih odijela značajno doprinijeli razvoju PCM-a, a transferom tehnologije došlo je do primjene PCM-a u proizvodnji odjeće i sportske opreme, i to materijala s temperaturom taljenja u temperaturnom području ugodnom za ljudski organizam od 18 do 27 °C. PCM s nižim talištem koriste se pri transportu dobara osjetljivih na povišenu temperaturu, a za građevinarstvo su značajni i oni s višim talištem. Koriste se kao izmjenjivački fluidi u solarnim kolektorima, u sustavima podnog centralnog grijanja te za zaštitu elektroničke opreme i telekomunikacijskih postrojenja. [19]



## 9.4. Vakuum izolacijske ploče (VIP)

Vakuum izolacijske ploče (VIP) razvijene su za uporabu u hladnjacima, zamrzivačima i hladnim kutijama gdje je prostor za izolaciju ograničen. No zbog iznimnih izolacijskih svojstava, koja su 5 do 8 puta bolja od tradicionalnih izolacijskih materijala, svoju primjenu pronalaze u građevinskom sektoru, gdje su relativno nov proizvod.

Životni vijek hladnjaka je oko 10-20 godina, što je znatno kraće od onoga što se može očekivati od zgrada. Zgrade bi trebale trajati 80-100 godina bez prevelikog održavanja, a VIP dostupan danas obično ima životni vijek od oko 25-40 godina. Omogućuju da se zidovi, stropovi i podovi izvedu kao tanki, visoko izolirani građevni elementi-najveći potencijal ostvaruje kod skučenih prostora, gdje se za male debljine izolacije ostvaruju izvanredni rezultati (40 cm tradicionalne izolacije = 5-10 cm VIP-a) (Slika 9.4) [20].



Slika 9.4., Prikaz dijelova VIP-a

## 9.5. Ostali napredni materijali sutrašnjice

- Vakuum izolacijski materijali
- Plin izolacijski materijali
- Dinamički izolacijski materijali
- Nano izolacijski materijali

Vakuum izolacijski materijali (VIM)

To su homogeni materijali sa zatvorenim malim pornim strukturama, ispunjenim vakuumom, s cjelokupnom toplinskom vodljivošću manjom od  $4 \text{ mW}/(\text{mK})$ , u neopterećenom stanju. VIM se može oblikovati i prilagoditi na gradilištu bez gubitka niske toplinske vodljivosti. Lokalna oštećenja VIM-a rezultiralo bi stvaranjem lokalnog toplinskog mosta, tj. ne bi bilo značajnih gubitaka slabe toplinske vodljivosti [20].

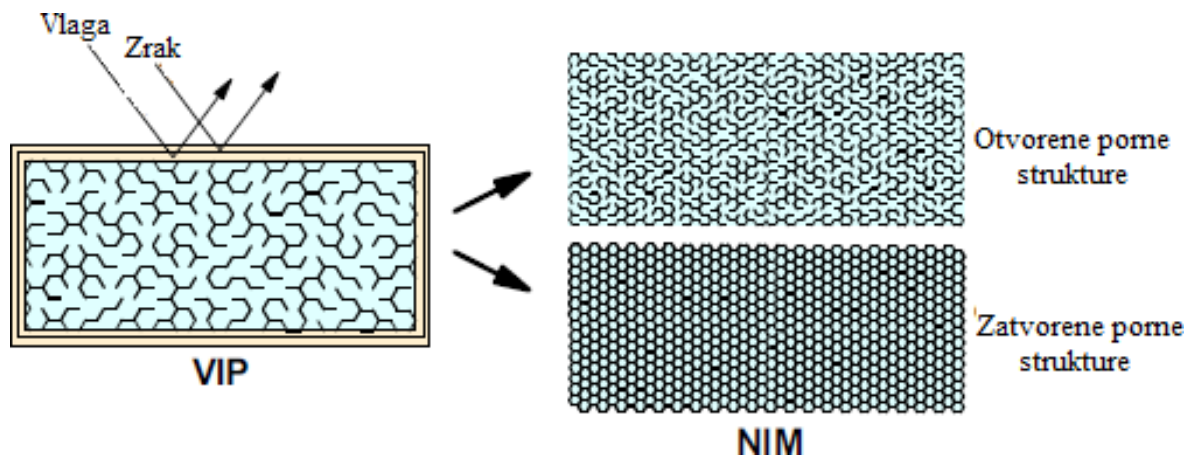
#### Plin izolacijski materijali (GIM)

To su homogeni materijali sa zatvorenim malim pornim strukturama, ispunjenim niskom vodljivim plinom, kao što su argon, kripton i ksenon, s cjelokupnom toplinskom vodljivošću manjom od  $4 \text{ mW}/(\text{mK})$ , u neopterećenom stanju. GIM je zapravo jednak VIM-u, razlika je samo u supstanci koja ispunjava zatvorene porne strukture [20].

#### Dinamički izolacijski materijali (DIM)

To su materijali kod kojih toplinska vodljivost može biti kontrolirana unutar željenog raspona. Kontrola toplinske provodnosti teoretski može biti postignuta pomoću: unutarnjeg pornog plina, uključujući srednji slobodni put molekula plina i interakciju površina molekula plina, emisivnosti površina unutarnjih pora, toplinske vodljivosti rešetke u čvrstom stanju što je zapravo toplinska vodljivost u čvrstom stanju. Moguća su dva modela, fononska toplinska provodnost (vibracije atomske rešetke) i slobodna elektronska toplinska provodnost [20].

## Nano izolacijski materijali



Slika 9.5. Usporedba VIP-a i NIM-a. [20]

## **10. Zaključak**

U radu je napravljen pregled tradicionalnih i inovativnih toplinsko izolacionih materijala, koji su još uvijek tema brojnih istraživanja, a koja će u vrlo skoroj budućnosti naći široku primjenu u poboljšanju energetske učinkovitosti ovojnica zgrada. Analizom tradicionalnih materijala sve više se uviđa da novi, inovativni materijali zamjenjuju tradicionalne. Kao bitna stvar je i hidroizolacija zgrada bez kojih nije moguće moderno graditeljstvo u smislu zaštite od propadanja i zaštite toplinske izolacije. U svemu tome se posebno naglašavaju principi održivog i ekološki prihvatljivog dizajniranja sustava, kojima će se osigurati smanjenje štetnih utjecaja na prirodu, a koji su rezultat dosadašnje primjene i proizvodnje tradicionalnih materijala i tehnologija. U tom smislu, kao krajnji zaključak, sugerira se pokretanje razvojno-istraživačkih projekata kojima bi se razvili integralni koncepti višeslojnih, pametnih ovojnica zgrada.

## 11. Literatura

[1] Časopis građevinar, Bašić S., Vezilić Strmo N., Marjanović, S. [www.casopis-gradjevinar.hr](http://www.casopis-gradjevinar.hr)

Pristup stranici: 20.08.2021

[2] Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije

, [https://www.fkit.unizg.hr/\\_news/31890/Tehnoeko%20-%20Slama.pdf](https://www.fkit.unizg.hr/_news/31890/Tehnoeko%20-%20Slama.pdf) Glasnović Z., Horvat J.,

Omahić D., Slama kao superiorni građevinski materijal,

Tehnoeko br.3, 2008.,

Pristup stranici: 20.09.2021

[3] [www.enu.hr](http://www.enu.hr), [https://www.enu.hr/wp-content/uploads/2016/03/Priru%C4%8Dnik-za-](https://www.enu.hr/wp-content/uploads/2016/03/Priru%C4%8Dnik-za-energetsko-certificiranje-zgrada.pdf)

[energetsko-certificiranje-zgrada.pdf](https://www.enu.hr/wp-content/uploads/2016/03/Priru%C4%8Dnik-za-energetsko-certificiranje-zgrada.pdf), Andrassy, M. ; Balen, I. ; Boras, I. ; Dović, D. ; Hrs

Borković, Ž. ; Lenić, K. ; Lončar, D. ; Pavković, B. ; Soldo, V. ; Sučić, B. ; Švaić, S. Priručnik

za energetsko certificiranje 1. Zagreb: Program Ujedinjenih naroda za razvoj-UNDP, 2010.g.

Pristup stranici: 21.09.2021

[4] <https://www.emajstor.hr/> Pristup stranici: 20.08.2021

[5] <https://www.hidroizo.hr/kapilarna-vlaga/> Pristup stranici: 19.06.2021

[6] Ytong brošura, [https://www.ytong.hr/hr/docs/Toplinski\\_mostovi\\_08\\_2011\(1\).pdf](https://www.ytong.hr/hr/docs/Toplinski_mostovi_08_2011(1).pdf), Pristup

stranici: 20.06.2021

[7] Građevinski fakultet Zagreb, <http://www.grad.unizg.hr/predmet/grafiz>,

Prezentacije s predavanja iz kolegija Građevinska fizika, Građevinski fakultet, Zagreb, Hrvatska, 2016.

Pristup stranici: 23.09.2021

[8], Građevinski institut-Fakultet građevinskih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1983.,

Šimetin V., Građevinska fizika , [www.grad.unizg.hr](http://www.grad.unizg.hr).

Pristup stranici: 17.07.2021

[9] [www.fer.unizg.hr](http://www.fer.unizg.hr) Pristup stranici: 05.05.2021

[10]repository.asu.edu

[https://repository.asu.edu/attachments/56138/content/Muruganantham\\_asu\\_0010N\\_10151.pdf](https://repository.asu.edu/attachments/56138/content/Muruganantham_asu_0010N_10151.pdf) .

Muruganantham, K. Application of Phase Change Material in Buildings: Field Data vs. EnergyPlus Simulation. A Thesis Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Master of Science. Arizona State University, December 2010.

Pristup stranici: 06.07.2021

[11]Wikipedia, [https://hr.wikipedia.org/wiki/Osjetna\\_toplina](https://hr.wikipedia.org/wiki/Osjetna_toplina)

Pristup stranici: 30.08.2021

[12] Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za materijale, “Toplinski mostovi - predavanje iz kolegija Građevinska fizika.” 2018, www.grad.unizg.hr,

Pristup stranici: 01.08.2021

[13] <https://zir.nsk.hr>, Krešimir Stunja et al, Procjena stanja fasade, 2016.

[Dr.sc. Nenad Mladineo: „Podrška izvođenju i odlučivanju u graditeljstvu“, skripta za internu upotrebu, Građevinsko-arhitektonski fakultet u Splitu, 2004.](#)

Pristup stranici: 01.08.2021

[14] Roefix Hrvatska, www.roefix.hr, <https://www.roefix.hr/alati/smjernice-za-izradu-etics-a>

Pristup stranici: 16.08.2021

[15] Časopis Građevinar, <http://casopis-gradjevinar.hr/assets/Uploads/JCE-57-2005-10-10.pdf>

Pristup stranici:15.08.2021

[16] [www.een.hr](http://www.een.hr) , [www.een.hr](http://www.een.hr), Hrvatska gospodarska komora doc. dr. sc. Marija Jelčić Rukavina, dipl. ing. građ. Milan Carević, dipl. ing. arh., viši predavač izv. prof. dr. sc. Zoran Veršić, dipl. ing. arh.

Pristup stranici:15.08.2021

[17] Građevinski fakultet Zagreb, <https://www.grad.unizg.hr/download/repository/Prirucnik-za-trenere-FASADER-web.pdf> Pristup stranici:15.08.2021

[18] [www.diva.org](http://www.diva.org), <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:506266/FULLTEXT01.pdf>  
Thorsell, T. Advances in Thermal Insulation – Vacuum Insulation Panels and Thermal

[Efficiency to Reduce Energy Usage in Building. Doctoral thesis. KTH Architecture and the Built Environment, Stockholm. March 2012](#)

Pristup stranici:01.07.2021

[19] [hrcak.srce.hr, http://www.pdfio.com/k-3051634.html](http://www.pdfio.com/k-3051634.html) (Dostupno:10.03.2013.), Željko Kos  
struč.spec.ing.građ., vanjski suradnik.

Pristup stranici: 10.09.2021

[20]<https://citeseerx.ist.psu.edu>,

<https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.907.8536&rep=rep1&type=pdf>

Jelle, B.P ; Gustavsen, A. ; Grynning, S. ; Wegger, E. ; Sveipe, E. ; Baetens, R.

Nanotechnology and Possibilities for the Thermal Building Insulation Materials of Tomorrow.  
Journal of Building Physics, 2010.

Pristup stranici: 08.08.2021

[21] [www.gradimo.hr](http://www.gradimo.hr), <http://www.gradimo.hr/izolacijski-materijali>,

Pristup stranici:01.08.2021

[22] Građevinski fakultet u Osijeku, [www.gfos.unios.hr](http://www.gfos.unios.hr),

Koški Ž., Energetski učinkovite građevine, Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek.

Pristup stranici: 23.09.2021

[23] [www.encert-eihp.org](http://www.encert-eihp.org), [http://www.encert-eihp.org/wp-content/uploads/2021/09/Algoritam\\_HRN\\_EN\\_13790\\_2017.pdf](http://www.encert-eihp.org/wp-content/uploads/2021/09/Algoritam_HRN_EN_13790_2017.pdf) Soldo V., Novak S., Horvat I.,

Algoritam za proračun potrebne energije za grijanje i

hlađenje prostora zgrade prema HRN EN ISO 13790, 2017

Pristup stranici: 20.06.2021

[24] <http://enerpedia.net>, “FINALNA POTROŠNJA I ENERGETSKA EFIKASNOST -  
Enerpedia.”

[http://powerlab.fsb.hr/enerpedia/index.php?title=FINALNA\\_POTROŠNJA\\_I\\_ENERGETSKA\\_EFIKASNOST#I\\_ZGRADE\\_I\\_OKU.C4.86NICE](http://powerlab.fsb.hr/enerpedia/index.php?title=FINALNA_POTROŠNJA_I_ENERGETSKA_EFIKASNOST#I_ZGRADE_I_OKU.C4.86NICE). Pristup stranici: 10.07.2021

[25] [www.gradimo.hr](http://www.gradimo.hr), <http://www.gradimo.hr/clanak/zgrade-gradene-u-razdoblju-od-1970-do-1987-godine/90231>

Pristup stranici:01.08.2021



## Popis slika

*Slika 2.1.*, Razvoj ovojnice kroz povijest, Časopis Građevinar 8/2019,

*Slika 2.1.2*, Razvoj ovojnice kroz povijest, Časopis Građevinar 8/2019

*Slika 2.2.1*, Propadanje građevine od djelovanja vanjskih utjecaja, Milovanović B, dipl. ing. građ. Zavod za materijale, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Toplinska ovojnica zgrada- problemi i rješenja u praksi

*Slika 2.3.*, Utjecaj vlage na unutrašnji zid, <https://dracopro.com/kapilarna-vlaga/>

*Slika 3.2.*, Prikaz smjera dizanja kapilarne vlage, Andrassy, M. ; Balen, I. ; Boras, I. ; Dović, D. ; Hrs Borković, Ž. ; Lenić, K. ; Lončar, D. ; Pavković, B. ; Soldo, V. ; Sučić, B. ; Švaić, S. Priručnik za energetske certificiranje

*Slika 3.5* Zaštita konstrukcije objekta koja je djelomično podrumljena, <https://dracopro.com/hidroizolacija-temelja/>

*Slika 4.2.* Prijelaz topline iz toplijeg područja u hladnije, Andrassy, M. ; Balen, I. ; Boras, I. ; Dović, D. ; Hrs Borković, Ž. ; Lenić, K. ; Lončar, D. ; Pavković, B. ; Soldo, V. ; Sučić, B. ; Švaić, S. Priručnik za energetske certificiranje 1. Zagreb: Program Ujedinjenih naroda za razvoj-UNDP, 2010.g.

*Slika 4.5.* Godišnja potrošnja energije različitih zgrada, Republika Hrvatska Ministarstvo graditeljstva i prostornoga uređenja, "Plan za povećanje broja zgrada gotovo nulte energije do 2020. godine," p. 135, 2014.

*Slika 5.1.* Dvodimenzionalni toplinski most, [https://www.ytong.hr/hr/docs/Toplinski\\_mostovi\\_08\\_2011\(1\).pdf](https://www.ytong.hr/hr/docs/Toplinski_mostovi_08_2011(1).pdf)

*Slika 5.2.* Pojava gljivica i plijesni, [https://www.ytong.hr/hr/docs/Toplinski\\_mostovi\\_08\\_2011\(1\).pdf](https://www.ytong.hr/hr/docs/Toplinski_mostovi_08_2011(1).pdf)

*Slika 6.1.* Primjer ETICS sustava, <https://image1.slideserve.com/2033426/struktura-neventilirane-fasade-etics-sustava-presjek-1.jpg>

*Slika 6.2.* Preklapanje TI na uglu, W-shema postavljanja pričvrsnica, Izvor: Smjernice za izradu ETICS sustava, Hrvatska udruga potrošača toplinsko fasadnih sustava (HUPFAS), izdanje IV, 2016. str., 11-34

*Slika 7.1. Staklena i kamena vuna*, Hrvatska gospodarska komora, doc. dr. sc. Marija Jelčić Rukavina, dipl. ing. građ. Milan Carević, dipl. ing. arh., viši predavač izv. prof. dr. sc. Zoran Veršić, dipl. ing. arh.

*Slika 7.2. Ekspandirani polistiren (EPS)*, Hrvatska gospodarska komora, doc. dr. sc. Marija Jelčić Rukavina, dipl. ing. građ. Milan Carević, dipl. ing. arh., viši predavač izv. prof. dr. sc. Zoran Veršić, dipl. ing. arh.

*Slika 7.3. Ekstrudirani polistiren (XPS)*, Hrvatska gospodarska komora, doc. dr. sc. Marija Jelčić Rukavina, dipl. ing. građ. Milan Carević, dipl. ing. arh., viši predavač izv. prof. dr. sc. Zoran Veršić, dipl. ing. arh.

*Slika 7.4. Poliizocijanskrutna (PIR) kruta pjena*, Hrvatska gospodarska komora, doc. dr. sc. Marija Jelčić Rukavina, dipl. ing. građ. Milan Carević, dipl. ing. arh., viši predavač izv. prof. dr. sc. Zoran Veršić, dipl. ing. arh.

*Slika 7.5. Poliuretanska (PUR) kruta pjena*, Hrvatska gospodarska komora, doc. dr. sc. Marija Jelčić Rukavina, dipl. ing. građ. Milan Carević, dipl. ing. arh., viši predavač izv. prof. dr. sc. Zoran Veršić, dipl. ing. arh.

*Slika 8.1. Slojevi ventilirane fasade* <https://www.sbs.com.hr/proizvod/pregled/naziv/ventilirana-bond-fasada/>

*Slika 8.2. Staklena fasada*, <https://www.prozorivrata.com/staklene-fasade/>

*Slika 9.1. Primjer upotrebe aerogelova u građevinarstvu*, [https://eko.zagreb.hr/UserDocsImages/arhiva/Slike/Zagreba%C4%8Dki%20energetski%20tjedan%202017/prezentacije/studenti/Hi-tech%20materijali%20za%20gradnju%20energetski%20u%C4%8Dinkovitih%20zgrada\\_Mirna%20Bugarin.pdf](https://eko.zagreb.hr/UserDocsImages/arhiva/Slike/Zagreba%C4%8Dki%20energetski%20tjedan%202017/prezentacije/studenti/Hi-tech%20materijali%20za%20gradnju%20energetski%20u%C4%8Dinkovitih%20zgrada_Mirna%20Bugarin.pdf)

[https://eko.zagreb.hr/UserDocsImages/arhiva/Slike/Zagreba%C4%8Dki%20energetski%20tjedan%202017/prezentacije/studenti/Hi-tech%20materijali%20za%20gradnju%20energetski%20u%C4%8Dinkovitih%20zgrada\\_Mirna%20Bugarin.pdf](https://eko.zagreb.hr/UserDocsImages/arhiva/Slike/Zagreba%C4%8Dki%20energetski%20tjedan%202017/prezentacije/studenti/Hi-tech%20materijali%20za%20gradnju%20energetski%20u%C4%8Dinkovitih%20zgrada_Mirna%20Bugarin.pdf)

*Slika 9.4.*, Prikaz dijelova VIP-a, Jelle,B.P ; Gustavsen, A. ; Grynning, S. ; Wegger, E. ; Sveipe, E. ; Baetens, R. Nanotechnology and Possibilities for the Thermal Building Insulation Materials of Tomorrow. Journal of Building Physics, 2010

*Slika 9.5.* Usporedba VIP-a i NIM-a, Jelle,B.P ; Gustavsen, A. ; Grynning, S. ; Wegger, E. ; Sveipe, E. ; Baetens, R. Nanotechnology and Possibilities for the Thermal Building Insulation Materials of Tomorrow. Journal of Building Physics, 2010

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 student su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, GORAN OREŠKI (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom TRADICIONALNI I INOVATIVNI (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova. TOPLINSKO IZOLACIJSKI MATERIJALI

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Oreški  
(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, GORAN OREŠKI (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom TRADICIONALNI I INOVATIVNI (upisati naslov) čiji sam autor/ica. TOPLINSKO IZOLACIJSKI MATERIJALI

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Oreški  
(vlastoručni potpis)

