

# Analiza otpornosti toplinsko izolacijskih materijala u požaru

---

**Bračko, Marta**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2019**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:910359>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-16**



*Repository / Repozitorij:*

[University North Digital Repository](#)





**Sveučilište  
Sjever**

**Završni rad br. 366/GR/2019**

**ANALIZA OTPORNOSTI TOPLINSKO  
IZOLACIJSKIH MATERIJALA U POŽARU**

**Marta Bračko, 1578/336**

Varaždin, kolovoz 2019. godine





**Sveučilište  
Sjever**

**Odjel za Graditeljstvo**

**Završni rad br. 366/GR/2019**

**ANALIZA OTPORNOSTI TOPLINSKO  
IZOLACIJSKIH MATERIJALA U POŽARU**

**Student**

Marta Bračko, 1578/336

**Mentor**

Antonija Bogadi, dipl. ing. arh.

Varaždin, kolovoz 2019. godine

# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za graditeljstvo

STUDIJ preddiplomski stručni studij Graditeljstvo

PRISTUPNIK Marta Bračko

MATIČNI BROJ 1578/336

DATUM 22.02.2019.

KOLEGIJ Završni radovi i instalacije u graditeljstvu

NASLOV RADA Analiza otpornosti toplinsko izolacijskih materijala u požaru

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Fire resistance analysis of thermal insulation materials

MENTOR Antonija Bogadi

ZVANJE predavač

ČLANOVI POVJERENSTVA

1. prof.dr.sc. Božo Soldo
2. Antonija Bogadi, predavač
3. mr.sc. Vladimir Jakopec, predavač
4. dr.sc. Aleksej Aniskin, viši predavač
- 5.

## Zadatak završnog rada

BROJ 366/GR/2019

OPIS

Pristupnica u radu treba obraditi sljedeće teme:

1. Analiza hrvatskih (europskih) normi za ispitivanje i klasifikacije reakcije na požar.
2. Pregled dostupnih i najčešće korištenih termoizolacijskih (TI) obloga u Republici Hrvatskoj.
3. Izlaganje testnih metoda za ispitivanje termoizolacijskih obloga.
4. Usporedna analiza požarnih svojstava toplinskoizolacijskih elemenata od kamene vune, stiropora, ovčje vune: zapaljivost, širenje plamena, proboj vatre, povećanje topline, pojava dima, toksičnosti, oštećenje konstrukcije.
5. Kritička analiza studija slučaja reakcija na požar: gorenje TI od kamene vune i gorenje TI od stiropora.

ZADATAK URUČEN

28.08.2019.



POTPIS MENTORA

*[Handwritten signature]*

## **Predgovor**

Tema ovog završnog rada je „Analiza otpornosti toplinsko izolacijskih materijala u požaru“. Na odabir ove teme najviše utjecaja imalo je razmišljanje o tome da bi ovakva usporedna analiza obogatila znanje koje bi kasnije mogla primijeniti u praksi kao inženjer građevine. Prikupljajući i proučavajući podatke iz različitih izvora, i usporedbom protupožarnih svojstava različitih TI materijala kao što su stiropor, kamena vuna i ovčja vuna, došla sam do saznanja da stiropor, iako najčešće korišten TI materijal zbog niske cijene, ima lošija protupožarna svojstva te je dugoročno neisplativ u odnosu na kamenu i ovčju vunu.

## **Zahvala**

Zahvaljujem se mentorici Antoniji Bogadi, dipl. ing. arh., na pomoći tijekom izrade završnog rada. Najviše se zahvaljujem svojoj obitelji koja mi je pružala podršku tijekom mog cjelokupnog studiranja.

# Završni rad: ANALIZA OTPORNOSTI TOPLINSKO IZOLACIJSKIH MATERIJALA U POŽARU

**Student:** Marta Bračko

## Sažetak

Ovim radom je obuhvaćen utjecaj toplinske izolacije zgrade i protupožarne zaštite za kvalitetniji i sigurniji život u zgradama.

U jednom dijelu rada je dan pregled umjetnih i prirodnih materijala, i novijih, modernijih materijala koji su zainteresirali europsko tržište svojim dobrim specifikacijama u štednji energije.

U središnjem dijelu je napravljena usporedba protupožarnih svojstava umjetnih TI materijala kao što je stiropor i kamena vuna, i prirodnih materijala poput ovčje vune. Usporedbom protupožarnih svojstava zaključuje se da stiropor kao TI materijal ima najlošija svojstva. To potvrđuje i provedeno ispitivanje gorenja stiropora i kamene vune u završnom dijelu rada, gdje se jasno vidi da stiropor djeluje porazno u odnosu na kamenu vunu, zbog bržeg izgaranja i neotpornosti na požar.

Zaključno na temelju usporedne analize reakcije gorivog i negorivog materijala na požar proizlazi da upotrebom gorivog materijala za toplinsku izolaciju smanjujemo sigurnost stanovanja i zdravlja ljudi uslijed požara zbog slabih protupožarnih svojstava, dok upotreba negorivog materijala ima pozitivan utjecaj na okoliš i ljude i samim time na građevinu na koju je ugrađena.

Ključne riječi: toplinska izolacija, protupožarna zaštita, stiropor, kamena vuna, ovčja vuna

# Final work: **FIRE RESISTANCE ANALYSIS OF THERMAL INSULATION MATERIALS**

**Student:** Marta Bračko

## **Abstract**

This paper covers the impact of thermal insulation of buildings and protection for a better and safer life in buildings.

In one part of the paper is a review of artificial and natural materials, and newer, more modern materials that are of interest to the European market, with its good specifications in energy saving.

In the central part, a comparison of fire protection properties of artificial TI materials, such as Styrofoam and stone wool, and natural materials such, as sheep wool is made. By comparing the fire performance, it is concluded that Styrofoam as TI material has the worst properties. This is confirmed by testing of burning Styrofoam and stone wool in the final part of the work, where it is clearly seen that the Styrofoam is defeated in relation to the stone wool, due to faster combustion and non-compliance with the fire.

Based on the comparative analysis of the reaction of fuel and non-combustible material to fire, it is concluded that using of combustible material for thermal insulation reduces the safety of housing and human health due to low fire performance, while the use of non-hazardous matter has a positive impact on the environment, people, and the building in which it is embedded.

Key words: thermal insulation, fire protection, Styrofoam, stone wool, sheep wool



## Popis korištenih kratica

<b>%</b>	Postotak
<b>EU</b>	Europska Unija
<b>m<sup>2</sup></b>	Oznaka za površinu, metar kvadratni
<b>K</b>	Kelvin
$\lambda$	Koeficijent toplinske vodljivosti
<b>W/mK</b>	Jedinica toplinske vodljivosti, vat po kelvinu i metru
<b>m</b>	Oznaka za duljinu, metar
<b>LFS</b>	Bočno širenje plamena
<b>kg/m<sup>3</sup></b>	Obujamska masa, kilogram po metru kubnom
<b>ZPS</b>	Zgrade podskupine
<b>°C</b>	Stupanj Celzijev
<b>EPS</b>	Ekspandirani polistiren
<b>XPS</b>	Ekstrudirani polistiren
$\mu$	Faktor vodene pare
<b>ETICS</b>	External Thermal Insulation Composite System
<b>NASA</b>	National Aeronautics and Space Administration
<b>VIP</b>	Vakuumska izolacijska ploča
<b>GFP</b>	Plinom ispunjena ploča
<b>PCM</b>	Fazno primjenjivi materijali
<b>SBI</b>	Single Burning Item
<b>kW</b>	Kilovat
<b>cm</b>	Oznaka za duljinu, centimetar
<b>TI</b>	Toplinska izolacija

## Sadržaj:

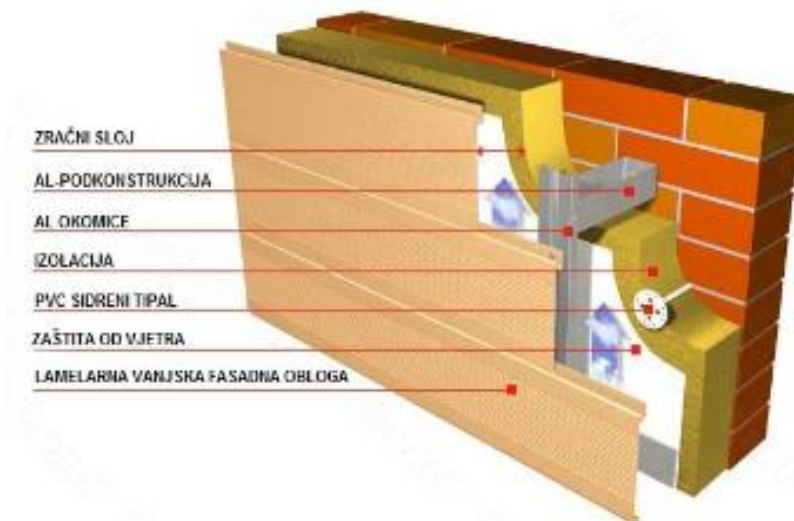
1.	UVOD .....	1
2.	SVRHA TOPLINSKE IZOLACIJE .....	3
3.	KLASIFIKACIJA PROTUPOŽARNOSTI PREMA NORMAMA .....	5
4.	VRSTE TOPLINSKO IZOLACIJSKIH MATERIJALA .....	8
4.1	Klasični toplinsko izolacijski materijali .....	8
4.1.1	Mineralna vuna .....	8
4.1.2	Polistiren .....	11
4.1.3	Poliuretanska pjena .....	13
4.1.4	Celuloza .....	15
4.1.5	Drvena vlakna .....	17
4.1.6	Pluto .....	19
4.1.7	Ovčja vuna .....	20
4.1.8	Konoplja .....	22
4.1.9	Slama .....	23
4.2	Nano izolacijski materijali .....	24
4.2.1	Aerogel .....	26
4.2.2	Vakuumske izolacijske ploče (VIP) .....	29
4.2.3	Plinom ispunjene ploče (GAS FILLED PANELS, GFP) .....	31
4.2.4	Fazno promjenjivi materijali (PCM) .....	32
5.	ISPITIVANJE REAKCIJE TI MATERIJALA NA POŽAR .....	34
5.1	SBI metoda .....	34
5.2	SFI metoda .....	35
5.3	EN ISO 1716, metoda određivanja ukupne topline gorenja .....	36
5.4	EN ISO 1182, metoda negorivosti .....	37
6.	PROTUPOŽARNA SVOJSTVA TI MATERIJALA .....	39
6.1	Kamena vuna .....	39
6.2	Stiropor (EPS) .....	40
6.3	Ovčja vuna .....	41
7.	USPOREDBA GORENJA TI OD STIROPORA I TI OD KAMENE VUNE ..	42
8.	ZAKLJUČAK .....	47
	LITERATURA .....	48

## 1. UVOD

U prošlosti, ljudi su, po tadašnjim mogućnostima koje je nudila priroda oko njih, gradili nastambe za stanovanje i kao skloništa. Kako je vrijeme prolazilo, ljudi su razvijali svoje sposobnosti te tako usavršavali svoju gradnju građevina. S novim generacijama stizale su i nove ideje. Danas građevine imaju široku namjenu pa ih je potrebno zaštititi od vanjskih utjecaja te tako učiniti boravak u njima što ugodnijim.

Razvojem građevinske tehnike razvijaju se i rješenja za uštedu energije. Zgrade predstavljaju velike potrošače energije, troše oko 40% ukupne proizvedene energije u EU. Da bi se zadovoljili današnji propisi i da bi se gradilo u skladu s održivošću, vanjske konstrukcije je potrebno zaštititi, te tako omogućiti udoban životni okoliš s minimalnim troškovima za grijanje i hlađenje.

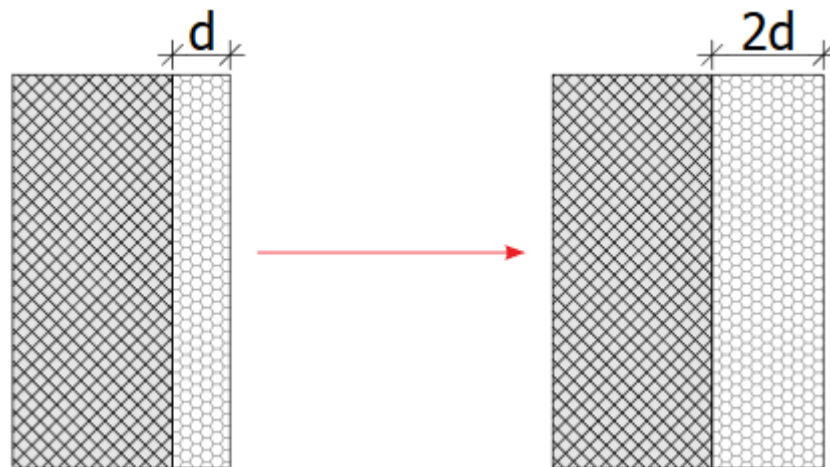
Ovojnica zgrade ima veliku ulogu u uštedi energije, jer ona predstavlja sučelje između vanjskog i unutrašnjeg prostora. Neželjeni transferi topline se kroz ovojnice nastoje svesti na minimum što dovodi do razvoja novih tehničkih sustava ovojnica zgrada koje zbog njihovog inovativnog i sofisticiranog karaktera ponekad zovu i pametnim ovojnicama zgrada. Ona postaje koža zgrade koja prima Sunčevu toplinu, ventilira se, sprječava gubitak topline iz unutrašnjosti, a sve češće postaje i proizvođač energije.



*Slika 1.1 Slojevi ventilirane fasade*

Zaštitu građevine postižemo postavljanjem toplinske izolacije kod koje je bitno uzeti u obzir svojstva materijala te njegovo ponašanje pri djelovanju vanjskih i unutarnjih utjecaja. Jedan od važnih utjecaja je požar. Potrebno je obratiti pozornost protupožarnoj zaštiti koja obuhvaća mjere i postupke sprječavanja nastanka i širenja požara na susjedne građevine, utvrđivanja i uklanjanja uzroka požara, otkrivanja i gašenja požara, te pružanja pomoći pri uklanjanju posljedica uzrokovanih požarom. U građevini, prilikom projektiranja i izgradnje građevina, sukladno važećim propisima provode se pasivne mjere zaštite od požara.

Povećanjem energetske učinkovitosti zgrada uvelike se utječe na požarna svojstva zgrada. Za ostvarenje ciljeva uštede potrošene energije, zahtjevi koji propisuju toplinska svojstva građevnih elemenata ovojnice zgrade postaju sve stroži. Povećanjem debljine zaštitnog sloja, povećava se i požarno opterećenje koje se razlikuje prema vrsti materijala, pogotovo ukoliko se ugradi goriva toplinska izolacija. U tom se slučaju produljuje vrijeme trajanja požara, vrijeme gašenja, te se povećava opasnost od njegova širenja po pročelju i njegov prijenos u unutrašnje dijelove zgrade i susjedne zgrade.



*Slika 1.2 Povećanje debljine toplinske izolacije zbog energetske učinkovitosti zgrade*

Potrebno je razlikovati reakciju na požar od otpornosti na požar. Reakcija na požar označava ponašanje materijala u doprinosu požara kojem je izložen, njegovom vlastitom razgradnjom kod definiranih uvjeta, dok otpornost na požar predstavlja sposobnost građevnog dijela zgrade da kod normiranog ispitivanja, kroz određeno vrijeme, sačuva zahtjevnost i/ili cjelovitost i/ili toplinsku izolaciju.

## 2. SVRHA TOPLINSKE IZOLACIJE

Suvremena gradnja sve više teži održivom razvoju i održivoj gradnji, zbog toga je potrebno sve konstrukcije koje su izložene vanjskim utjecajima zaštititi toplinskom izolacijom kako bi se zadržala temperatura te se smanjili gubitci toplinske energije. Toplinska izolacija smanjuje toplinske gubitke zimi, pregrijavanje prostora ljeti, te štiti konstrukciju od vanjskih djelovanja jakih temperatura. Toplinskom izolacijom štedi se energija i smanjeni su troškovi za grijanje. Lokacija zgrade također može smanjiti toplinske gubitke. Najpogodniji položaj zgrade je na prisojnoj strani, u području zaštićenom od vjetra. Izloženost vjetru uvelike utječe na gubitak energije, toplinski gubitci zgrade na vjetrovitom području mogu biti dvostruko veći nego u zgradi koja se nalazi u zaštićenom položaju. Toplinski gubitci zbog prolaska topline (transmisijski toplinski gubitci) se povećavaju povećanjem vanjske površine zgrade.

Zahtjevi energijske učinkovitosti sve više postaju stroži, od pojave prve energijske krize 1973., kada je prvi put ograničena toplinska prolaznost obodnih elemenata zgrade. Snižavanjem toplinske prolaznosti, povećavala se toplinska zaštita zgrade. Odgovarajućom zaštitom zgrade osigurava se i trajnost same zgrade jer se time sprječavaju prevelika temperaturna opterećenja u obodnim konstrukcijama.

Bez obzira na to koliko su dobro izolirane, zgradama će biti potreban kontinuirani unos topline zbog održanja željene temperature. Potreban unos bit će puno manji u izoliranoj zgradi nego u neizoliranoj. Toplinska izolacija ne stvara toplinu. Česte zablude su da toplinska izolacija automatski zagrijava zgradu u kojoj je ugrađena. Ako se u tu zgradu ne dovodi topline, ona će ostati hladna.

Najveći gubitak topline zgrade dolazi od kretanja zraka. Gubitak topline proporcionalan je brzini kretanja zraka, količini vode i temperaturnoj razlici između izvora topline i zraka. Što je brži protok zraka preko izvora topline, brži je prijenos topline. Prisutnost kapljica vode djelovat će kao ubrzivač za taj proces, iako će se kontrola zasićenja vodenom parom obično trebati provoditi kako bi se izbjegli problemi uzrokovani kondenzacijom.

Gubljenje topline se ne može zaustaviti, već se može smanjiti upotrebom toplinske izolacije. Kvalitetu toplinske izolacije ovoja zgrade opisuje toplinska prolaznost konstrukcijskog sklopa, koja pokazuje koliko topline prođe u jedinici vremena od 1 sekunde kroz površinu  $1 \text{ m}^2$  konstrukcije, ako je razlika temperatura zraka na obje stijene konstrukcije  $1 \text{ K}$ .

Prolaz topline kroz konstrukciju ovisi o ugrađenim materijalima, njihovoj toplinskoj provodljivosti i debljini njihovih slojeva. Niski prolaz topline obodnih konstrukcija postiže se ugradnjom toplinsko izolacijskih materijala. Što je manja toplinska provodljivost slojeva, time su manje toplinske karakteristike. Toplinska provodljivost slojeva  $\lambda$  (W/mK) pokazuje koliko topline prođe u jedinici vremena kroz 1 m<sup>2</sup> sloj debljine od 1 m pri temperaturnoj razlici 1K.

Posebice je važan položaj toplinske izolacije jer zbog neodgovarajućeg sustava slojeva može doći do vlaženja materijala i do trajnih oštećenja. Dobro poznavanje svojstava toplinsko izolacijskih materijala jedan je od uvjeta za projektiranje energetski efikasnih zgrada.

### 3. KLASIFIKACIJA PROTUPOŽARNOSTI PREMA NORMAMA

Reakcija na požar je doprinos građevnog materijala razvoju požara uslijed vlastite razgradnje do koje dolazi izlaganjem tog materijala određenim ispitnim uvjetima. S obzirom na reakciju na požar, materijali se svrstavaju u određene klase sukladno hrvatskoj normi HRN EN 13501-1.

Osnovni parametri koji se mjere u klasifikaciji materijala su:

- Gorivost
- Prijenos topline
- Bočno širenje plamena (LFS)
- Stvaranje gorivih kapi
- Stvaranje dima

Razred	Ponašanje u požaru
A1	Izolacijski proizvodi od prirodnog kamena, opeke, keramike, stakla
A2	Proizvodi iz grupe A1, ali koji sadržavaju malu količinu organskog materijala
B	Gipsane ploče s različitim oblogama, požarni usporivači na bazi drva
C	Fenolna pjena, gipsane ploče s različitim oblogama tanjim od onih u grupi B
D	Drveni proizvodi debljine veće od 10 mm i gustoće veće od 400 kg/m <sup>3</sup>
E	Vlknaste ploče, proizvodi od plastike
F	Proizvodi koji nisu ispitani na požar

*Tablica 3.1 Razredi građevinskih materijala s obzirom na reakciju na požar u skladu s HRN EN 13501-1*

	DODATNI ZAHTJEV		HRN EN 13501-1	HR DIN 4102-1
	Nema razvoja dima	Ne gori plamenom		
Negoriv materijal	x	x	A1	A1

Negoriv s gorivim materijalom	x	x	A2-s1 d0	A2
Teško goriv	x	x	B,C-s1 d0	B1
		x	A2, B, C-s2 d0	
		x	A2, B, C-s3 d0	
	x		A2, B, C-s1 d1	
	x		A2, B, C-s1 d2	
			A2, B, C-s3 d2	
Normalno goriv	x	x	D-s1 d0	B2
		x	D-d2 d0	
		x	D-s3 d0	
	x		D-s1 d2	
			D-s2 d2	
			D-s3 d2	
			E	
			E-d2	
Lako zapaljiv			F	B3

*Tablica 3.2 Usporedni prikaz razreda reakcije na požar (HRN EN) s klasama gorivosti (HRN DIN)*

s – dim ( s1 = malo ili bez dima; s2 = srednji dim; s3 = gusti dim)

d – kapljičnost (d0 = nema kapljica unutar 600 sekundi; d1 = kapa unutar 600 sekundi, ali ne gori duže od 10 sekundi; d2 = ne kao d0 ili d1, jako kapa i gori)

Prema „Pravilniku o otpornosti na požar“, na građevinskim elementima kojima se sprječava prijenos požara u horizontalnom smjeru kao i kod građevinskih elemenata između otvora kojima se sprječava prijenos požara po vertikali između različitih požarnih odjeljaka, mora se kod izvedbe kontaktnih sustava pročelja s gorivom toplinskom izolacijom izvesti pojas od negorive toplinske izolacije (reakcije na požar A1 ili A2.s1 d0) u širini te prekidne udaljenosti.



Kod izvedbe ovješanih ventiliranih elemenata pročelja potrebno je kod gorivih i negorivih toplinskih izolacija spriječiti prijenos požara kroz ventilirajući sloj u širini prekidne udaljenosti uz pomoć barijere.

Pravilnikom nije riješena primjena izolacijskih materijala u tzv. zonama prskanja ili mokrim zonama kao ni u slučaju postavljanja izolacije između negorivih slojeva ( primjer su AB ploča i slojevi zemlje).

U Hrvatskoj regulativi su propisane prekidne udaljenosti kod fasada s gorivom toplinsko izolacijskim slojem, koje smanjuju brzinu širenja požara po fasadi, no još se ne primjenjuju u praksi.

Razredi reakcije na požar građevnih materijala industrijskih građevina određuju se prema podskupini u koju se razvrstavaju prema zahtjevnosti zaštite od požara.

Građevni dijelovi	Zgrade podskupine (ZPS)					
	ZPS1	ZPS2	ZPS3	ZPS4	ZPS5	Visoke zgrade
<b>Toplinski kontakti sustav pročelja</b>						
Klasificirani sustav	E	D	D-d1	C-d1	B-d1	A2-d1
<b>Sastav slojeva sa sljedećim klasificiranim komponentama</b>						
Potkrovni sloj	E	D	D	C	B-d1	A2-d1
Izolacijski sloj	E	D	C	B	A2	A2

*Tablica 3.3 Razredi reakcije na požar pročelja (klase gorivosti fasade)*

Iz tablice vidimo podjelu zgrada u podskupine prema zahtjevnosti zaštite od požara. ZPS 1,2,3 su zgrade podskupine 1,2,3 koje označavaju zgrade koje sadrže do tri nadzemne etaže, podskupina 4 označava zgrade do 4 nadzemne etaže, dok podskupina 5 su zgrade s kotom poda najviše etaže za boravak ljudi do 22 m. za zgrade podskupine ZPS 5 i za visoke zgrade, potrebna je ugradnja negorive toplinske izolacije, odnosno izolacije od kamene vune.

Prema „Pravilniku o otpornosti na požar“, obavezno je korištenje negorive izolacije za fasadu i krov kod svih javnih zgrada kao što su vrtići, škole, bolnice, starački domovi, te za zgrade više od 11 m.

## 4. VRSTE TOPLINSKO IZOLACIJSKIH MATERIJALA

### 4.1 Klasični toplinsko izolacijski materijali

Zadaća toplinsko izolacijskih materijala je smanjenje gubitka topline iz unutrašnjosti zgrade. Izbor najpogodnijeg toplinsko izolacijskog materijala temelji se na njegovoj toplinskoj provodljivosti, otporu difuzije vodene pare, masi, trajnosti, u obzir se mora uzeti i cijena. Što je koeficijent manji, to je toplinska izolacija učinkovitija. Toplinsko fizikalna svojstva materijala koja se koriste u ovojnici zgrade snažno utječu na potrošnju energije grijanja ili hlađenja. Toplinska vodljivost utječe na toplinski tok u stabilnom stanju. Za prolazno stanje, specifična topline utječe na toplinski tok apsorbiranjem i skladištenjem topline u obliku osjetljive topline.

#### 4.1.1 Mineralna vuna

Mineralna vuna je porozni materijal koji zadržava zrak, što ga čini jednim od najboljih izolacijskih materijala. Koristi se za toplinsku, zvučnu (porozna struktura apsorbira zvuk) i protupožarnu izolaciju u graditeljstvu, industriji i brodogradnji.

Izolacija od mineralne vune kemijski je neutralna, ne mrvlji se, ne stari i otporna je na visoke temperature. Pod mineralnom vunom se podrazumijevaju staklena i kamena vuna, koje se razlikuju po materijalu od kojeg su napravljene i po načinu proizvodnje. Staklena vuna nastaje iz kvarcnog pijeska i recikliranog stakla koji se tale u elektropečima pri temperaturi od 1350 °C, dobivena smjesa se ulijeva u rotore. Zatim se iz smjese oblikuju vlakna koja se učvrste vezivom. Potom se iz vlakana oblikuje sloj staklene vune koji se razreže i zapakira u role. Kamena vuna se proizvodi od bazalta i dijabaza s dodatkom koksa, koji se rastale u pečima pri temperaturi od 1600 °C. Staljena smjesa se još obradi te joj se doda vezivo za čvrstoću. Iz nastalih vlakana oblikuje se sloj kamene vune, koji se zatim oblikuje u izolacijske ploče.

Kamena vuna ima veću čvrstoću, te time nižu toplinsku provodljivost pa su i energetski gubitci manji, dok je kod staklene vune provodljivost topline bolja što je veća njezina gustoća. Staklena i kamena vuna nisu otporne na vlagu pa im se pri proizvodnji dodaje dodatak koji štiti od vlage. Zbog toga ih nije pametno ugrađivati na područja koja su izložena vlazi.

Iako većina mineralnih vuna nema aditiva koji ju čine otpornom na vatru, ona nije zapaljiva. Za mjesta visoke požarne izloženosti pogodnija je kamena vuna jer ima višu točku taljenja. Mineralna vuna je dobre toplinske provodljivosti koja se kreće između 0,03 i 0,045 W/mK. Zbog brzog rasta toplinske provodljivosti pri vlaženju, od izuzetne važnosti je skladištenje, kvalitetna izvedba parnih brana i zapora, te je potrebno spriječiti ulaz vode u konstrukciju ovoja zgrade.

Mineralna vuna je slabo razgradiva, te je potreban postupak recikliranja. U proizvodnji mineralne vune, kao dodatak dodaje se vezivo, fenolna smola zbog koje je vuna otporna samo do temperature od 250 °C. Neobrađena vuna može podnijeti temperature do 800 °C. Zbog materijala od kojih je sastavljena, mineralna vuna može utjecati na čovjekovo zdravlje pa je pri radu s njom potrebno koristiti zaštitu, rukavice i naočale, jer sitni dijelovi materijala nadražuju kožu.



*Slika 4.1 Mineralna vuna*



*Slika 4.2 Niska toplinska provodljivost mineralne vune*



*Slika 4.3 Kamena vuna*



*Slika 4.4 Postava kamene vune*



*Slika 4.5 Staklena vuna*

#### 4.1.2 Polistiren

Uz mineralnu vunu, najčešće korišteni toplinsko izolacijski materijal je polistiren, poznatiji pod nazivom stiropor. Polistiren je termoplastična pjena koja, osim što je izvrsna za toplinsku izolaciju kod izrade vanjskih fasadnih konstrukcija, često se koristi i za zvučnu izolaciju kod plivajućih podova. Polistirenska izolacija ima jedinstvenu glatku površinu u odnosu na drugu vrstu izolacije. Polistiren je zbog velikog udjela zraka lagan i ekonomičan materijal, povoljne cijene i široke primjene, jednostavan za proizvodnju, transport i ugradnju. Dolazi u dvije vrste: ekspanzirani (EPS) i ekstrudirani (XPS).

**Ekspanzirani polistiren** je materijal sa toplinskom provodljivošću  $\lambda$  od 0,035 do 0.040 W/mK, faktorom otpora vodene pare koji iznosi  $\mu = 30-70$ , i niskom cijenom, koji se koristi sustavima za toplinsku izolaciju (ETICS), za izolaciju podova, krovova, itd. Zbog zapaljivosti, u proizvodnji mu se dodaju dodaci za zaštitu od požara kako bi mu se smanjila gorivost. EPS je pjena sastavljena od polistirenske plastike dobivena polimerizacijom. Proizvodi se od sirovine koja izgleda poput zrna šećera i zagrijava se na oko 100 °C. Svako zrno ekspandira

30-50 puta od svog prvotnog volumena, a gustoća se smanji. Načini dobivanja EPS-a su ekstrudiranje i kalupljenje.



*Slika 4.6 EPS ploče*

**Ekstrudirani polistiren** je materijal zatvorenih stanica koji ne upija vodu pa se zbog toga koristi za izolaciju mjesta podložnih vlazi kao što su podrumski zidovi i na mjestima koja su u doticaju s vodom, obrnuti krovovi. Zbog veće cijene koristi se na mjestima velikih tlačnih opterećenja koja zahtijevaju čvrstoću; izolacija temelja, industrijskih podova. Proizveden je propuštanjem pred-ekspandirane smjese kroz ekstruder prilikom čega zrna polistirena tvore zatvorenu strukturu sa većim mehaničkim svojstvima i otpornošću upijanja vode. Toplinska provodljivost mu je u granicama između 0,029 i 0,039 W/mK, faktor otpora vodene pare iznosi 80-250.

Osnovna sirovina za proizvodnju polistirena je nafta. Neobnovljiv je, te je veliki zagađivač okoliša. U zemlju ispušta štetne sastojke te time zagađuje tlo i vodu. Lagan je pa se prenosi vjetrom i pliva po vodi. Dobra strana je što se lako reciklira pa time kod proizvodnje nema otpada.





*Slika 4.7 XPS ploče u boji*

### 4.1.3 Poliuretanska pjena

Iako nije najkorištenija vrsta toplinske izolacije, poliuretanska pjena je izvrсни izolator sa svojom dobrom provodljivošću topline ( $\lambda = 0,023 - 0,028 \text{ W/mK}$ ), niskom paropropusnosti, visokom otpornošću na upijanje vode, relativno visokom mehaničkom čvrstoćom, malom gustoćom, laka je za ugradnju i otporna je na vatru.

Većinom se proizvodi u obliku krutih ploča. Može se proizvesti metodom „in situ“; smjesa se miješa ručno i ulijeva se u kalupe ili prostore gdje je potrebna izolacija, a može se i prskati izravno na površinu ili u šupljinu pomoću pištolja. Primjenjuje se u industriji i kod sanacije krovova.

Kratkoročno izdržava temperature i do  $250 \text{ }^\circ\text{C}$  tako da su ploče od poliuretanske tvrde pjene pogodne i za obradu bitumenom. Ploče se često oblažu aluminijskim folijama ili krutim limovima i ivericama.



*Slika 4.8 Poliuretanska pjena proizvedena u kalupu*



*Slika 4.9 Metoda prskanja  
poliuretanske pjene pištoljem*



*Slika 4.10 Panel s izolacijom od poliuretanske pjene (1-poliuretanski izolacijski sloj,  
debljine 40mm; 2-kvarcni pijesak; 3-sloj opeke debljine 20mm)*



#### 4.1.4 Celuloza

Celuloza se također koristi kao izolacijski materijal. Napravljena je od recikliranog materijala (kartona, novina, papira) uz dodatak borove soli koja se dodaje za negorivost. Istraživanja su pokazala da je celuloza odličan materijal za smanjenje šteta od požara. Toplinsko izolacijska svojstva joj se povećavaju padom temperature ( $\lambda = 0,033-0,040 \text{ W/mK}$ ). Zbog zbijenosti čestica materijala, celuloza ne sadrži kisik pa ne gori. Celuloza nije dobra za osobe koje su alergične na novinsku prašinu.

Ona je jeftin i učinkovit materijal za toplinsku izolaciju, te je za njezinu proizvodnju potrebna mala količina energije. Može se ugraditi upuhivanjem slobodnih čestica ili špricanjem vezanih čestica. Kod izolacije od celuloze nema otpada, sama se reciklira te se može ponovo ugraditi u konstrukciju bez dodatne prerade. Upuhivanjem i naročito špricanjem, izolacija od celuloze potpuno obavija konstrukciju i ne ostavlja prazne prostore.



*Slika 4.11 Celuloza*



*Slika 4.12 Ugradnje celuloze metodom upuhivanja*



*Slika 4.13 Ugradnja celuloze metodom špricanja*



*Slika 4.14 Usporedba ispunjenosti konstrukcije između mineralne vune i celuloze*

#### 4.1.5 Drvena vlakna

Drvena vlakna s dodatkom mineralnih veziva oblikuju negorive izolacijske ploče velike čvrstoće, fleksibilne su, sa slabijom toplinskom provodljivošću koja iznosi  $0,09 \text{ W/mK}$ . Osim za toplinsku izolaciju koriste se za zvučnu i požarnu zaštitu. Odlična izolacija koja štiti od hladnoće zimi, a ljeti od vrućine, te je jednostavna za ugradnju.



*Slika 4.15 Drvena vlakna*





*Slika 4.16 Podna izolacija od drvenih vlakana*



*Slika 4.17 Izolacija obiteljske kuće od drvenih vlakana*

#### 4.1.6 Pluto

Pluto je jedan od najstarijih izolacijskih materijala koji se koristi u komercijalne svrhe, a u prošlosti je bio najkorišteniji izolacijski materijal u industriji hlađenja. Zbog nedostatka stabala hrasta plutnjaka koji se koristi u proizvodnji pluta, cijena pluta je relativno visoka u odnosu na druge izolacijske materijale, zbog toga je i njegova primjena ograničena. Dostupan je u obliku ploča i u granuliranom obliku.

Plutene ploče se proizvode mljevenjem kore i ekspanzijom čestica pluta u autiklavima, a potom se režu blokovi ekspanziranog pluta u ploče. Drugi način proizvodnje je prešanje plutenih čestica koje su povezane bitumenom ili nekim drugim ljepilom. Plutene ploče se zbog svog izgleda upotrebljavaju za oblaganje zidova i podova. Korištenje njima je jednostavno, dok je transport dugi. Koeficijent toplinske provodljivosti se kreće između 0,045 i 0,060 W/mK.



*Slika 4.18 Granulirani oblik pluta*



*Slika 4.19 Plutene ploče*

#### 4.1.7 Ovčja vuna

Još od života prvih ljudi u pećinama, ovčja vuna se koristila za toplinsku izolaciju. Kod nas je danas njena uporaba prilagođena suvremenim konstrukcijama i zahtjevima, dok ju mongolska plemena koriste kao obloge zidova nastambi.

Ovčja vuna je potpuno prirodan, organski, visokoefikasni, biorazgradiv i ekološki materijal za čiju proizvodnju je potrebno vrlo malo energije. Ugradnja je jednostavna. Nakon strizanja, ona se mora dobro isprati kako bi se odvojio lanolin, zatim se suši i miješa s poliestrom zbog postojanosti forme. Za poboljšanje vatrootpornosti dodaje se borova sol u proizvodnji. Izolacija od ovčje vune se može rabiti u starijim konstrukcijama, podovima, krovovima, zidovima i kao izolacija cijevi. Koeficijent toplinske provodljivosti je između 0,040 i 0,045 W/mK.





*Slika 4.20 Ovčja vuna*



*Slika 4.21 Ugradnja ovčje vune*

#### 4.1.8 Konoplja

U Europskim zemljama, primjerice u Njemačkoj, Austriji i Irskoj, u gradnji se koristi konoplja, dok u Hrvatskoj je dozvoljena njezina sadnja, ali je zabranjeno korištenje stabljika. Međutim, konoplja se u građevini koristi već stoljećima zbog odličnih svojstava i niskoj apsorpciji vlage. Koristi se kao fasadna izolacija jer je brzo obnovljiva, ekološki uzgojena, njena obrada ne zahtijeva veliku količinu energije.

Izolacijski ploče od konoplje imaju veliku paropropusnost i otpornost na starenje i oštećenje. Koristi se i za protupožarnu izolaciju jer konoplja kao materijal ne gori već samo tinja. Visoka sposobnost upijanja i preraspodjele vlage razlozi su zbog čega izolacija od konoplje ima sposobnost zadržavanja vlastitog oblika u vlažnim uvjetima, a da pri tome toplinsko izolacijska svojstva ostaju ista. Koeficijent toplinske provodljivosti iznosi 0,040 W/mK.



*Slika 4.22 Izolacijske ploče od konoplje*



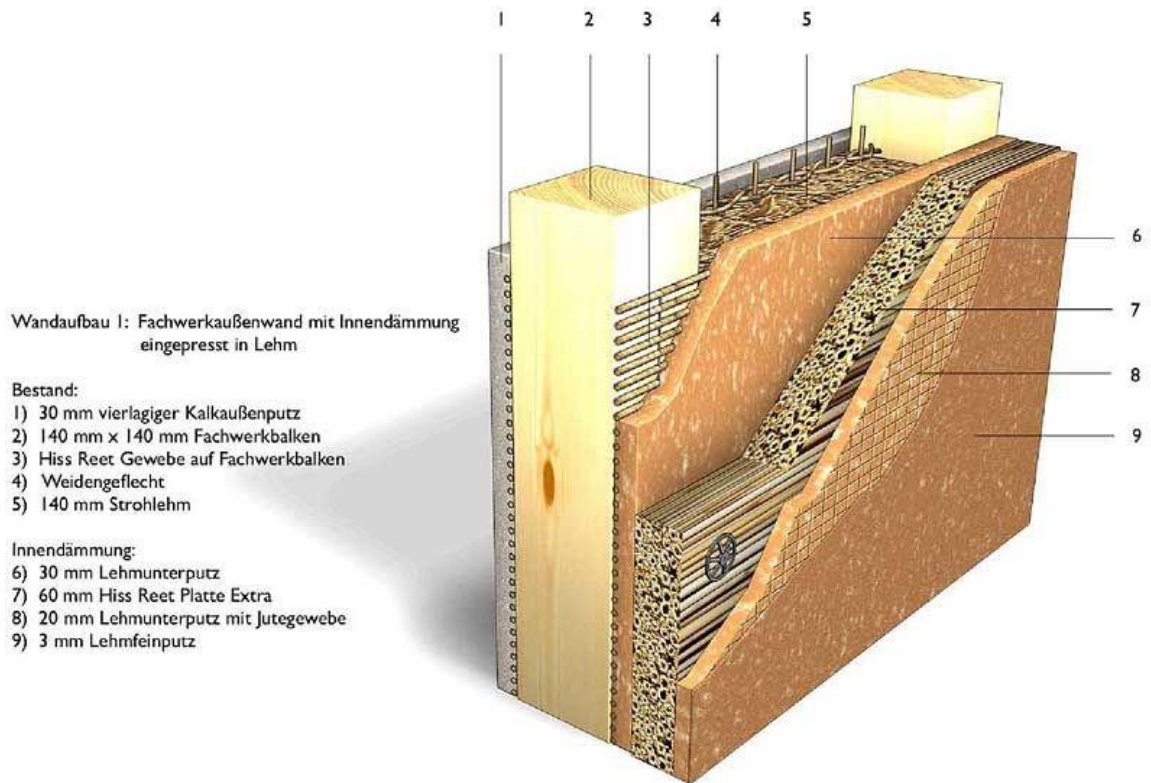
#### 4.1.9 Slama

Slama kao građevinski materijal koristi se od kamenog doba. Zbog svojih dobrih toplinskih karakteristika ( $\lambda=0,045$  W/mK), lake dostupnosti, niske cijene i trajnosti koristila se za izgradnju zidova i pokrova.

Slama je prirodni i obnovljivi materijal, proizvodi se svake godine uz pomoć Sunčeve energije. Slama kao materijal gori, ali u kombinaciji sa betonom je manje sklona požaru. Nema štetnih utjecaja te ne sadrži pelud koji bi uzrokovao alergije kod ljudi. Upotrebom slame poboljšava se kvaliteta zraka u kućama jer slama ne ispušta nikakve tvari kao što ih ispuštaju drugi materijali.



*Slika 4.23 Bale slame*



Slika 4.24 Shema izgradnje slamom

## 4.2 Nano izolacijski materijali

Potreba za štednjom energije pa tako i za gradnjom konstrukcija sa što manjim gubitkom topline je sve veća i veća. Potrebno je poboljšati i kvalitetu zraka u zatvorenim prostorima kvalitetnom izolacijom, jer većina ljudi provede mnogo vremena u zatvorenom prostoru. To se može postići povećanjem debljine uobičajene toplinske izolacije, međutim time se gubi korisna površina, povećala bi se proizvodnja građevinskih materijala čime bi se povećala potrošnja energije i dovelo bi do povećanja emisija stakleničkih plinova. To bi se spriječilo sa high-tech super-izolacijskim materijalima temeljenima na nanotehnologiji koja s iznimno malim debljinama materijala nudi kvalitetnije učinke izolacije. Nano izolacijski materijali se temelje na zakonitostima prijenosa energije kolizijom (sudaranjem) molekula plina. Kada se veličina pora u određenom materijalu smanji, molekule se sudaraju sa stjenkama pora, a ne s drugim molekulama plina. Uklanjanje sudara između molekula pridonosi smanjenju toplinske vodljivosti i povećanju učinkovitosti nano izolacijskih materijala.

Korištenje nano izolacijskih materijala doprinosi održivoj gradnji. Njihova primjena jedna je od najvećih potencijalnih značajki za uštedu energije zgrade, također i povećanju životnog vijeka zgrade. Primjer kuće sa nano materijalima se nalazi u Torontu, u Kanadi.



*Slika 4.25 Kuća sa nano izolacijskim materijalima u Torontu*





*Slika 4.26 Tzv. Meka kuća, drvena konstrukcija je dopunjena nano materijalima*

#### 4.2.1 Aerogel

Jedan je od specijalnih, ujedno i najboljih toplinsko izolacijskih materijala toplinske provodljivosti od  $\lambda = 0,005 \text{ W/mK}$ . Njegove pore su toliko male da ima bolju toplinsku otpornost nego zrak. U vrijeme otkrića (1934. godine) imao je najnižu toplinsku provodljivost u povijesti. Potpuno je vodootporan, vrlo dobro propušta paru, niske je gustoće, fleksibilan je i otporan na gaženje, njegovo rezanje i lijepljenje te sama ugradnja su jednostavni. Ne šteti okolišu zbog sastava.

Aerogel je u osnovi suhi gel koji je nastao sušenjem gela u kritičnim uvjetima, gel se suši tako da se spriječi kolaps pora. Većinom se primjenjuje kao izolator različitih tehnoloških postrojenja, za toplinsku izolaciju podova i zidova. Zbog visoke cijene upotrebljava se za tehničko i tehnološko uklanjanje nedostataka, posebice kod naknadnog poboljšanja toplinske izolacije. NASA ga koristi za konstrukciju pločica otpornih na toplinu jer mogu izdržati temperaturu od  $300 \text{ °C}$ .

Ovaj vrlo tanak, izdržljiv, hidrofoban, nezapaljiv suvremeni materijal koristi se i u modernoj gradnji, ali i za adaptaciju postojećih zgrada, osobito zgrada arhitektonske baštine. Nanogel granule se mogu dodati mortu i drugim sustavima za obradu zidova za toplinsku

izolaciju. Tako se u kombinaciji s vapnom, laganim mineralima agregata, bijelim cementom i kalcijevim hidroksidom, koriste zrnca aerogela za zidne aerogelne mortove s visokim toplinsko izolacijskim svojstvima. Oni su paropropusni tako da nema opasnosti od kondenzacije ili pojave plijesni. Zbog mineralnog sastava, otporni su na alge, gljive i insekte. Aerogel nije zapaljiv materijal.

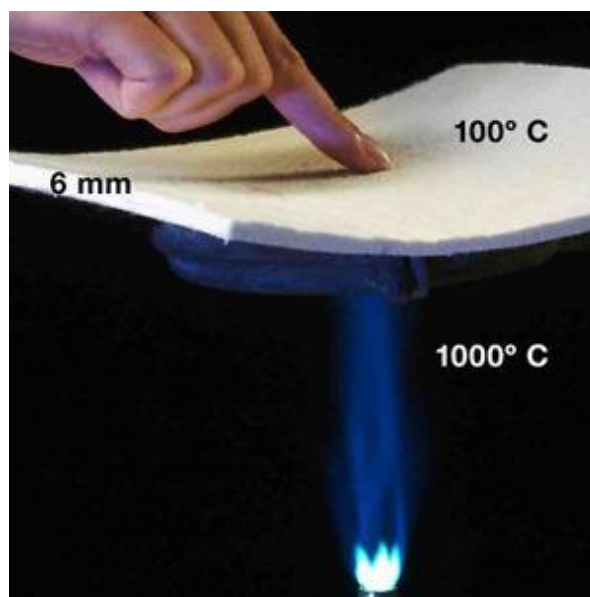
Prirodna žbuka (bez dodatka aerogela) ima toplinsku vodljivost od 0,50 W/mK, dok mort s dodatkom granula aerogela ima jako dobru toplinsku provodljivost čija se vrijednost kreće od 0,013 do 0,0018 W/mK. Aerogel je visoko učinkoviti materijal s velikim potencijalom čija se tehnologija iz dana u dan razvija.



*Slika 4.27 Aerogel*



*Slika 4.28 Primjena aerogela*



*Slika 4.29 Niska toplinska provodljivost aerogela*



*Slika 4.30 Osim za izolaciju, aerogel se može koristiti u konstrukciji staklene kuće*

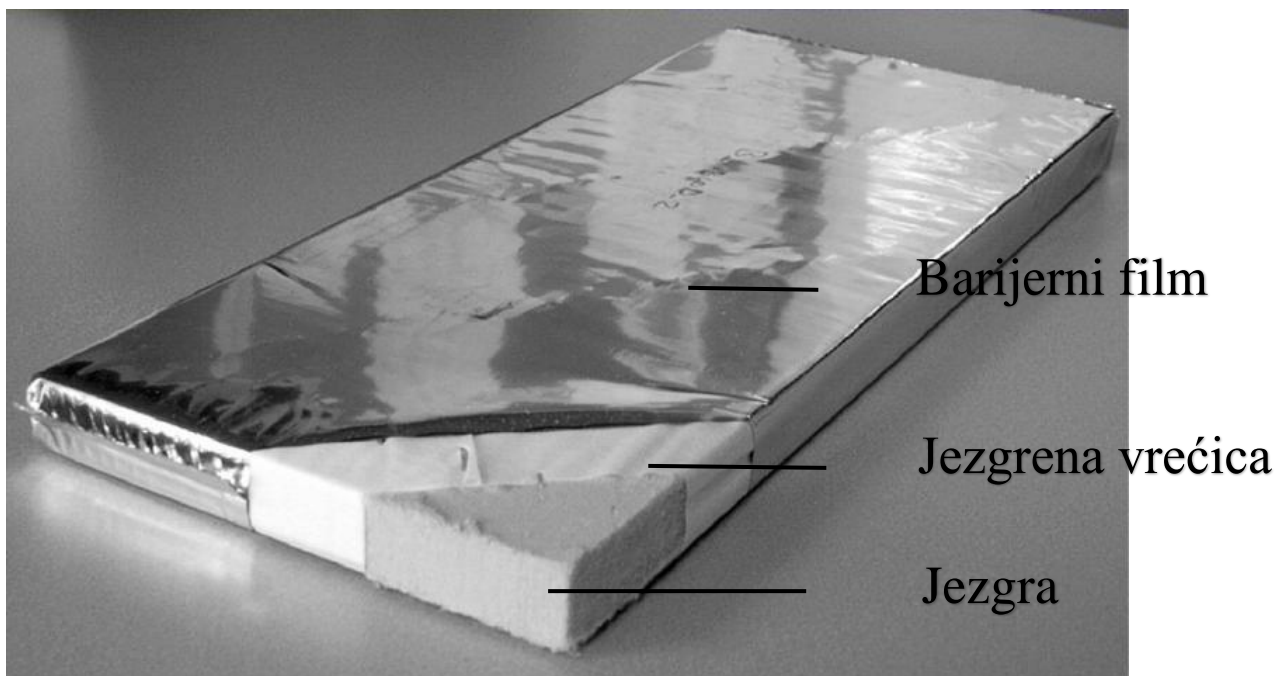
#### 4.2.2 Vakuumske izolacijske ploče (VIP)

VIP je nehomogena izolacijska ploča izrađena od omotača koji se sastoji od posebne folije u koju je hermetički ugrađena jezgra izolacije, iz koje je usisan sav zrak. Jezgra je vlaknaste ili stanične strukture. Punila vakuumskih ploča su izrađena od vlakana na bazi silicija s iznimno visokom otpornošću na temperature do 900 °C.

Kada želimo zadržati tanki sloj fasade ili nema dovoljno prostora za ugradnju dodatne podne izolacije koristi se vakuumska izolacija. Također koristi se i za izolaciju unutarnjih zidova, adaptaciju povijesnih objekata, izolaciju terasa, podova. Zbog loše fleksibilnosti nemoguće ih je prilagoditi objektu tako da ih je najbolje koristiti za ravne površine (zidovi, podovi). Loše strane su visoka cijena, može doći do manjih toplinskih mostova na spoju izolacije, zbog njihove ranjivosti treba biti oprezan prilikom transporta, skladištenja i montaže kako bi se spriječilo oštećenje jer njihova učinkovitost i trajnost ovise o očuvanju vakuuma. Dimenzije ploča se ne smiju nakon izrade naknadno mijenjati jer bi došlo do uništenja vakuuma, također ne smiju se rezati, bušiti jer se može oštetiti zaštitna folija. Na fasadama s VIP-om žbuka je ojačana mrežom.

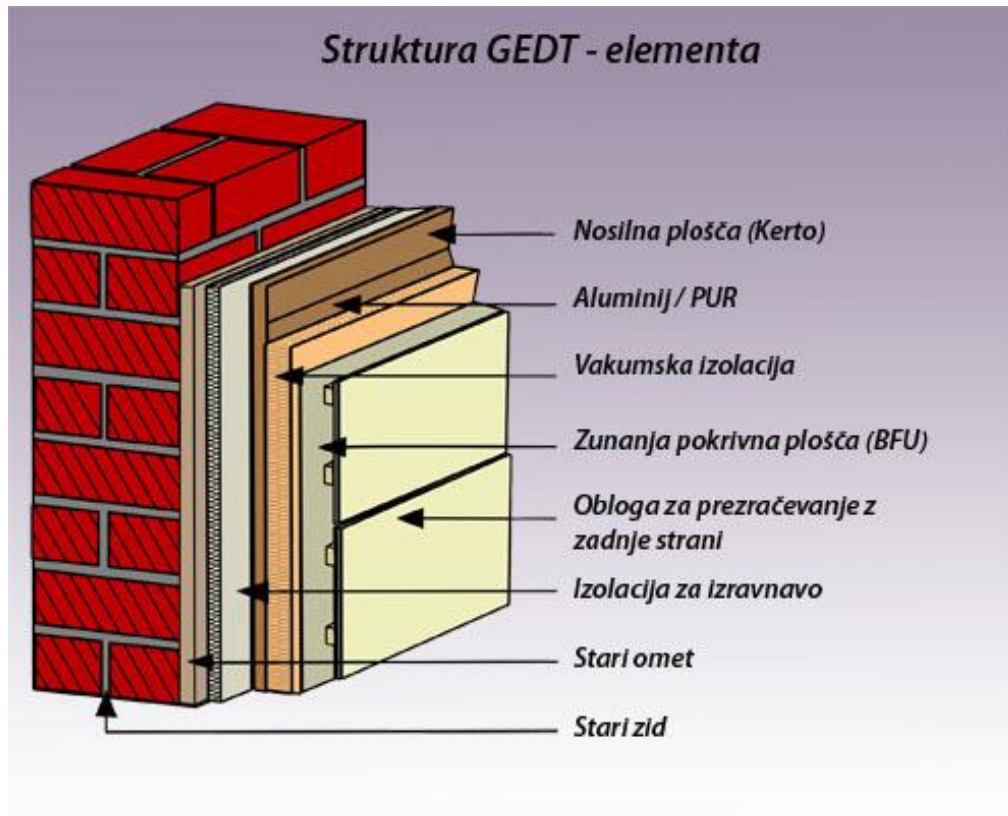
Trajnost VIP-a ovisi i o kvaliteti folije, a posebno o zavarenim spojevima osiguranim vakuumom. Zbog niske propusnosti zraka i vlage, koriste se aluminijske folije.

VIP ploče su jedan od najučinkovitijih materijala za toplinsku izolaciju u budućnosti. Toplinska provodljivost se kreće u rasponu od 0,003 do 0,004 W/mK. Izolacijska svojstva samo 2 cm debele ploče jednaka su stiropornoj ploči debljine 24 cm. S nižim temperaturama poboljšavaju se svojstva toplinske izolacije, što je osobito važno za hladnije vrijeme. Zbog prodiranja vlage i zraka u jezgru, nakon nekih 25 godina vrijednost toplinske provodljivosti može doći do 0,008 W/mK.



*Slika 4.31 Vakuum izolacijski paneli*





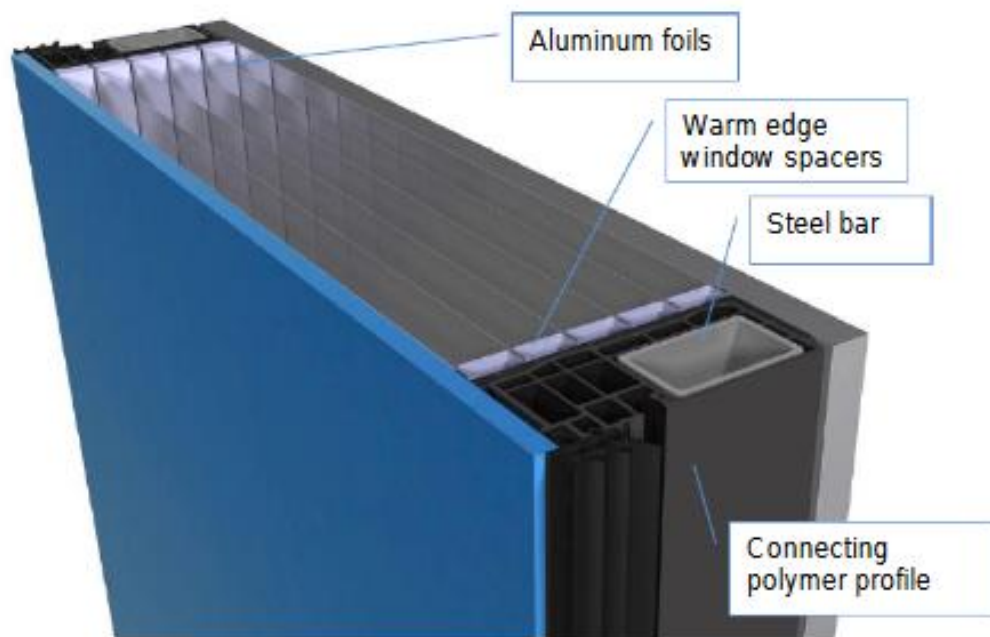
Slika 4.32 Položaj VIP izolacije

#### 4.2.3 Plinom ispunjene ploče (GAS FILLED PANELS, GFP)

Još jedan od modernih izolacijskih materijala su plinom ispunjene ploče. Slobodan prostor u pregradnoj mreži je ispunjen plinom male gustoće i niske toplinske provodljivosti, za poboljšanje učinkovitosti, a barijera, koja služi da plin ne bježi van, oblikuje cijeli paket. GFP se sastoji od pregrade, inkapsulacijske barijere i plinskog punjenja.

Plinovi s većom molekulskom masom, obično imaju nižu toplinsku provodljivost. Jednoatomski plinovi, poput kriptonu i ksenonu, imaju nižu toplinsku provodljivost od poliatomskih plinova jednake ili veće težine.

GFP još nije uveden na građevinsko tržište unatoč što su izvršena istraživanja i njegova testiranja.



*Slika 4.33 Izgled GFP-a*

#### 4.2.4 Fazno promjenjivi materijali (PCM)

Kako bi se riješio problem nedostatka toplinske akumulacije lakih konstrukcija, koriste se fazno promjenjivi materijali. Oni imaju sposobnost promjene agregatnog stanja i pohrane, a kad se vrte u prvobitno stanje oslobađaju veliku količinu energije u vidu latentne topline s time da je promjena vlastite temperature minimalna. Toplinsko uskladištenje PCM smatra se održivom metodom za poboljšanje energetske učinkovitosti zgrada. Uskladištenje može biti izvršeno dvjema metodama; fizikalnom i kemijskom.

Iako je njegov doprinos održivom razvoju velik, PCM se ne koristi mnogo u građevini zbog visoke cijene. Koriste se kod transporta dobara koja su osjetljiva na visoke temperature, koriste se kao izmjenični fluidi u solarnim kolektorima, u sustavima podnog grijanja i za zaštitu elektroničke opreme i telekomunikacijskog postrojenja. U novije vrijeme se PCM ugrađuje i u aktivne pametne ovojnice zgrada. Primjenom PCM-a u građevnim objektima se postiže uravnoteženje dnevnih varijacija temperatura, s obzirom da fazno promjenjivi materijali svojim taljenjem usporavaju ili onemogućavaju dnevni porast temperature iznad svoje temperature tališta, a kristalizacijom sprječavaju prekomjeran pad temperature. Osim za uravnoteženja

temperature, primjenom PCM se smanjuje potreba za grijanjem i hlađenjem, štedi se energija i čuva okoliš.

Granule PCM-a mogu se dodati u mineralnu žbuku, gipsanu masu kod izrade ploča, u porobetone i druge građevinske materijale. PCM se koriste i na specijalnim umreženim nosačima. PCM moraju imati što veći ukupni toplinski kapacitet te temperatura tališta mora biti između 20 °C i 30 °C kako bi im svojstva bila bolja. Također toplinska provodljivost im mora biti velika.

PCM se u građevinarstvu primjenjuje od pedesetih godina prošlog stoljeća, kada su u SAD-u na pročelja zgrada montirani paneli ispunjeni PCM-om.



*Slika 4.34 Mehanizam rada PCM-a*

## 5. ISPITIVANJE REAKCIJE TI MATERIJALA NA POŽAR

Ispitivanje materijala, posebice njegovih svojstava je izrazito bitno. Danas upotrebljavamo puno različitih materijala te je vrlo važno da zadovoljavaju traženu kvalitetu.

### 5.1 SBI metoda

U članicama EU, nije bilo zahtjeva za nekim vrednovanjima razvoja požara pri ispitivanju građevinskih materijala pa se za određivanje euro klase materijala uvela nova metoda ispitivanja, kao norma za ispitivanje. SBI metoda (eng. Single Burning Item) je nova metoda ispitivanja kojom se u Europi testiraju i kvalificiraju većina građevinskih proizvoda, umjesto uporabe tradicionalnih metoda. SBI metoda je potrebna za razvrstavanje proizvoda po klasama A2, B, C i D. SBI metoda je prihvaćena u CEN-u kao europska metoda ispitivanja u jesen 2001. i od tada se primjenjuje u nacionalnim propisima.

Koristi se za određivanje ponašanja građevinskih proizvoda, osim podnih obloga, reakcije na požar, izloženih plamenu. Reakcija materijala na plamen praćena je vizualno i pomoću instrumenata. Fizička svojstva procjenjuju se opažanjem dok se brzina otpuštanja topline i dima mjeri instrumentima. Materijal je izložen termičkom opterećenju od pojedinačnog gorućeg elementa. Ocjenjuje se mogući doprinos nekog građevnog proizvoda razvoju požara u požarnoj situaciji kojom se simulira gorenje pojedinačnog predmeta u kutu prostorije u blizini tog proizvoda. Vatra se stimulira grijačem od 30 kW. Analiziraju se produkti gorenja. S obzirom na brzinu širenje vatre i količinu proizvedene toplinske energije, materijali se svrstavaju u klase zapaljivosti. Također se mjeri poprečno širenje plamena. Dodatne podklasifikacije se utvrđuju na temelju količine proizvedenog dima.

SBI metoda ne predstavlja niti može u potpunosti opisati stvarno ponašanje u požaru sustava u njihovoj punoj veličini, tj. uzorak za SBI ispitivanje nije reprezentativan uzorak čitave zgrade i njene fasade.



*Slika 5.1 Aparatura za provođenje ispitivanja prema SBI metodi*

## **5.2 SFI metoda**

Kod te metode materijal je izložen direktnom dodiru plamena. Ispitivanje plamenom iz jednog izvora simulira zapaljenje materijala plamenom koji stvara upaljač za cigarete u kratkom vremenskom periodu koji se kreće između 15 i 30 sekundi. Mjeri se koliko vremena je potrebno da se materijal zapali i vrijeme širenja plamena u visinu od 15 cm iznad mjesta paljenja. Rezultati se koriste za određivanje klase zapaljivosti materijala E ili F. Ova metoda ispitivanja se provodi zajedno sa SBI metodom za klase B, C i D.



*Slika 5.2 Aparatura za provođenje ispitivanja SFI metodom*

### **5.3 EN ISO 1716, metoda određivanja ukupne topline gorenja**

Ova metoda služi za određivanje snage izgorjelog materijala, tj. količine topline prilikom gorenja. Uzorak materijala određene težine i obujma u potpunosti izgori unutar posude koja je pod pritiskom. Gorenjem uzorka se zagrijava voda, čiji porast temperature daje mjeru toplinskog potencijala materijala.



*Slika 5.3 Aparatura za provođenje ispitivanja prema EN ISO 1716 metodi*

## 5.4. EN ISO 1182, metoda negorivosti

Ovom metodom se materijali svrstavaju u klase A1 i A2. Ispitni uzorak se stavi u cilindričnu cjevastu peć na temperaturu od 750°C. Tijekom ispitivanja potrebno je mjeriti temperaturu peći i temperaturu uzorka. Potencijalno zapaljenje se registrira očituje porastom temperature i/ili vidljivim plamenom. Nakon ispitivanja se izmjeri masa koju je uzorak izgubio. Na osnovu toga se donosi zaključak o tome je li materijal goriv ili ne.



*Slika 5.4 Aparatura za provođenje ispitivanja prema EN ISO 1182 metodi*



*Slika 5.5 Uzorak kamene vune prije i poslije ispitivanja (promjena mase od 3,7%)*

Na temelju ovih metoda ispitivanja, materijali se svrstavaju u klase reakcije na požar prema normi EN 13501-1. (Tablica 1).

EN 13501-1	Doprinos požaru
A1	Negoriv materijal
A2	Ograničeno goriv materijal bez razbuktavanja
B	Bez razbuktavanja
C	Razbuktavanje nakon 10 minuta
D	Razbuktavanje prije 10 minuta
E	Razbuktavanje prije 2 minute
F	Nisu utvrđena svojstva

*Tablica 5.1 Klasificiranje materijala po klasama*



## 6. PROTUPOŽARNA SVOJSTVA TI MATERIJALA

Tržište je puno različitih izolacijskih materijala sa svojim prednostima i nedostacima. Za usporedbu protupožarnih svojstava izdvojena su dva najkorištenija materijala, kamena vuna i stiropor, te jedan prirodni materijal kao što je ovčja vuna. Zanima nas njihovo ponašanje u doticaju sa vatrom, točnije gore li; ako gore dolazi li do širenja plamena, do pojave dima, koliko je to gorenja snažno i kakve posljedice ostavlja na građevini.

Mjerenje relativne otpornosti na vatru različitih konstrukcija, veoma je važno zbog osiguravanja zaštite građevine od požara.

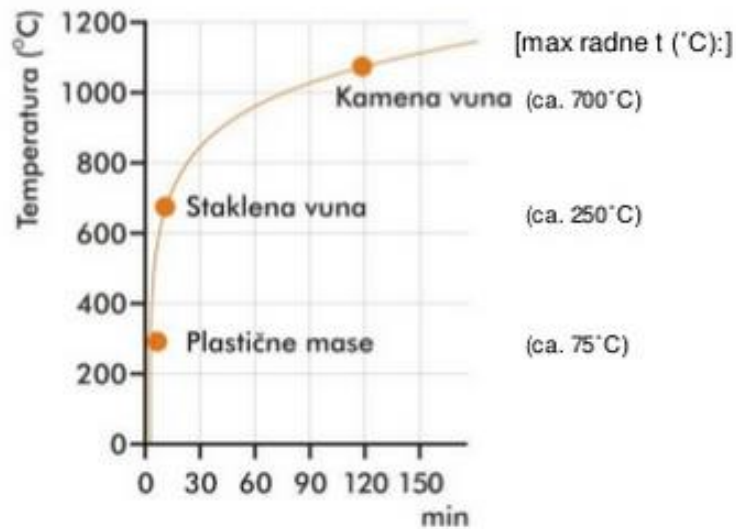
### 6.1 Kamena vuna

Kamena vuna, osim što je odličan toplinski materijal, pokazuje se kao i odličan protupožarni materijal koji zbog svog mineralnog sastava ne gori te ne provodi toplinu, ne dolazi do prenošenja topline s vanjske strane na unutrašnju, kratko rečeno ne potiče stvaranje vatre ni njezino širenje. U velikoj je mjeri otporna na vrućinu pa je njezina primjena u protupožarnim građevinskim elementima velika i raznolika. Kamena vuna se svrstava u skupinu negorivih materijala, klase A1. Radi se o negorivim materijalima kojima se ostvaruju najviši standardi sigurnosti građevine po pitanju vatrootpornosti.

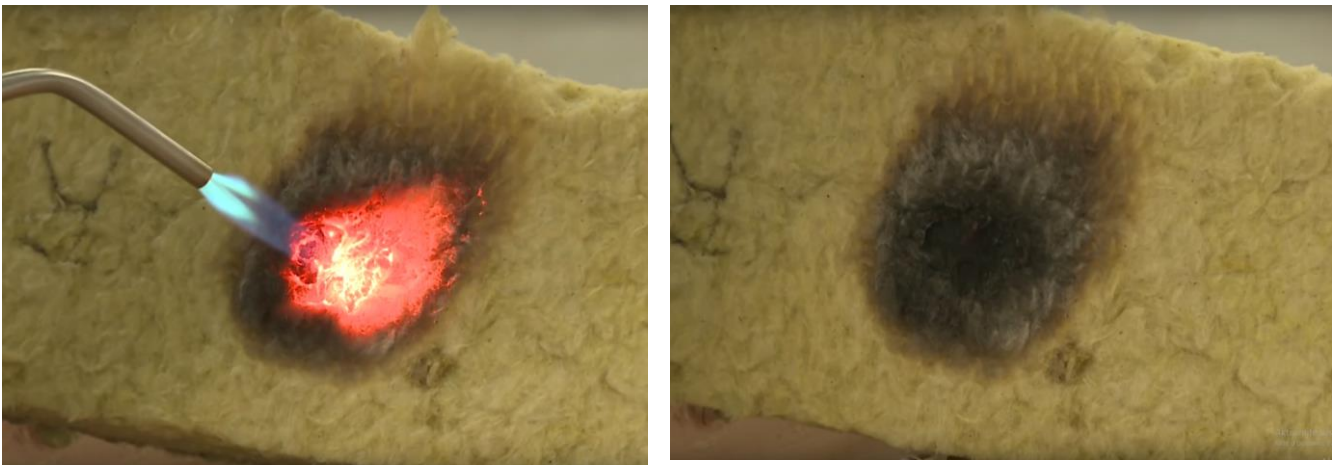
Kod izbijanja požara u prostoriji temperatura u prvih 15 minuta može doseći 700°C te potom može narasti i do 1100°C. upotrebom negorivih materijala, poput kamene vune može se usporiti širenje požara, te se time dobiva na vremenu i očuva se veći dio prostora.

Vlakna kamene vune mogu izdržati temperaturu iznad 1000°C. Vezivo počinje hlapiti puno prije, ali vlakna i dalje zadržavaju svoju formu i postojanost, te se ne gubi funkcionalnost toplinske vodljivosti i zaštite od požara. Pomoću protupožarnih svojstava koja suzbijaju vatru, izolacija od kamene vune sprječava širenje požara na cijelu građevinu. Veoma je važno ispravno izvesti toplinsku izolaciju od kamene vune kako bi građevina bila sigurnija u vrijeme požara. Zbog korištenje minimalnih organskih tvari, izolacija od kamene vune ne proizvodi značajne količine toksičnog dima.

Na slici 6.2 se jasno vidi da u dodiru sa plamenom, kamena vuna tinja, a kada više nije u doticaju sa plamenom tinjanje se gasi te ostaje samo crni trag.



Slika 6.1 Krivulja razvoja standardnog požara i točke taljenja TI materijala



Slika 6.2 U prisutnosti plamena kamena vuna samo tinja, kada se plamen makne više ne tinja

## 6.2 Stiropor (EPS)

Stiropor se najviše koristi u svrhu toplinskog izoliranja zbog prihvatljive cijene i lake dostupnosti. Mnogo izvori kažu da stiropor predstavlja opasan ubrzivač požara. Stiropor ima slaba protupožarna svojstva. Nije otporan na temperature veće od 80°C. Ne smije doći u doticaj

s ljepilima koja sadrže otapala. Kada je duže izložen UV zračenju dolazi do oštećenja. Te karakteristike pripadaju bijelom stiroporu, dok je sivi stiropor, tj. grafitni teško zapaljiv, ne podržava gorenje. Također ne smije doći u kontakt s ljepilima koja sadrže otapala ni ne smije biti izložen UV zračenju. Sivi stiropor, zbog dodatka grafita, ostvaruje 20% bolju izolaciju u odnosu na bijeli.

Upotrebom bitumena ili vrućih premaza koji zahtijevaju višu temperaturu na kratki period, stiropor može pretrpjeti i temperaturu od 110°C. S povećanjem gustoće stiropora, povećava se i otpornost na povišene temperature, dok granična vrijednost ostaje ista.

Samogasivi stiropor u dodiru s plamenom ne gori, samo se tali, a pri uklanjanju plamena prestaje se taliti. U normama je kvalificiran u klasu B1, klasu gorivih materijala, kao teško zapaljiv materijal. Kriteriji za svrstavanje u tu klasu su da srednja vrijednost ostatne duljine svakog ispitnog tijela (dimenzija 19cm x 100cm) mora biti najmanje 15 cm, a nijedna ostatna duljina ne smije biti 0; srednja temperatura dimnog plina ne prelazi 200°C; uzorci gore i žare, ili tinjaju kratko dane ugroze ostatnu duljinu. Požar koji je zahvatio fasadu od stiropora se brzo širi što je prikazano u sljedećem naslovu.

### 6.3 Ovcja vuna



Ovcja vuna daje iste rezultate kao i mineralna vuna, tj. izolacijska svojstva su im ista pa se može mineralna zamijeniti ovčjom bez ikakvih smanjenja svojstava. Teško gori, pa ju je potrebno polijevati benzinom da bi izgorjela. Svrtava se u klase B/E. Pali se na temperaturi između 580 i 600°C, zbog visokog sadržaja dušika. Pri požaru ne ispušta otrovne plinove ni pare, te se ne topi. Prirodna ju vatrootpornost čini pogodnom za toplinsku izolaciju. U zapadnim državama se skuplja, pere, tretira kemikalijama koje ne štete ljudima kako bi se stvorila otpornost na moljce te se povećala otpornost na požar. Potrebni su dodaci kako bi se smanjila gorivost, tj. posebna obrada vlakana za postizanje samogasivosti.

Ima veću otpornost prema gorenju u odnosu na izolacijske materijale proizvedene od celuloze.

## 7. USPOREDBA GORENJA TI OD STIROPORA I TI OD KAMENE VUNE

Provedeno je ispitivanje dvaju uzorka u stvarnoj veličini pod nazivom „Fasade u požaru“. Testirani uzorci bili su po svemu jednaki osim u vrsti toplinsko izolacijskog materijala. Jedan uzorak je bio s gorivom izolacijom od (stiropora) B s2 d0, a drugi je bio izveden s negorivom izolacijom (kamena vuna) A2 s1 d0.

Izvor požara postavljen je u ložištu u podnožju glavnog vertikalnog zida. Konstrukcija izvora požara sastojala se od složenih letvica mekog drva. Uzorci su bili zapaljeni u isto vrijeme zbog usporedbe razvoja i širenja požara.

FASADA S GORIVOM IZOLACIJOM → STIROPOR	FASADA S NEGORIVOM IZOLACIJOM → KAMENA VUNA
 <p data-bbox="256 1677 501 1711">➤ Početak požara</p>	 <p data-bbox="865 1677 1109 1711">➤ Početak požara</p>
1. minuta	



- Širenje vatre po fasadi
- Vatrom zahvaćena izolacija



- Vatra se ne širi
- Izolacija nije zahvaćena

11. minuta





- Gorenje izolacije
- Razvijanje otrovnih dimnih plinova



- Vatra se smanjuje i gasi
- Izolacija se nije zapalila

32. minuta

	
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Fasada i izolacija su izgorjele i uništene</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Neoštećena izolacija</li> <li>➤ Djelomično oštećen završni sloj</li> </ul>
<p>45. minuta</p>	
<p>Posljedice u praksi:</p>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Minimalna mogućnost pravovremene intervencije vatrogasaca</li> <li>➤ Smanjena mogućnost evakuacije</li> <li>➤ Oslobađanje velikih količina otrovnih dimnih plinova</li> <li>➤ Potpuno uništenje fasade</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Izolacija ne gori</li> <li>➤ Ne dolazi do širenja vatre, već se ona sama gasi</li> <li>➤ Nesmetana evakuacija</li> <li>➤ Manji popravci na fasadi</li> </ul>

Tablica 7.1 Usporedna analiza gorenja TI od stiropora i TI od kamene vune

Tijekom ispitivanja uzorak s gorivom izolacijom od stiropora je posve izgorio i požar se proširio fasadom po cijeloj visini zida već u 11. minuti gorenja. Za vrijeme požara mogla se vidjeti velika količina crnog toksičnog dima koji je nastao uslijed izgaranja zapaljivih materijala, koji predstavlja opasnost za korisnike zgrada zahvaćenih požarom i za vatrogasce prilikom spašavanja unesrećenih i gašenja požara. Dolazi do pojave gorućih čestica koje padaju na tlo te mogu dovesti do širenja požara na susjedne zgrade. Požar na drugom uzorku se nije



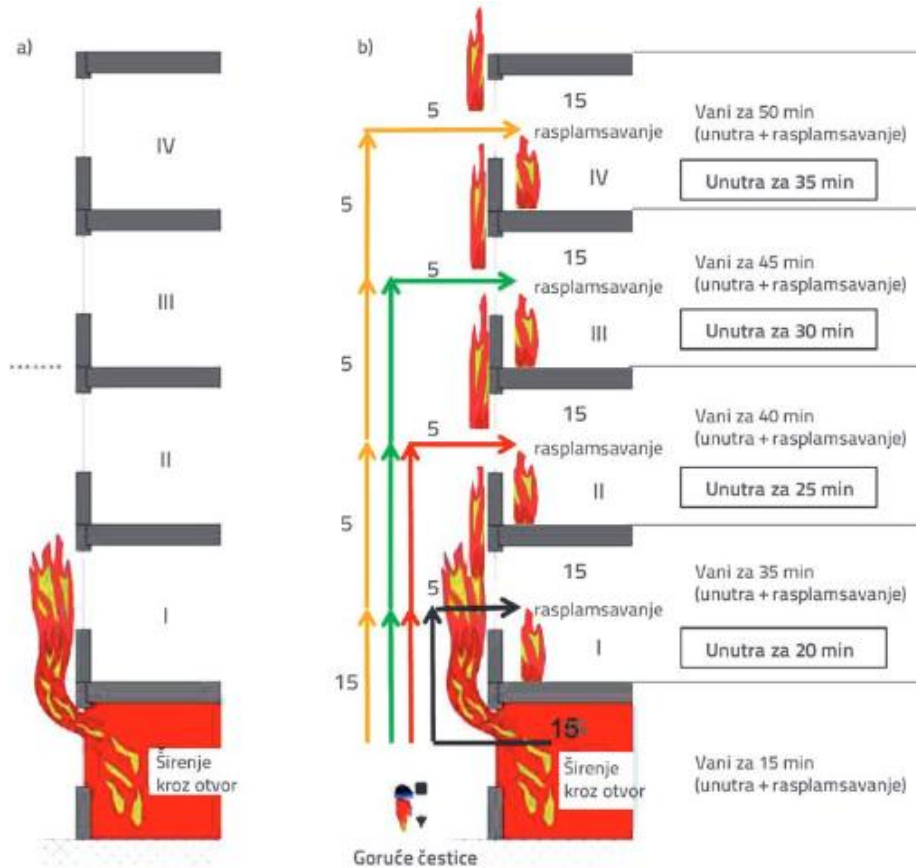
proširio po fasadi zbog nezapaljive izolacije, kamene vune, a konstrukcija je ostala neoštećena. Oštećen je samo završni sloj, te se požar nije proširio na susjedne katove.

Primjer požara fasade s izolacijom od stiropora je bio 2009. godine u jednom mjestu u Mađarskoj. Požar je nastao u kuhinji na šestom katu stambene zgrade te se vertikalno brzo proširio preko fasade do samog krova. Tijekom požara dim se brzo proširio stubištanjem i otvorima za instalacije koji nisu bili ispravno izolirani.



*Slika 7.1 Posljedice požara na pročelju stambene zgrade u Mađarskoj*

Požar je nastao unutar zgrade, a plamen se širi po fasadi uslijed ventilacije kroz otvor zgrade, kao što je prikazano na slici 7.2 .



Slika 7.2 a) Širenje požara preko fasade zgrade u slučaju kada je izvor požara u samoj zgradi kao u primjeru požara u Mađarskoj

b) Približno vrijeme širenja požara od jednog do drugog kata, kao fasadna obloga korišten goriv materijal poput stiropora



## 8. ZAKLJUČAK

Toplinska zaštita zgrade je najučinkovitije rješenje smanjivanja potrošnje energije za njezino grijanje. Stoga je bitno da odaberemo dobar i kvalitetan materijal za njezinu izvedbu. Pravilnim odabirom materijala utječemo na očuvanje okoliša, zdravlje ljudi, novac i vrijeme ugradnje materijala. Od opisanih materijala u radu, najčešće korišteni su stiropor, kamena vuna, a od prirodnih je to ovčja vuna, slama i pluto. Iako su manje korišteniji od umjetnih, prirodni materijali su kvalitetniji i dugotrajniji.

Protupožarna zaštita ne počinje s gašenjem požara, nego u fazi projektiranja. Projektiranjem i primjenom konstruktivnih mjera treba spriječiti nastanak i širenje požara. Širenje požara na susjedne zgrade se može spriječiti upotrebom negorivih TI materijala klase A1 ili A2 s1 d0. Odabir materijala utječe i na otpornost na požar. Taj sloj materijala ima značajan utjecaj na požarno opterećenje. Danas su popularne fasade s EPS-om (stiroporom), ujedno su i najizvođenije i cijenom pristupačne. Usporedbom protupožarnih svojstava proizlazi kako stiropor ima najlošija svojstva u odnosu na kamenu i ovčju vunu. Fasade s toplinskom izolacijom od kamene vune su također korištene, ali u manjoj količini iako su protupožarnim svojstvima pogodnije i kvalitetnije, ali su nešto skuplje. Na temelju ispitivanja možemo zaključiti da upotrebom gorivih izolacija fasade kao što je stiropor, požar se proširuje velikom brzinom na ostale dijelove, odnosno u požaru se ponašaju porazno, dok kod onih fasada u kojima se koristi negoriva izolacija poput kamene vune, požar ošteti tek završni sloj. Požar se fasadom od stiropora širi brzo i veći je rizik za ljudske živote i samim time su uzrokovane velike materijalne štete, u odnosu na fasadnu izolaciju od kamene i ovčje vune.

Potrebno je dobro poznavati TI materijale te njihova protupožarna svojstva kako ne bi došlo do opasnih posljedica kada je u pitanju požar. Bolje je uložiti veću svotu novaca u dobru izolaciju te tako biti sigurniji.

U Varaždinu, 09.09.2019.

Sveučilište  
Sjever



IZJAVA O AUTORSTVU  
I  
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

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

Ja, MARTA BRAČKO (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom ANALIZA OTPORNOSTI TOPLINSKO ISOLACIJSKIH MATERIJALA U POŽARU (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:

(upisati ime i prezime)

Marta Bračko

(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, MARTA BRAČKO (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom ANALIZA OTPORNOSTI TOPLINSKO ISOLACIJSKIH MATERIJALA U POŽARU (upisati naslov) čiji sam autor/ica.

Student/ica:

(upisati ime i prezime)

Marta Bračko

(vlastoručni potpis)

## LITERATURA

### Knjiga:

[1] Jelčić Rukavina, M., Carević, M., Banjad Pečur, I. (2017.): Zaštita pročelja zgrada od požara, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zagreb

### Časopisi:

[2] Vrančić, T. (2005.): Toplinska zaštita zgrada, Građevinar, Vol. 57, br. 10, str. 825-828

[3] Vrančić, T. (2005.) : Toplinska zaštita vanjskih stijena zgrada, Građevinar, Vol. 57, br. 12, str. 1015-1017

[4] Marđetko-Škoro, N., Fučić, L., Bertol-Vrčec, J. (2005.): Tehnički propisi o uštedi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, Građevinar, Vol. 57, br. 7, str. 485-493

[5] Vrančić, T. (2005.): Toplinsko izolacijski materijali u graditeljstvu, Građevinar, Vol. 57, br. 10, str. 829-835

[6] Kušnerova, M., Valiček, J., Harničarova, M. (2014.): Mjerenje fizikalnih svojstava poliuretanske žbuke, Građevinar, Vol. 66, br. 10, str. 899-907

[7] Komuves, P. (2014): Materijal neobičnih svojstava, Građevinar, Vol. 66, br. 4, str. 387-388

[8] Božić, J. (2015.): Nano insulation materials for energy efficient buildings, Contemporary materials, Vol. 5, br.2, str. 149-159

[9] Kos, Ž. (2013.): Fazno promjenjivi materijali, Technical journal, Vol.7, br. 2, str. 202-205

[10] Vrančić, T. (2018.): Primjena ovčje vune u graditeljstvu, Građevinar, Vol. 70, br. 12, str. 1092-1093

[11] Bjegović, D., Banjad Pečur, I., Milovanović, B., Jelčić Rukavina, M., Bagarić, M. (2016.): Usporedba ponašanja različitih ETICS sustava u uvjetima požara ispitivanjem u stvarnoj veličini, Građevinar, Vol. 68, br. 5, str. 357-369

Internet izvori:

- [12] [http://www.ig-gradnja.com/toplinska\\_izolacija.html](http://www.ig-gradnja.com/toplinska_izolacija.html), dostupno 23.03.2019.
- [13] <http://www.enu.fzoeu.hr/ee-savjeti/toplinska-zastita-objekta/svrha-i-vrste-toplinske-izolacije>, dostupno 23.03.2019.
- [14] [https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Thermal\\_insulation\\_for\\_buildings](https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Thermal_insulation_for_buildings), dostupno 23.03.2019.
- [15] <http://www.fao.org>, dostupno 23.03.2019.
- [16] <https://living.vecernji.hr/zelena-zona/obavezno-provjerite-zasto-je-vazna-toplinska-izolacija-fasade-989281>, dostupno 23.03.2019.
- [17] <https://www.thermaxxjackets.com/5-most-common-thermal-insulation-materials/>, dostupno 30.03.2019.
- [18] <http://www.gradimo.hr/izolacijski-materijali>, dostupno 30.03.2019.
- [19] <https://www.energetskocertificiranje.com.hr/nano-termo-izolacija/>, dostupno 13.04.2019.
- [20] <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:506266/FULLTEXT01.pdf>, dostupno 13.04.2019.
- [21] <https://mgipu.gov.hr>, dostupno 22.06.2019.
- [22] <http://www.legalizacijagradnje.com>, dostupno 22.06.2019.
- [23] <http://www.fire-testing.com>, dostupno 29.06.2019.
- [24] <https://www.knaufinsulation.hr>, dostupno 29.06.2019.
- [25] [https://www.brandveiligmetstaal.nl/upload/Image/Hallen-StalenPuien/SBI\\_test\\_Efectis\\_UniversiteitGent.pdf](https://www.brandveiligmetstaal.nl/upload/Image/Hallen-StalenPuien/SBI_test_Efectis_UniversiteitGent.pdf), dostupno 06.07.2019.

## Popis slika

Slika 1.1 Slojevi ventilirane fasade

Izvor: <https://www.webgradnja.hr/specifikacije/742/ventilirane-fasade/>

Slika 1.2 Povećanje debljine toplinske izolacije zbog energetske učinkovitosti zgrade

Izvor: <https://mgipu.gov.hr>

Slika 4.1 Mineralna vuna

Izvor: <https://www.thermaxxjackets.com/5-most-common-thermal-insulation-materials/>

Slika 4.2 Niska toplinska provodljivost mineralne vune

Izvor: <https://www.isover.hr/mineralna-vuna-g3>

Slika 4.3 Kamena vuna

Izvor: <https://www.isover.hr>

Slika 4.4 Postava kamene vune

Izvor: <https://www.isover.hr>

Slika 4.5 Staklena vuna

Izvor: <https://www.isover.hr>

Slika 4.6 EPS ploče

Izvor: [http://www.arhiteko.hr/menu.html?http://www.arhiteko.hr/\\_polistiren.html](http://www.arhiteko.hr/menu.html?http://www.arhiteko.hr/_polistiren.html)

Slika 4.7 XPS ploče u boji

Izvor: [http://www.arhiteko.hr/menu.html?http://www.arhiteko.hr/\\_polistiren.html](http://www.arhiteko.hr/menu.html?http://www.arhiteko.hr/_polistiren.html)

Slika 4.8 Poliuretanska pjena proizvedena u kalupu

Izvor: <https://indeco.ru/hr/what-is-polyurethane-foam-its-properties-and-application-characteristics-of-polyurethane-foam-heaters.html>

Slika 4.9 Metoda prskanja poliuretanske pjene pištoljem

Izvor: <https://www.thermaxxjackets.com/5-most-common-thermal-insulation-materials/>

Slika 4.10 Panel izolacija od poliuretanske pjene

Izvor: <https://indeco.ru>

Slika 4.11 Celuloza

Izvor: [http://www.arhiteko.hr/menu.html?http://www.arhiteko.hr/\\_polistiren.html](http://www.arhiteko.hr/menu.html?http://www.arhiteko.hr/_polistiren.html)

Slika 4.12 Ugradnja celuloze metodom upuhivanja

Izvor: [http://www.arhiteko.hr/menu.html?http://www.arhiteko.hr/\\_polistiren.html](http://www.arhiteko.hr/menu.html?http://www.arhiteko.hr/_polistiren.html)

Slika 4.13 Ugradnje celuloze metodom špricanja

Izvor: [http://www.arhiteko.hr/menu.html?http://www.arhiteko.hr/\\_polistiren.html](http://www.arhiteko.hr/menu.html?http://www.arhiteko.hr/_polistiren.html)

Slika 4.14 Usporedba ispunjenosti konstrukcije između mineralne vune i celuloze

Izvor: [http://www.arhiteko.hr/menu.html?http://www.arhiteko.hr/\\_polistiren.html](http://www.arhiteko.hr/menu.html?http://www.arhiteko.hr/_polistiren.html)

Slika 4.15 Drvena vlakna

Izvor: <http://www.gradimo.hr/clanak/vrste-drvenih-ploca/13014>

Slika 4.16 Podna izolacija od drvenih vlakana

Izvor: <http://www.gradimo.hr/clanak/vrste-drvenih-ploca/13014>

Slika 4.17 Izolacija obiteljske kuće od drvenih vlakana

Izvo: <http://www.gradimo.hr/clanak/vrste-drvenih-ploca/13014>

Slika 4.18 Granulirani oblik pluta

Izvor: <https://pluta24.hr/>

Slika 4.19 Plutene ploče

Slika 4.20 Ovčja vuna

Izvor: [http://www.arhiteko.hr/menu.html?http://www.arhiteko.hr/\\_polistiren.html](http://www.arhiteko.hr/menu.html?http://www.arhiteko.hr/_polistiren.html)

Slika 4.21 Ugradnja ovčje vune

Izvor: [http://www.arhiteko.hr/menu.html?http://www.arhiteko.hr/\\_polistiren.html](http://www.arhiteko.hr/menu.html?http://www.arhiteko.hr/_polistiren.html)

Slika 4.22 Izolacijske ploče od konoplje

Slika 4.23 Bale slame

Izvor: <https://www.zelena-gradnja.hr>

Slika 4.24 Shema izgradnje slamom

Izvor: <https://www.zelena-gradnja.hr>

Slika 4.25 Kuća sa nano izolacijskim materijalima u Torontu

Izvor: <https://www.pinterest.com>

Slika 4.26 Tzv. Meka kuća, drvena konstrukcija je dopunjena nano materijalima

Izvor: <https://www.pinterest.com>

Slika 4.27 Aerogel

Izvor: <https://www.aerogel.com/>

Slika 4.28 Primjena aerogela

Izvor: <https://www.aerogel.com/>



Slika 4.29 Niska toplinska provodljivost aerogela

Slika 4.30 Osim za izolaciju, aerogel se može koristiti u konstrukciji staklene kuće

Izvor: <https://www.pinterest.com>

Slika 4.31 Vakuum izolacijski paneli

Izvor: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:506266/FULLTEXT01.pdf>

Slika 4.32 Položaj VIP izolacije

Izvor: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:506266/FULLTEXT01.pdf>

Slika 4.33 Izgled GFP-a

Izvor: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:506266/FULLTEXT01.pdf>

Slika 4.34 Mehanizam rada PCM-a

Izvor: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:506266/FULLTEXT01.pdf>

Slika 5.1 Aparatura za provođenje ispitivanja prema SBI metodi

Izvor: <http://huzop.hr>

Slika 5.2 Aparatura za provođenje ispitivanja SFI metodom

Izvor: <http://huzop.hr>

Slika 5.3 Aparatura za provođenje ispitivanja prema EN ISO 1716 metodi

Izvor: <http://huzop.hr>Slika

5.4 Aparatura za provođenje ispitivanja prema EN ISO 1182 metodi

Izvor: <http://huzop.hr>

Slika 5.5 Uzorak kamene vune prije i poslije ispitivanja

Izvor: <http://seminar.tvz.hr/materijali/materijali13/13A02.pdf>

Slika 6.1 Krivulja razvoja standardnog požara i točke paljenja TI materijala

Izvor: <https://www.webgradnja.hr/specifikacije/921/svojstva-kamene-vune-rockwool/>

Slika 6.2 U prisutnosti plamena kamena vuna samo tinja, dok se plamen makne više ne tinja

Slika 7.1 Posljedice požara na pročelju stambene zgrade u Mađarskoj

Izvor: <https://mgipu.gov.hr>

Slika 7.2 a) Širenje požara preko fasade zgrade u slučaju kada je izvor požara u samoj zgradi kao u primjeru požara u Mađarskoj

b) Približno vrijeme širenja požara od jednog do drugog kata, kao fasadna obloga korišten goriv materijal poput stiropora

Izvor: [11] Bjegović, D., Banjad Pečur, I., Milovanović, B., Jelčić Rukavina, M., Bagarić, M. (2016.): Usporedba ponašanja različitih ETICS sustava u uvjetima požara ispitivanjem u stvarnoj veličini, Građevinar, Vol. 68, br. 5, str. 357-369

## Popis tablica

Tablica 3.1 Razredi građevinskih materijala s obzirom na reakciju na požar

Tablica 3.2 Usporedni prikaz razreda reakcije na požar s klasama gorivosti

Tablica 3.3 Razredi reakcije na požar pročelja (klase gorivosti fasade)

Tablica 5.1 Klasificiranje materijala po klasama

Tablica 7.1 Usporedna analiza gorenja TI od stiropora i TI od kamene vune