

# Usporedba karakteristika prirodnih i umjetnih toplinskoizolacijskih materijala

---

**Damiš, Nikola**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2018**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:589129>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-10**



*Repository / Repozitorij:*

[University North Digital Repository](#)





**Sveučilište  
Sjever**

**Završni rad br. 338/GR/2018**

**Usporedba karakteristika prirodnih i umjetnih toplinsko-  
izolacijskih materijala**

**Nikola Damiš, 1378/601**

Varaždin, rujan 2018. godine



# Sveučilište Sjever

**Odjel za Graditeljstvo**

**Završni rad br. 338/GR/2018**

## **Usporedba karakteristika prirodnih i umjetnih toplinsko- izolacijskih materijala**

**Student**

Nikola Damiš, 1378/601

**Mentor**

Antonija Bogadi, dipl.ing.

Varaždin, rujan 2018. godine

# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za graditeljstvo		
PRISTUPNIK	Nikola Damiš	MATIČNI BROJ	1378/601
DATUM	KOLEGIJ Završni radovi i instalacije u graditeljstvu		
NASLOV RADA	Usporedba karakteristika prirodnih i umjetnih toplinskoizolacijskih materijala		

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Comperative analysis of insulation materials

MENTOR Antonija Bogadi ZVANJE predavač

ČLANOVI POVJERENSTVA

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

## Zadatak završnog rada

BROJ 338/GR2018

OPIS

Pristupnik Radu treba izložiti komparativnu analizu svojstva različitih toplinskoizolacijskih materijala po slijedećim kriterijima:

- 1) analiza životnog vijeka materijala,
- 2) postupci izvedbe, dostupnost,
- 3) cijene materijala i troškovi izvođenja i
- 4) fizikalna svojstva materijala

U obzir se trebaju uzeti najčešće korišteni prirodni i umjetni materijali u Republici Hrvatskoj:

- 1) stiropor,
- 2) kamena vuna,
- 3) slama i
- 4) ovčja vuna

ZADATAK URUČEN

17.9.2018.



## **Predgovor**

Zahvaljujem se mentorici dipl.ing. Antoniji Bogadi na mentorstvu i pomoći tijekom izrade završnog rada. Hvala i firmama Tonot d.o.o. i Fuest GmbH na stručnom savjetovanju i korisnim informacijama. Najviše zahvaljujem svojoj ženi na poticanju i podršci tokom izrade ovog rada.

## Sažetak

Cilj rada je bio usporediti umjetne i prirodne toplinsko-izolacijske materijale.

Za umjetne toplinsko-izolacijske materijale odabrani su stiropor i kamena vuna, a za prirodne materijale slama i ovčja vuna.

Usporedbom materijala se vidi koji su materijali najčešće korišteni, njihova svojstva, prednosti, mane i cijena. Zaključak na temelju usporedbe jest da su prirodni materijali jednake efikasnosti kao i umjetni materijali.

Na temelju usporedbe jednostavnija je proizvodnja i ugradnja prirodnih materijala, koeficijenti toplinske vodljivosti i koeficijenti prolaska topline zadovoljavaju uvjete kao i umjetni, te u cjelokupnom životnom vijeku ne štete okolišu. Unatoč navedenom gotovo da se i ne koriste u Hrvatskoj, zbog toga jer su ti materijali nedostupni kao finalni proizvod spreman za ugradnju, već ih korisnici trebaju samostalno proizvesti.

Ključne riječi: *toplinska izolacija, koeficijent toplinske vodljivosti, koeficijent prolaska, LCA, fizikalna svojstva materijala, topline, stiropor, mineralna vuna, ovčja vuna, slama*

## Abstract

The goal of this paper was to compare artificial and natural thermal insulation materials. For artificial thermal insulation materials styropor and rock wool were chosen, as for natural materials straw and sheep wool were chosen.

In comparison of materials it can be seen which materials are commonly used, what are their properties, as well as their cons and price. The conclusion based on this comparison is that natural materials are equally efficient as are artificial materials.

Based on comparison roduction and installation of natural materials is simpler, coefficient of thermal conductivity and of thermal transmittance satisfy demands as good as artificial materials, and in their lifespan don't harm the environment. In spite of mentioned pros they are hardly used in Croatia due to the fact that these materials are unavailable as final product ready for installation so users have to produce it on its own.

Keywords: *thermal insulation, coefficien of thermal conductivity, coefficient of thermal transmittance, LCA, physical properties of materials, styropor, mineral wool, sheep wool, straw*

## Popis korištenih kratica

<b>EPS</b>	Ekspandirani polistiren
<b>XPS</b>	Ekstrudirani polistiren
<b>LCA</b>	„Life cycle assessment“ - metoda procjene životnog vijeka (ciklusa)
<b>TI</b>	Toplinska izolacija
<b>cm</b>	centimetar
<b>m<sup>2</sup></b>	metar kvadratni
<b>m<sup>3</sup></b>	metar kubični
<b>PUR</b>	poliuretanska pjena
$\lambda$	koeficijent toplinske vodljivosti
<b>U</b>	koeficijent prolaska topline
<b>GJ</b>	gigadžul
<b>MJ</b>	megadžul
<b>KJ</b>	kilodžul
<b>J</b>	džul
<b>kg</b>	kilogram
<b>T</b>	tona

# Sadržaj

Uvod.....	1
1. Najčešće korišteni toplinsko-izolacijski materijali u Hrvatskoj .....	2
1.1. Što je analiza životnog vijeka materijala ili LCA ?.....	3
1.2. Što je utjelovljena energija materijala ? .....	3
2. Usporedba svojstva toplinsko-izolacijskih materijala .....	4
2.1. Stiropor ili EPS.....	5
2.1.1. <i>Analiza životnog vijeka materijala (LCA)</i> .....	6
2.1.2. <i>Postupci izvedbe fasade i dostupnost stiropora</i> .....	9
2.1.3. <i>Cijene materijala i troškovi izvođenja</i> .....	16
2.1.4. <i>Fizikalna svojstva stiropora</i> .....	17
2.2. Kamena vuna.....	17
2.2.1. <i>Analiza životnog vijeka materijala (LCA)</i> .....	18
2.2.2. <i>Postupci izvedbe fasade i dostupnost kamene vune</i> .....	21
2.2.3. <i>Cijene kamene vune i troškovi izvođenja</i> .....	22
2.2.4. <i>Fizikalna svojstva materijala</i> .....	23
2.3. Slama.....	23
2.3.1. <i>Analiza životnog vijeka materijala</i> .....	24
2.3.2. <i>Postupci izvedbe i dostupnost slame</i> .....	25
2.3.3. <i>Cijene slame i troškovi izvođenja</i> .....	29
2.3.4. <i>Fizikalna svojstva materijala</i> .....	29
2.4. Ovcja vuna.....	29
2.4.1. <i>Analiza životnog vijeka materijala</i> .....	30
2.4.2. <i>Postupci izvedbe i dostupnost ovčje vune</i> .....	32
2.4.3. <i>Cijene ovčje vune i troškovi izvođenja</i> .....	32
2.4.4. <i>Fizikalna svojstva materijala</i> .....	32
2.5. Pregled proučavanih svojstava toplinsko-izolacijskih materijala .....	34
3. Zaključak.....	35
4. Literatura.....	36





## Uvod

U ovom radu uspoređeni su prirodni i umjetni toplinsko-izolacijski materijali. Analiziran je životni vijek materijala, postupci izvedbe, dostupnost, cijene materijala, troškovi izvođenja i fizikalna svojstva materijala.

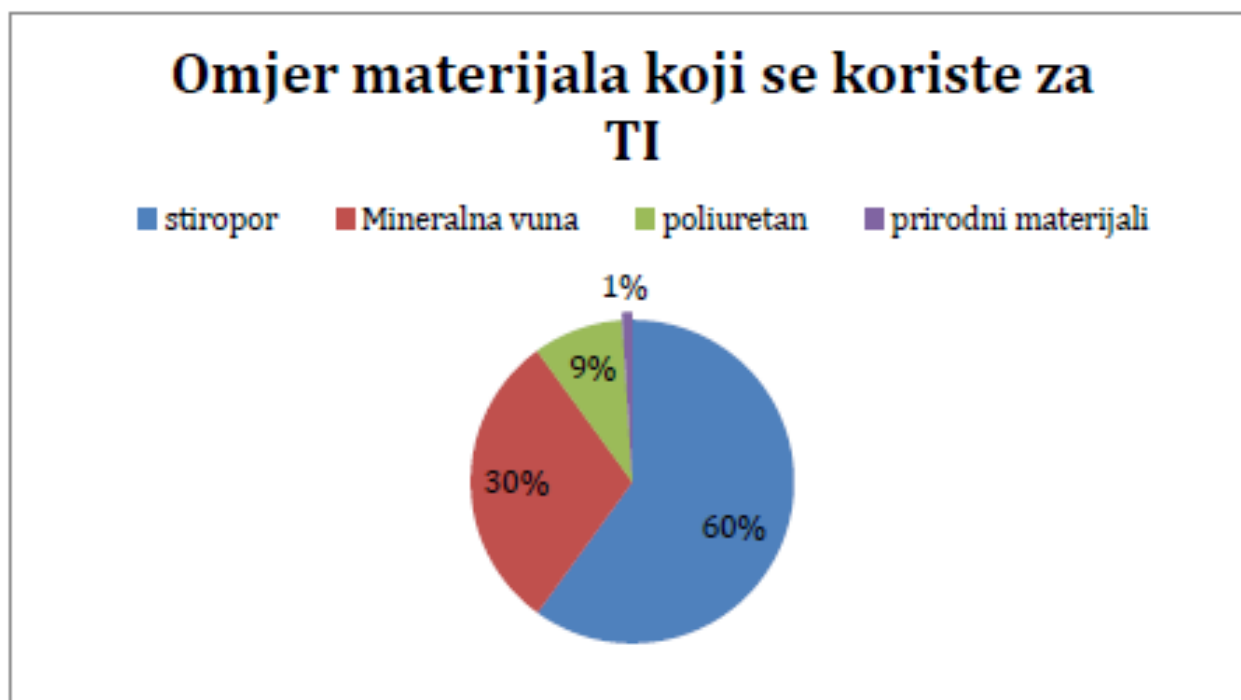
Korištena je stručna literatura koja pokriva tematiku usporedba karakteristika prirodnih i umjetnih toplinsko-izolacijskih materijala. Prilikom metode prikupljanja korišteni su podaci dobiveni u tvrtki Tonot d.o.o. te Fuest GmbH., kao i podaci iz stručnih članaka i časopisa.

Ovaj rad pod nazivom „Usporedba karakteristika prirodnih i umjetnih toplinsko-izolacijskih materijala“ podijeljen je u tri poglavlja, a počinje sa najčešće korištenim toplinsko-izolacijskim materijalima u Hrvatskoj, nastavlja se usporedbom njihovih svojstava. U ovom dijelu svaki od odabranih materijala se obrađuje kroz četiri potpoglavljaja. Opisuje se analiza životnog vijeka materijala, objašnjavaju se postupci izvedbe i istražuje se njihova dostupnost, navode se cijene materijala te troškovi izvođenja i analiziraju njihova fizikalna svojstva. Na kraju je zaključak koji daje kratak prikaz svih bitnih činjenica te popis korištene literature.

# 1. Najčešće korišteni toplinsko-izolacijski materijali u Hrvatskoj

Dobra toplinska izolacija jedan je od najvažnijih čimbenika ekološkog graditeljstva. S obzirom na energijsku krizu, gubici toplinske energije zbog loše izolacije više nisu dopustivi. Velika većina građevina izgrađenih do kraja 20. stoljeća, a dosta njih izgrađenih i početkom 21. stoljeća, nema adekvatnu toplinsku izolaciju. U Hrvatskoj su vrlo česti slučajevi u kojima obiteljske kuće nemaju čak ni dovršeno pročelje. Sustavna toplinska izolacija u našim krajevima pojavljuje se tek osamdesetih godina 20. stoljeća. No i tada se rabila samo tzv. termožbuka (žbuka s malo umrvljenog stiropora) te je to tek nagovještaj prave toplinske izolacije. Posljednjih desetak godina može se primijetiti da se pročelja građevina oblažu uglavnom stiroporom debljine 5 cm, a to je minimum određen građevinskim propisima.

Najčešće korišteni toplinski materijali su stiropor odnosno EPS (ekspandirani polistiren) i kamena vuna.[1a] U Hrvatskoj se najviše koristi EPS debljine 8 – 10 cm, zbog manje cijene u odnosu na kamenu vunu. Slama i ovčja vuna kao nusprodukti biljnog i životinjskog podrijetla imaju primjenu koja seže u prošlost naših krajeva, ali s vremenom polako dolaze u upotrebu kao toplinsko-izolacijski materijali.

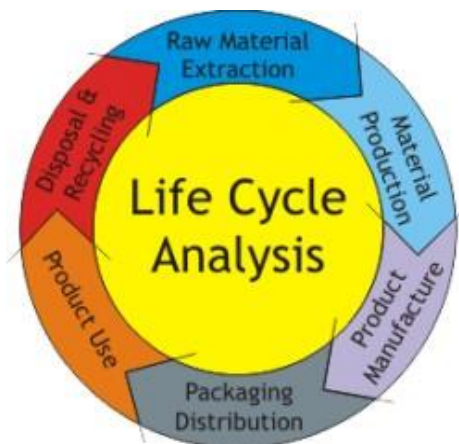


Grafikon 1. Omjer materijala koji se koristi za toplinsku izolaciju

## 1.1. Što je analiza životnog vijeka materijala ili LCA ?

Pod nazivom „life cycle assessment (LCA)“ ili „analiza životnog vijeka (ciklusa) materijala“ je najšire prihvaćena metoda u industriji. Njezina je velika prednost definirana standardizacija koja omogućuje jedinstvenu evaluaciju materijala i zgrada. LCA analizom se mjeri sveukupni utjecaj nekog proizvoda, procesa ili aktivnosti na okoliš na način da se mjeri količina korištene energije, materijala i otpada u njihovom cijelom životnom vijeku, od dobivanja i transporta sirovina, (u)gradnje, korištenja, održavanja, recikliranja i razlaganja proizvoda. Najčešće korišteni parametri u LCA analizama su:

- količina materijala - izražena u masi i (ili) volumenu
- utjelovljena energija u određenom materijalu, odnosno količina energije potrebna za vađenje, procesuiranje, proizvodnju, transport i ugradnju građevinskog materijala
- količina emitiranih stakleničkih plinova
- količina krutog otpada nakupljenog tijekom proizvodnje i gradnje
- zagađenje voda - odnos količine vode korištene u procesu proizvodnje i ugradnje materijala i količine otpadne vode. [2]



Slika 1. Analiza životnog ciklusa materijala (LCA)

## 1.2. Što je utjelovljena energija materijala ?

Utjelovljena energija u određenom proizvodu obuhvaća svu energiju potrebnu za vađenje transport i obradu sirovina te za proizvodnju građevinskih materijala, njihovo sastavljanje i ugradnju. Mjerne jedinice su GJ, MJ, KJ, J, kg, T. [2]

## 2. Usporedba svojstva toplinsko-izolacijskih materijala

Toplinsko-izolacijski materijali se dijele na umjetne i prirodne materijale. Umjetni materijali su stiropor ili EPS, stirodur ili XPS, kamena vuna, staklena vuna, a prirodni materijali su slama, ovčja vuna, pluto, celuloza, drvena vuna. U ovom radu ćemo obraditi stiropor i kamenu vunu i slamu i ovčju vunu kao toplinsko-izolacijske materijale.

Stiropor ima najveći faktor otpor prolaza vodene pare odnosno najmanju paropropusnost između odabranih materijala, koja iznosi  $\mu=30-40$ . Što je faktor otpora prolaza vodene pare veći to je paropropusnost manja što ukazuje da je veći rizik od nakupljanja vlage i nastanka neželjenih gljivica u prostoriji. Stiropor ima još jednu slabu točku, a to je vatrootpornost. Materijal se počinje taliti na temperaturi od 85 °C. Najveća prednost stiropora je cijena zbog čega je najzastupljeniji i najkorišteniji toplinsko-izolacijski materijal u Hrvatskoj. Također ga odlikuju i slaba toplinska provodljivost ( $\lambda$ ) i slabi prolaz topline (U). Koeficijent toplinske vodljivosti  $\lambda$  (W/mK) je količina topline koja prođe u jedinici vremena kroz sloj materijala površine 1 m<sup>2</sup>, debljine 1 m kod razlike temperature od 1 K.[3] Koeficijent prolaska topline U je količina topline koju građevni element gubi u 1 sekundi po 1 m<sup>2</sup> površine kod razlike temperature od 1 K, izraženo u W/m<sup>2</sup>K.[4] Znači, što je koeficijent prolaska topline manji, to je toplinska zaštita zgrade bolja. Koeficijent toplinske vodljivosti kod stiropora iznosi  $\lambda = 0,035 - 0,040$  (W/mK), dok je koeficijent prolaza topline za 10cm materijala  $U = 0,35$  (W/m<sup>2</sup>K).

Najveća prednost kamene vune je otpornost na vatru do preko 1000°C. Također ima visoku paropropusnost ( $\mu=1,2$ ) što omogućuje da zidovi kuće „dišu“ tj. ne dolazi do kondenziranja vlage i nastanka gljivica u prostorijama. Koeficijent toplinske vodljivosti kod kamene vune iznosi  $\lambda = 0,035 - 0,050$  (W/mK), dok je koeficijent prolaza topline za 10cm materijala  $U = 0,35$  (W/m<sup>2</sup>K).

Slama je vrlo jeftin prirodni materijal biljnog porijekla koji je nusproizvod u poljoprivredi, s vrlo dobrim toplinsko-izolacijskim svojstvima. Toplinska provodljivost slame iznosi  $\lambda = 0,09-0,130$  W/mK. Standardni zidovi debljine 45 cm daju vrijednost prolaska topline  $U = 0,13$  W/m<sup>2</sup>K što je do tri puta manje nego što zahtijevaju današnji građevinski propisi. Najveća mana slame je truljenje, mora se izvoditi po suhom vremenu. Paropropusnost bala slame je  $\mu=2$ , što ju stavlja među bolje paropropusne materijale.

Ovčja vuna se može usporediti s kamenom vunom zbog vrlo sličnih svojstava. Ploče od ovčje vune se također mogu rezati nožem ili pilom. Slični su i po koeficijentu toplinske vodljivosti koji iznosi  $\lambda = 0,040$  (W/mK), dok je koeficijent prolaza topline za 10cm materijala  $U = 0,35$  (W/m<sup>2</sup>K). Ovčja vuna je prirodno teško zapaljiv materijal te ima najbolju paropropusnost od

uspoređivanih materijala. Jedino što ovčjoj vuni ne ide u prilog je činjenica da je dva do tri puta skuplja od kamene vune.

TOPLINSKO IZOLACIJSKI MATERIJAL	TOPLINSKA PROVODLJIVOST (W/mK)	POTREBNA DEBLJINA (cm) ZA U=0,35 W/m <sup>2</sup> K
KAMENA VUNA	0,035 do 0,050	9 - 11
STIROPOR	0,035 do 0,040	9 - 10
EKSTRUDIRANA POLISTIRENSKA PJENA	0,030 do 0,040	8 - 10
TVRDA POLIURETANSKA PJENA	0,020 do 0,040	7 - 9
DRVENA VUNA	0,065 do 0,09	16 - 20
EKSPANDIRANI PERLIT	0,040 do 0,065	10 - 16
EKSPANIDIRANI PLUTO	0,045 do 0,055	11 - 14
OVČJA VUNA	0,040	10 - 11
SLAMA	0,090 do 0,130	20 - 35

Tablica 1. Usporedba koeficijenta prolaska topline i toplinske vodljivosti

## 2.1. Stiropor ili EPS

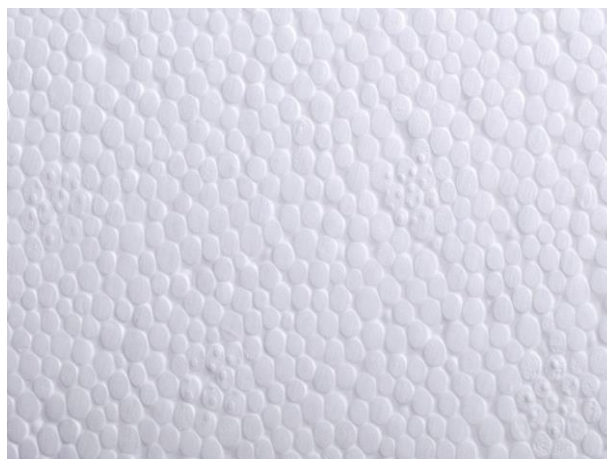
Ekspandirani polistiren ili stiropor ima dobra izolacijska svojstva, te je niske cijene i jednostavne ugradnje te je danas jedan od najpopularnijih izolacijskih materijala. Koristi se najviše kao toplinska zaštita, u svim vanjskim konstrukcijama, te kao plivajući pod u podnim međukatnim konstrukcijama. Također se često koristi za toplinsku zaštitu podrumskih zidova ekstrudirani polistiren ili XPS. [5]

Prije uvođenja vakuum postupka proizvodnje, u ispenjenim blokovima stiropora dugo se zadržavala voda i sredstvo za pjenjenje (lako hlapljivi ugljikovodik). Za primjenu u fasadnim sustavima za stabiliziranje ploča bilo je potrebno i više od 100 dana. Kod proizvođača koji proizvode stiropor vakuum postupkom iz kvalitetnih sirovina i poštuju zahtjeve tehnološkog protokola i normi, vrijeme stabilizacije značajno je skraćeno. Novom normizacijom (standardima) nije određeno koliko bi nakon proizvodnje stiropor trebao odležati prije ugradnje u fasadne sustava niti za druge primjene.[6]

Stiropor se proizvodi iz malih granula polistirena koje su nalik šećeru, a najvažnije je da u sebi sadrže 6-8 % pentana. Sirovina polistiren se dobiva kao jedan od proizvoda tokom prerade nafte i kao takav se isporučuje proizvođačima stiropora. [7]



Slika 2. Različite debljine stiropora



Slika 3. Struktura stiropora

### 2.1.1. Analiza životnog vijeka materijala (LCA)

#### **Proizvodnja stiropora:**

Postupak proizvodnje ekspaniranoga polistirena (EPS) provodi se na način da se kratkotrajnim grijanjem vodenom parom, predeksandiraju ekspanirajuće granule polistirena. Stijenke polistirena omekšaju, a lako hlapljivi ugljikovodik u ekspanirajućim granulama prelazi u plinovito stanje. Granule ekspaniraju povećavajući svoj volumen za 20 do 40 puta, a gustoća se smanji s oko  $600 \text{ kg/m}^3$  na  $15 \text{ kg/m}^3 - 30 \text{ kg/m}^3$  ( $40 \text{ kg/m}^3$ ).[6]

Za proizvodnju stiropora, bitno je kakve su kakvoće ekspanirajuće granule polistirena, gdje i kada su proizvedene, odnosno koliko je vremena prošlo od njihove proizvodnje do ekspaniranja. Da bi se uštedjelo često se granule polistirena brodskim transportom prevoze na velike udaljenosti, što dugo traje. Posebice u tropskom pojasu radi velikih vrućina postoji opasnost hlapljenja ekspanirajućeg plina iz granula. Tako proizvedeni stiropor neće imati zadovoljavajuća tehnička svojstva. Također kvaliteta ovisi o tehnološkim postupkom proizvodnje.[8]

#### **Proizvodni proces**

Stiropor je jedan od najraširenijih materijala za izolaciju zbog višestrukih prednosti kao što su manja potrošnja goriva, smanjenje troškova grijanja, čišća okolina, visoka otpornost na različite vremenske uvjete, univerzalna upotrebljivost. Proizvodnja stiropora se odvija kroz 7 faza:

##### *1. Skladištenje osnovne sirovine*

Osnovna sirovina polistiren se dobavlja u kartonskim kontejnerima. Polistiren je unutar kontejnera zapakiran u PE foliju da ne bi došlo do ispuštanja pentana u okolinu.

## *2. Proizvodnja granula stiropora od ekspaniranog polistirena*

U predekspanderu granule sirovine pomoću pare ekspaniraju povećavajući svoj volumen 20-40 puta. Iz predekspandera izlaze granule stiropora (tzv. "kokice") koje su određene prostorne težine i veličine.

## *3. Skladištenje granula stiropora u silosima*

Granule stiropora zračnim cjevovodima odlaze u silose gdje se skladište daljnjih 6-24 sata radi stabilizacije.

## *4. Proizvodnja stiropor blokova*

Granule se dalje transportiraju u stroj za izradu blokova (blok forma). U stroj se ponovno uvodi vodena para stvarajući tako kompaktan materijal gustoće 12-30 kg/m<sup>3</sup>.

## *5. Skladištenje stiropor blokova (poluproizvoda)*

Nakon proizvodnje u blok formi blokovi stiropora se transportiraju u skladišta gdje moraju odležati 7-45 dana ovisno o vrsti proizvoda.

## *6. Rezanje stiropor blokova u ploče*

Nakon što su blokovi odležali transportiraju se u halu gdje se nalaze strojevi za rezanje stiropora. Stiropor se reže u ploče debljine 1-50 cm. Gotove ploče se pakiraju u pakete omotane PE folijom sa logom poduzeća.

## *7. Skladištenje gotovih proizvoda*

Gotovi proizvodi se odvoze u skladište gdje su sortirani po debljini i vrsti stiropora. Vrste stiropora koje se proizvode su označene po prostornoj težini stiropora u kg/m<sup>3</sup>, npr., 15-S gdje S označava samogasivost. [8]



Slika 4. Ekspandirane „kokice“ od EPS



Slika 5. Skladištenje osnovne sirovine EPS





Slika 6: Ekspander za ekspaniranje EPS „kokica“



Slika 7: Stroj za rezanje EPS

### **Potrošnja materijala za izvođenje fasade sa stiroporom:**

Utrošak materijala po m<sup>2</sup> ovisi o vrsti ljepila, strukturi, veličini zrna i uputama proizvođača. Svaki proizvođač u svom tehničkom listu za pojedini proizvod deklarira preporučenu potrošnju materijala.

Potrošnja materijala po m<sup>2</sup> za toplinsku izolaciju EPS-om debljine 10cm:

1. fasadni stiropor - 1 m<sup>2</sup> (2 ploče po m<sup>2</sup>)
2. fasadna mrežica za armiranje 160g - 1,1 m<sup>2</sup> (radi se preklop od 10cm)
3. pvc kutnik s mrežicom 10+15 cm - 0,5 m
4. početni cokol profil - 0,2 m
5. ljepilo za lijepljenje izolacijskih ploča – 4 - 5 kg
6. ljepilo za armiranje i zaglađivanje – 4 kg
7. grund, predpremaz, podloga - 0,2 kg
8. akrilna žbuka - 2,5 kg

### **Potrošnja vode za izvođenje fasade stiroporom:**

Za lijepljenje i armiranje fasade se potroši 5,5 – 6,5 l vode na bazi vreće od 25 kg materijala. Također veliki utjecaj na potrošnju vode ima i temperatura zraka i fasade. Ako je temperatura veća, veća je i potrošnja vode.

### **Otpad nastao proizvodnjom i ugradnjom stiropora:**

U proizvodnom procesu EPS nema otpada. Pri rezanju stiropora iz blokova u ploče ili kod završene upotrebe stiropora za pakiranje i sl., stiropor se može reciklirati na mnogo načina. Može, između ostalog, biti vraćen dijelom u novi EPS (EPS sa greškom se reciklira i ponovo stavlja u proizvodnju pod klasu B), koristiti se kao lagani agregat ili ga dodati u tlo da bi se postigla bolja prozračenost tla bez štetnih utjecaja na vodu i atmosferu. Otpadni stiropor na gradilištu se sakuplja i zbrinjava u vreće gdje čeka otpremu na recikliranje. EPS se može 100% reciklirati tako da ne ostaje nikakav otpad.[8]

### **Ekološki aspekt:**

Kemijski sastav materijala:	ORGANSKI TOPL. IZOLACIJSKI MATERIJAL
Potrošnja energije za proizvodnju na 1 m <sup>3</sup> materijala:	400kWh
Utjecaj na zemlji:	NEŠKODLJIV
Opasni materijali:	NEMA

## **2.1.2. Postupci izvedbe fasade i dostupnost stiropora**

### **Dostupnost:**

Stiropor je jedan od najčešće korištenih toplinsko-izolacijskih materijala u Hrvatskoj stoga i najdostupniji toplinsko-izolacijski materijal što pokazuje i činjenica da gotovo svaka specijalizirana trgovina za fasade i robna kuća s odjelom za graditeljstvo drže stiropor.

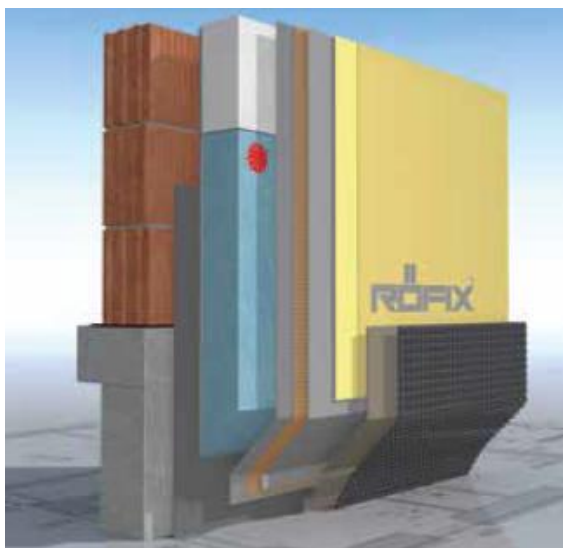
### **Priprema podloge podnožja i polaganje izolacijskih ploča za podnožja:**

Područje špricanja vode obuhvaća dio pročelja 30 cm iznad razine okolnog terena ili obloge. Isto vrijedi za lođe, balkone, nadstrešnice i sl. U tu svrhu, postavljaju se stirodur ili XPS izolacijske ploče za podnožja, koje se u pravilu postavljaju po širini. XPS je upjenjena plastika koja sadržava na milijune zatvorenih stanica u kojima je zrak i tako smanjuje prijenos topline, koristi se za toplinsku izolaciju zidova, podova i krovova. Zbog svoje veće cijene se koristi na mjestima koja zahtijevaju veću površinsku ili tlačnu čvrstoću (podovi na tlu, prohodni ravni

krovovi, fasadni cokol, kolne konstrukcije i dr.), i na mjestima koja su izložena vlazi i vodi (obrnuti krovovi, ukopani zidovi i dr.). Fasadni sustav ispod razine tla (maks. 80 cm ispod razine okolnog terena) potrebno je obraditi hidroizolacijskim materijalima (1k i 2k premazima) i zaštititi čepastom folijom. [9a]

Ukoliko se izolacijske ploče za podnožja postavljaju na način da ulaze ispod razine tla, koso se režu na donjoj strani (mjesto spoja s permimetarnom izolacijom) pod kutom od 45°, radi lakšeg izvođenja armaturnog sloja i hidro-izolacijske mase. [9b]

Izolacijske ploče za podnožje se pričvršćuju s najmanje dvije pričvrsnice (tiple ili sidra) po ploči. Pričvrsnica ne smije probiti postavljeni sustav hidroizolacije (pričvršćivanje pričvršnicom do 5 cm ispod gornjeg ruba izolacijske ploče za podnožje). Preostala površina izolacijskih ploča se samo lijepi. [9c]



Slika 8: Izvođenje podnožja

### **Priprema podloge za polaganje izolacijskih ploča:**

#### Proba brisanjem

Kako bi se utvrdila nosivost i prikladnost podloge za predviđeni mort (za lijepljenje i armiranje), podloga se mora obrisati krpom ili golom rukom. Ukoliko je podloga prašnjava, ista se mora otprašiti, odnosno trebaju se mehanički ukloniti premazi s podloge ukoliko su premazi na vapnenoj osnovi (vapneni premaz/boja) i nenosivoj podlozi, ili u slučaju da je na podlozi napravljena proba čupanjem. [9d]



Slika 9: Proba brisanjem

### Proba čupanjem

Za potrebe probe čupanjem, staklenu mrežicu pripremiti u dimenziji od oko 50x50 cm. Na podlogu nanijeti predviđeni mort za lijepljenje i armiranje, te ga gleterom nazubiti u jednom smjeru. U mort treba utisnuti staklenu mrežicu za armiranje i izravnati glatkom stranom gletera tako da dio mrežice ostane slobodan (10 cm). Ovisno o vremenskim uvjetima sušiti 5–7 dana. Nakon stvrdnjavanja, staklenu mrežicu treba očupati s probne površine na zidu. Ukoliko se samo staklena mrežica čupa iz armaturnog sloja morta, znači da je podloga dovoljno nosiva, a proba čupanjem pozitivna. Ukoliko se i staklena mrežica i armaturni sloj (čak i stara žbuka ili premazi) odvoje od zida, podloga u tom slučaju nije nosiva, i nije prikladna za direktnu obradu žbukom ili premazom. U krajnjem slučaju treba stvoriti nosivu podlogu mehaničkim ojačanjem. [9d]



Slika 10: Proba čupanjem

### **Miješanje morta za lijepljenje i polaganje izolacijskih ploča:**

Prilikom nanošenja obratiti pozornost da:

- između izolacijske ploče i podloge ne smije doći do strujanja zraka (izbjegavanje efekta dimnjaka)

- mort za lijepljenje jednoliko pritisnut na podlogu po svojoj površini (izbjegavanje efekta jastuka).

Metode nanošenja morta za lijepljenje:

Mort za lijepljenje može se nanositi ručno i/ili strojno

- metoda rubno-točkastog nanošenja – ručno
- metoda rubno-trakastog nanošenja – strojno
- metoda potpunog pokrivnog nanošenja – ručno ili strojno

*Metoda „rubno-točkastog“ nanošenja (ručno nanošenje)*

Ljepilo se po svim rubovima izolacijske ploče nanosi u trakama širine oko 5 cm i po sredini najmanje tri točke promjera 15 cm. Nakon što je ploča pritisnuta na podlogu, mora biti postignuta minimalna zahtijevana kontaktna površina od 40 %, uz uzimanje u obzir dopuštene tolerancije ravnosti podloge i maksimalne debljine sloja ljepila (oko 5–20 mm). Zahtijevana kontaktna površina mora se postići i na površini izolacijske ploče, kao i na podlozi gdje se ta ploča lijepi.

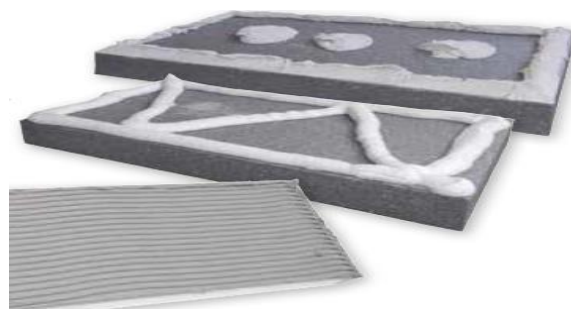
*Metoda rubno-trakastog W nanošenja (strojno nanošenje)*

Kod strojnog nanošenja umjesto točkastog po sredini, mort za lijepljenje nanosi se trakasto u obliku slova W.

*Metoda potpunog pokrovnog nanošenja*

Mort za lijepljenje se direktno nanosi zupčastim gleterom preko cijele površine izolacijske ploče. [9e]

Kod svih metoda ploče trebaju biti tijesno prijanjati jedna uz drugu. Kada ploča ne prijanja uz ploču već su fuge šire od 2 mm mora se bez lijepljenja utisnuti traka ekspaniranoga polistirena ili PU (poliuretanska) pjena i poravnati površinu s pločama. Kod izbočina na površini podloge izolacijske se ploče s unutrašnje strane moraju stanjiti. [9e]



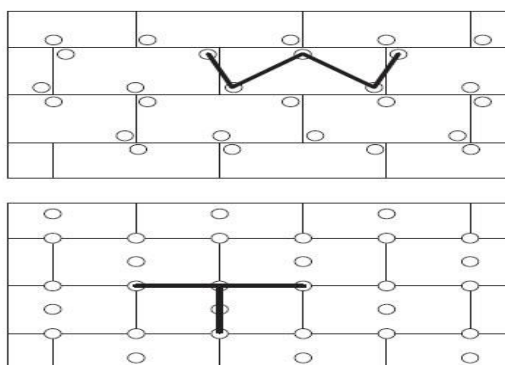
Slika 11: Metode nanašanje ljepila – a) točkasto, b) u obliku slova W, c) nanošenje po cijeloj površini

### **Vremenski utrošak lijepljenja fasade:**

Ovisi o vremenskim uvjetima mehanizaciji, materijalu i ravni podloge na koju se lijepe izolacijske ploče. Prosjek za lijepljenje fasade (grupa od 2 ljudi) je 35-40 m<sup>2</sup> u radnom danu od 8 radnih sati.

### **Pričvršćivanje fasade pričvrsnicama (tiplama ili sidrima):**

Za proračun broja pričvrsnica u obzir se ne uzima doprinos nosivosti ostalih elemenata TIS-a, odnosno smatra se da cjelokupno opterećenje vjetrom preuzimaju isključivo pričvrsnice. Broj pričvrsnica određuje se na temelju opterećenja vjetrom i nosivosti odabrane pričvrsnice na predmetnoj podlozi. Najmanji broj pričvrsnica je 6 kom/m<sup>2</sup>, a najveći 12 kom/m<sup>2</sup>. Statički proračun pričvrsnica u skladu s normom provodi ovlašteni statičar. Pričvrsnica uvijek mora prolaziti kroz sloj ljepila. Za pričvršćivanje fasade se koriste W i T sheme pričvršćivanja (tiplanja).[9f]



Slika 12: Sidrenje (tiplanje) fasade W i T shema

### **Postavljanje završnih profila:**

Završni profili se ugrađuju u armaturni sloj. Unutarnji uglovi špaleta dodatno se ojačavaju staklenom mrežicom. Na uglovima otvora prozora i vrata izvodi se dijagonalno armiranje, dijagonalnim postavljanjem traka staklene mrežice. Prije nanošenja armaturnog sloja spojevi izolacijskih ploča moraju se obrusiti. Na vanjskim rubovima ugrađuju se kutni profili s mrežicom u svježe nanese armaturni sloj.

Nakon završetka radova unutar otvora prozora i vrata s armiranim priključnim profilima za prozore, armiranja nadvoja, dijagonalnog armiranja oko otvora, i armiranja uglova može se započeti s armiranjem fasadne površine.[9g]



Slika 13. Postavljanje završnih profila

### **Armiranje fasade:**

Mort za armiranje nanosi se ručno ili strojno na prethodno pripremljenu izolaciju (neizbježne fuge između izolacijskih ploča moraju se zatvoriti istim izolacijskim materijalima ili PUR pjenom. Površina ploča mora biti ravna. Za postizanje nazivne debljine morta, svježe nanoseni mort pročešljati/nazubiti zupčastim gleterom. U svježe pročešljani mort umeće se staklena mrežica odozgo prema dolje, uz minimalni preklop od 10 cm. [9h]

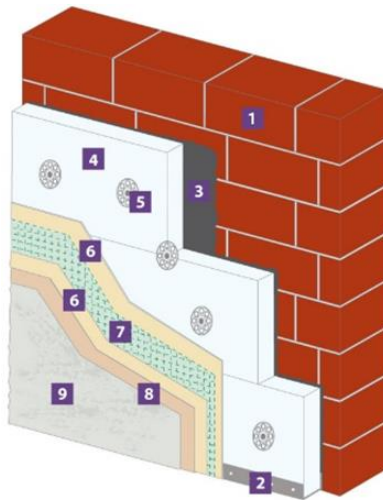
#### Ručno nanošenje

Mort za armiranje se ovisno o željenom postizanju nazivne debljine morta nazubljuje/češlja zubčastim gleterom u ravnim linijama. Potom se u svježi mort umeće staklena mrežica, koja se laganim pritiskom ravna aluminijskom letvom. Staklena mrežica mora biti prekrivena mortom za armiranje u debljini sloja od 1 mm.[9i]

#### Strojno nanošenje

Mort za armiranje se nanosi strojem za žbukanje na prethodno pripremljenu toplinsku izolaciju (30 % veća ušteda vremena u odnosu na ručni nanos). Mort za armiranje se ovisno o željenom postizanju nazivne debljine morta nazubljuje/češlja zubčastim gleterom u ravnim linijama. Staklena mrežica se utiskuje u svježe nanoseni mort ravnom stranom gletera.

Staklena mrežica se ugrađuje uz minimalni preklop od 10 cm, i laganim pritiskom izravnavajući aluminijskom letvom. Staklena mrežica se prekriva mortom u debljini od 1 mm. Završna žbuka se nanosi nakon sušenja armaturnog sloja (oko 5 dana uz standardne vremenske uvjete).[9i]



1. cigleni zid, 2. cokol profil, 3. ljepilo, 4. izolacijske ploče, 5. tiple, 6. ljepilo za armiranje, 7. fasadna mrežica, 8. impregnacija, 9. završni fasadni sloj

Slika 14: Izvođenje kompletne fasade

### Završna žbuka

Pored vizualnog uljepšavanja fasade, završna dekorativna žbuka ima i ulogu zaštite prethodno nanesenih komponenti toplinsko-izolacijskog sustava.

Za postizanje vizualne i tehničke kvalitete potrebno je:

- pridržavanje vremena sušenja armaturnog sloja
- ispravno nanošenje u sustavu ispitanog predpremaza/grunda
- zaštita fasadnih površina od vremenskih utjecaja (korištenje odgovarajućeg skelskog platna)
- stručna ugradnja
- čistoća i kvaliteta alata
- temperatura ugradnje - pri visokim temperaturama i jakim sučevim zračenjem raditi u smjeru kretanja sunca, a pri niskim temperaturama i visokom relativnom vlažnošću zraka vrijeme sušenja se produžuje
- propisno skladištenje materijala na gradilištu
- minimalna debljina završno-dekorativne žbuke zrnaste strukture je 1,5 mm, a žljebaste strukture 2 mm
- fina struktura površine – s granulacijom najvećeg zrna završne žbuke ispod 1,5 mm – postiže se višeslojnim nanošenjem minimalne debljine završne žbuke [9j]

Na tržištu je više različitih završnih fasadnih žbuka kao što su ribane, prskane, zaglađene, šerane, valjane teksture :

1. praškaste-mineralne žbuke (tu pripadaju cement, vapno, pijesak granulacije do 3 mm, pigmenti, aditivi) – POTROŠNJA: 4 – 6 kg/m<sup>2</sup> ...



2. na bazi umjetnih smola, akrilne i silikonske žbuke (organsko vezivo, mineralna punila, pigmenti, aditivi, voda), nanosi se u sloju debljine oko 2 mm – POTROŠNJA: 3 – 5 kg/m<sup>2</sup>
3. silikatna završna žbuka (kalijevo vodeno staklo, mineralna punila, pigmenti, aditivi, voda), sloj debljine 1.5 – 2 mm. – POTROŠNJA: 3 – 4 kg/m<sup>2</sup>
4. 100% akrilna fleksibilna žbuka (100%-tno akrilno vezivo, punila, aditivi), DPR, PMR, sloj debljine oko 2 mm – POTROŠNJA: 2 – 2,5 kg/m<sup>2</sup>
5. šerana zaribana mineralna žbuka veličine zrna 2 - 3 mm, isto toliko iznosi i sloj žbuke - POTROŠNJA: 5 – 6 kg/m<sup>2</sup>

Kod praškastih žbuka je bitno nanositi vlažnu žbuku na vlažnu podlogu, kako bi se postigla ravnomjerna boja i tekstura. Završna žbuka mora biti nanosena u jednom potezu od ugla do ugla površine. Praškaste se žbuke sve manje primjenjuju.

#### **Utrošak vremena izvođenja fasade**

Utrošak vremena izvođenja fasade ovisi o vremenskim uvjetima, ravnini podloge, o izolacijskom materijalu. Fasaderu je potrebno 1:10h/m<sup>2</sup> da zalijepi i armira fasadu te navuče završni sloj odnosno žbuku, uz pretpostavku da ima pripremljen materijal i instrumente.

### **2.1.3. Cijene materijala i troškovi izvođenja**

Cijene stiropora te troškovi izvođenja su navedeni za izvođenje fasade od 10cm:

- Stirodur (XPS) 10cm – 96kn/m<sup>2</sup>
- Stiropor (EPS) 10cm – 34,90 kn/m<sup>2</sup>
- Ljepilo za EPS (za lijepljenje i armiranje) - 38,50 kn/vreća od 25kg
- Mrežica 160g za armiranje – 4,15 kn/m<sup>2</sup>
- Silikatna završna žbuka od 2mm – 220 kn/kanta
- Mineralna završna žbuka od 2mm – 83,66 kn/vreća od 25kg
- Pričvrsnice ili tiple 140mm – 0,59kn/kom
- Cokl profil CP 100 400cm x 10cm – 9,20 kn/m

Troškovi izvođenja fasade od stiropora sa materijalom se kreće oko 220kn/m<sup>2</sup>.

## 2.1.4. Fizikalna svojstva stiropora

Gustoća ( $\text{kg/m}^3$ ) najviše utječe na svojstva stiropora. Proizvodi se u različitim gustoćama od  $12 \text{ kg/m}^3$  do  $30 \text{ kg/m}^3$  (čak i do  $40 \text{ kg/m}^3$ ), pa se prema gustoćama i najčešće deklarira, a temeljem HRN EN označuje se prema svim svojim svojstvima (identifikacijske oznake EPS HRN EN 13163), a najčešće prema tlačnoj čvrstoći (kPa).

- Temperatura taljenja stiropora je  $+ 85^\circ\text{C}$ .
- Toplinska provodljivost stiropora je  $\lambda = 0,035 - 0,040 \text{ (W/mK)}$ , dok je koeficijent prolaza topline za 10cm materijala  $U = 0,35 \text{ (W/m}^2\text{K)}$ .
- Paropropusnost za stiropor je  $\mu=30-40$ .

## 2.2. Kamena vuna

Kamena vuna je uvrštena među najbolje toplinske izolatore. To je izolacijski materijal mineralnog porijekla za toplinsku, zvučnu i protupožarnu izolaciju u graditeljstvu, industriji i brodogradnji. Kamena vuna ima visoku otpornost na požar, paropropusna je i djelomično vodootporna. Otporna je na starenje i raspadanje te na mikroorganizme i kukce. Koristi se u svim vanjskim konstrukcijama za toplinsku zaštitu te u pregradnim zidovima za zvučnu zaštitu. Jedino mjesto gdje se ne preporuča je za izolaciju podrumskih zidova pod zemljom.[10]



Slika 15: Ploče kamene vune

### 2.2.1. Analiza životnog vijeka materijala (LCA)

#### **Proizvodnja kamene vune:**

Kamen za proizvodnju kamene vune proizvodi se iz eruptivne stijene (diabaz) koja prema svojim kemijskim i mineraloškim svojstvima ima najmanji sadržaj štetnih elemenata (sumpor, željezo i sl.) koje je u postupku proizvodnje kamene vune potrebno smanjiti na odgovarajuću razinu. Relativno niska energija tališta dodatna je prednost. Zbog tih prirodnih svojstava stijene postiže se maksimalna iskoristivost u proizvodnji i kvaliteta kamene vune.

Kamen za proizvodnju kamene vune isporučuje se u sljedećim granulacijama:

- 4-8 mm za proizvodnju briketa
- 60-120 mm kao osnovna frakcija za proizvodnju kamene vune
- 80-170 mm kao osnovna frakcija za proizvodnju kamene vune [11]

Kao sirovine za proizvodnju kamene vune upotrebljavaju se prirodni i umjetni silikatni materijali. Od prirodnih materijala upotrebljava se kamen diabaz i dolomit, a u manjoj mjeri i bazalt, dok se od umjetnih materijala koriste tzv. briketi koji se dobivaju preradom otpada iz tehnološkog procesa uz dodatak cementa. Glavni kemijski spojevi koji ulaze u sastav navedenih sirovina su oksidi silicija, aluminijski, kalcij, magnezij i željezo. Navedene sirovine transportiraju se u kupolnu peć u kojoj se tale na temperaturi od 1500°C. Za proces taljenja sirovina kao energent se koristi koks.

Talina dobivena procesom taljenja u kupolnoj peći kontrolirano se dovodi na kotače centrifuge gdje uz pomoć visokotlačnog otpuha dolazi do njenog razvlaknivanja uz istovremeno omakanje s fenol-formaldehidnom smolom koja se koristi kao vezivo vlakana. Razvlaknjena talina pada na kosi transporter gdje dolazi do formiranja plasta koji dalje putuje u komoru za sušenje u kojoj dolazi do polimerizacije fenol-formaldehidne smole na bazi cirkulacije vrućeg zraka.

Po izlazu iz komore za sušenje plašt kamene vune se hladi u zoni za hlađenje, a nakon toga provodi se formatiranje plasta odnosno rezanje plasta po duljini i širini na zadane dimenzije. Slijedi pakiranje proizvoda koje može biti u obliku paketa ili na palete. Tako zapakirani proizvodi, ovisno o načinu pakiranja, mogu se skladištiti u zatvorenom ili otvorenom skladištu, odakle se otpremaju na gradilišta. Cijeli tehnološki proces je automatiziran i konstantno nadziran. [12]

#### **Pogon proizvodnje:**

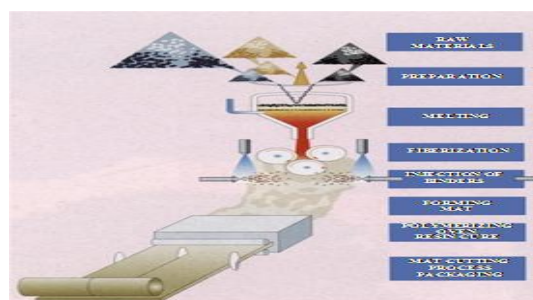
Pogon za proizvodnju mineralne vune sadrži slijedeće tehničko-tehnološke cjeline: skladište sirovina (koks, kamen i šljaka), transport sirovina do vage za odmjeravanje i uređaja za

doziranje, kupolnu peć, sistem filtracije, centrifuge, pripremu veziva, skladište goriva (mazut, nafta, plin), plamenke, kompresorsku stanicu, polikondenzacijsku komoru (PK), noževe za uzdužno i poprečno sječenje vune, sistem za ventilaciju i otprašivanje, liniju za pakiranje i transport gotovih proizvoda do skladišta.[13a]

### Proces proizvodnje:

U procesu proizvodnje mineralne vune koriste se sirovine koje su mješavina prirodnih mineralnih stijena magmatskog i sedimentnog porijekla. Osnovu čine magmatske stijene, poput bazalta, diabaza, gabro i andezita, koje u svom sastavu sadrže  $\text{SiO}_2$  i to od 40 do 52%. Sedimentne stijene kao što su krečnjak, krečnjak s primjesom dolomita ili gline, dodaju se da bi se pospješio proces topljenja. Treća komponenta je šljaka (zgura), koja nastaje kao nusproizvod u procesu proizvodnje željeza u visokim pećima. Od umjetnih materijala koriste se briketi koji se dobivaju preradom otpada iz tehnološkog procesa uz dodatak cementa, pri čemu se postiže zatvoreni proces recikliranja otpada. Kemijska spojeva koja ulaze u sastav navedenih sirovina su oksidi silicija, aluminijski, kalcij, magnezij i željezo. Sirovine (koks, kamen, šljaka i briketi) najprije se preko kosih transporterata dopremaju do silosa. Iz silosa se ove sirovine, jedna po jedna, odmjeravaju pomoću vage, a zatim automatski sipaju u posude koje su povezane s vibracijskim uređajima. Nakon toga sirovine idu na taljenje. Taljenje se odvija na temperaturi od 1300 do 1600°C. Talina iz peći se dovodi na kotače automatski vođenih centrifuga, gdje dolazi do raspršivanja mase u vidu kapljica. Pod djelovanjem visokotlačnog ventilatora kapljice se razvlače u vlakna. Iz vlakna se dobiva filc kamene vune, koji zatim ide na rezanje u ploče.

Sustav pročišćavanja dimnih plinova omogućava u velikoj mjeri uklanjanje prašine i ugljikovog monoksida, a značajan dio energije se vraća natrag u proces proizvodnje. [13b]



Slika 16: Proces proizvodnje kamene vune

- a) sirovine, b) priprema, c) taljenje sirovine, d) proces vezivanja vlakna e) oblikovanje ploča  
f) rezanje ploča

### **Pakiranje:**

Stroj za pakiranje radi sinkronizirano sa završnim dijelom linije za proizvodnju kamene vune. Nakon prolaska vune ispod horizontalnih noževa i poprečnih noževa, komadi vune dolaze u stroj za pakiranje preko sustava transportera. Doziranje termoskupljajuće folije, pokretanje transportera, vođenje paketa, zavarivanje folije i tretman paketa u termo komori je automatiziran. [14]

### **Skladištenje:**

Da bi se osigurale optimalne performanse proizvoda, kada se pakiranje ukloni ili otvori, proizvodi se trebaju skladištiti unutra ili se moraju pokriti da bi se zaštitili od kiše ili snijega. U prostor za skladištenje treba osigurati stabilnost nagomilanih proizvoda i preporučuje se princip „prvi uđe - prvi van“. Isporučuje se zapakirano u polietilenski film i/ili u paletama. Nema posebnih materijala ili grupe materijala koji će reagirati sa proizvodom i dovesti do opasne situacije.

Novi sustav pakiranja od strane tvrtke Rockwool, koja je smanjila veličinu paketa, ujedno i umanjila broj transporta kamene vune. Krenulo se od pretpostavke da se transportira izolacija od 8 paketa na paleti (uobičajeno pakiranje vune od 14cm), kamionom kapaciteta 28 tona. U jednoj vožnji može se transportirati 3,04 tone, odnosno 22 tradicionalne palete. Put od 526 km, kamionom za ovu vrstu transporta (Euro5), proizvede 170 kg CO<sup>2</sup>. Za usporedbu tradicionalnog i „Slim pack“ pakiranja komprimiran 50% pa se jednostavno udvostručuje količina isporučenog materijala.

Prijevoz proizvoda Euro5 kamionom u usporedbi s Euro3 smanjuje štetne emisije CO<sup>2</sup> za oko 11%. Osim uobičajene konfiguracije palete postoji i prilagođeno pakiranje palete koje dozvoljava da se na posebno velike kamione utovare dodatna 4 paketa po paleti čime se volumen kamiona u potpunosti koristi. U ovom slučaju procjenjuje se smanjenje štetnih emisija od oko 40% CO<sup>2</sup>. [15]

### **Potrošnja materijala za ugradnju kamene vune na fasadu:**

Utrošak materijala po m<sup>2</sup> ovisi o vrsti ljepila, strukturi, veličini zrna i uputama proizvođača. Svaki proizvođač u svom tehničkom listu za pojedini proizvod deklarira preporučenu potrošnju materijala.

Potrošnja materijala po m<sup>2</sup> za toplinsku izolaciju EPS-om debljine 10cm:

1. kamena vuna - 1 m<sup>2</sup> (2 ploče su 1m<sup>2</sup>)
2. fasadna mrežica za armiranje 160g - 1,1 m<sup>2</sup> (radi se preklop od 10cm)
3. pvc kutnik s mrežicom 10+15 cm - 0,5 m

4. početni cokol profil - 0,2m
5. ljepilo za lijepljenje izolacijskih ploča – 4 - 5 kg
6. ljepilo za armiranje i zaglađivanje – 4 kg
7. grund, predpremaz, podloga - 0,2 kg
8. akrilna žbuka - 2,5 kg

#### **Potrošnja vode:**

Za lijepljenje i armiranje fasade se potroši 5,5 – 6,5 l vode na bazi vreće od 25 kg materijala. Također veliki utjecaj na potrošnju vode ima i temperatura zraka i fasade. Ako je temperatura veća, veća je i potrošnja vode.

#### **Otpad nastao proizvodnjom i ugradnjom:**

Proizvodi od kamene vune se u većoj mjeri recikliraju. Otpadni materijal koji nastaje pri preuređivanju i rušenju, kao i odrezani ostaci se pretvara u novu izolaciju. U prosjeku, 75 % ostataka od kamene vune iz same proizvodnje se reciklira. Cilj je povećati tu brojku u budućnosti. [16]

Otpad kamene vune na gradilištu se sakuplja u to predviđene vreće i šalje na reciklažu i zbrinjavanje.

#### **Ekološki aspekt:**

Otpadni plinovi koji nastaju u proizvodnji prolaze kroz biološko postrojenje za pročišćavanje. Tim se postupkom ne stvaraju nikakve otpadne vode koje bi trebalo uklanjati. Pročišćena voda cirkulira u zatvorenom krugu (80.000 m<sup>3</sup>) te se u postrojenju za pročišćavanje otpadnih plinova ponovo koristi za biološko pročišćavanje zraka. Gubici uslijed isparavanja zamjenjuju se svježom vodom. Kao svježna voda koristi se dijelom spremljena kišnica, a dijelom voda iz vodovoda. Toplina odvedena iz taline i kompresora, koristi se za grijanje radnih prostora. Okrajci iz proizvodnje usitnjavaju se u mlinu i vraćaju u proizvodnju. [17] Utjelovljena energija kamene vune iznosi 22,4 (MJ/kg).

### **2.2.2. Postupci izvedbe fasade i dostupnost kamene vune**

#### **Izvođenje fasade sa kamenom vunom**

Izvođenje fasade za kamene vune se izvodi na isti način kao i za stiropor. Razlika je jedino u ljepilu odnosno mortu za lijepljenje i armiranje fasade. Postoje ljepila koja se isključivo koriste

za stiropor ili samo za kamenu vunu, također postoje i univerzalna ljepila s kojim se mogu lijepiti i armirati oba materijala. Odstupanje u vremenskom utrošku materijala za izvođenja fasade je oko 10%.



Slika 17: Postavljanje fasade od kamene vune

### **Utrošak vremena izvođenja fasade**

Ovisi o vremenskim uvjetima, ravnini podloge, o izolacijskom materijalu. Fasaderu je potrebno  $1:30 \text{ h/m}^2$  za kamenu vunu da je zalijepi i armira fasadu te da navuče završni sloj odnosno žbuku, uz pretpostavku da ima pripremljen materijal i instrumente za nanošenje žbuke.

### **Dostupnost kamene vune**

I ako je kamena vuna po traženosti drugi najupotrebljavani toplinsko-izolacijski materijal u Hrvatskoj, nije prepoznata u toj mjeri kao stiropor. Ne drži je svaka trgovina koja je specijalizirana za toplinsku izolaciju. U nekim trgovinama dobavljiva je samo po narudžbi, a u nekim uopće nije što je vjerojatno zbog njene cijene koja je duplo veća od stiropora.

### **2.2.3. Cijene kamene vune i troškovi izvođenja**

Cijene kamene vune te troškovi izvođenja su navedeni za izvođenje fasade od 10cm:

- Stirodur (XPS) 10cm – 96kn/m<sup>2</sup>
- Kamena vuna 10cm – 82,77 kn/m<sup>2</sup>
- Ljepilo za kamenu vunu (za lijepljenje i armiranje) - 58,50 kn/vreća od 25kg
- Mrežica 160g za armiranje – 4,15 kn/m<sup>2</sup>
- Silikonska završna žbuka od 2mm – 250 kn/kanta
- Mineralna završna žbuka od 2mm – 83,66 kn/vreća od 25kg
- Pričvrsnice ili tiple 140mm – 0,62 kn/kom
- Krunaste podloške za pričvrsnice – 0,20 kn/kom
- Cokl profil CP 100 400cm x 10cm – 9,20 kn/m

Troškovi izvođenja fasade od kamene vune sa materijalom se kreće oko 280kn/m<sup>2</sup>

#### **2.2.4. Fizikalna svojstva materijala**

Gustoća kamene vune se kreće od 30 do 200 kg/m<sup>3</sup>, a ovisi o stupnju zbijenosti. Vlakena kamene vune mogu izdržati temperaturu iznad 1000 °C. Dok vezivo počinje hlapiti puno prije, vlakna i dalje zadržavaju svoju formu i postojanost. Upravo zbog toga kamena vuna zadržava svoju funkcionalnost toplinske vodljivosti i zaštite od požara čak i onda kada temperature, kao u slučaju požara, prelaze 900 °C. Sukladno toj činjenici, građevinski objekti izolirani kamenom vunom sigurni su od požara. [18]

Toplinska provodljivost kamene vune je  $\lambda = 0,035$  do  $0,039$  (W/mK), dok je koeficijent prolaza topline za 10cm materijala  $U = 0,35 - 0,39$  (W/m<sup>2</sup>k). Paroporopusnost kamene vune je  $\mu=1,2$ .

#### **2.3. Slama**

Pri proizvodnji žitarica nastaje slama kao vrlo vrijedan nusprodukt iznimno važan za upotrebu u graditeljstvu. Različiti oblici tradicijskoga graditeljstva rabili su slamu, najčešće u kombinaciji s glinom. Prednosti slame kao građevnog materijala su brojne. Slama ima dobru toplinsku i akustičnu izolaciju, a njezini građevni proizvodi otporni su na požar, imaju relativno dobru čvrstoću, otporni su na nametnike. Slama je vrlo jednostavna za oblikovanje te dostupna po niskoj cijeni kao sirovina.





Slika 18: Bala slame

### **2.3.1. Analiza životnog vijeka materijala**

Zanimljivo je da se zidovima od slame može vrlo lako postići kriterij pasivne kuće (1 l loživog ulja/m<sup>2</sup>), što je karakteristika vrlo dobro izolirane kuće. Zbog manjih potreba za grijanjem i hlađenjem, kuća od slame može znatno pridonijeti i smanjenju emisija stakleničkih plinova. Naime, više od 50 posto svih stakleničkih plinova nastaje u graditeljstvu i transportu vezanom uz graditeljstvo. Stoga izazov projektiranja 21. stoljeća postaje poboljšanje energijske učinkovitosti kuća.

#### **Proizvodnja slame**

Slama se proizvodi sušenjem stabljika raznih biljaka (pšenica, ječam, raž, zob, riža i dr.). Same stabljike su najčešće nusprodukt u prehrambenoj i tekstilnoj industriji. Sušenje se može odvijati prirodno (na zraku) ili ubrzano (u sušarama). Proizvodni postupak je vrlo kratak uz potrošnju vrlo malo energije (nema vrućih postupaka). Kod ugradnje rastresite slame se osušene stabljike strojno usitnjavaju i pakiraju u vreće ili direktno ugrađuju u konstrukciju. Ako se koriste bale, osušene stabljike se u njih pakiraju strojevima za baliranje. Tipizirane su dvije veličine bala i povezuju se s dva ili tri poveza od špage, žice ili plastike. U novije vrijeme se sve više koriste reciklirani materijali i drveni otpad kojim se dopunjavaju bale, a za povećanje nosivosti se proizvode predkomprimirane bale visoke gustoće (blokovi). [19]

#### **Energetska učinkovitost i emisija stakleničkih plinova**

Više od 50% stakleničkih plinova proizvodi se u građevinskoj industriji (uključujući i transport). Kada bi višak od 4 milijuna tona slame balirali te iskoristili za gradnju (na lokalnoj razini), mogli bismo izgraditi najmanje 450 000 kuća godišnje (površine oko 150m<sup>2</sup>). To je oko pola milijuna dobro izoliranih domova, izgrađenih od materijala koji, tijekom svog životnog vijeka, koristi ugljični dioksid i pretvara ga u kisik.

Smanjenjem troškova grijanja, a samim time i smanjenjem emisije ugljičnog dioksida od izgaranja fosilnih goriva, gradnja pomoću bala slame može stvarno uzrokovati smanjenje ukupne emisije stakleničkih plinova. [19]

### **2.3.2. Postupci izvedbe i dostupnost slame**

#### **Dostupnost:**

Baliranu slamu u Hrvatskoj moguće je nabaviti u OPG-u koji se bavi uzgojem pšenice.

#### **Izvođenje toplinskih zidova od slame:**

Ako se izolacija postavlja s vanjske strane zidova (što je u svakom slučaju poželjno jer se na taj način ne smanjuje prostor u kući), bale slame mogu se slagati jedna na drugu i vezati za zid. Druga je mogućnost sagraditi laganu drvenu konstrukciju koja će slamu držati u željenom položaju. Zidovi se ne ostavljaju otvorene strukture, već se ili rabićiraju i žbukaju, ili zatvaraju laganim pregradama (gipskartonske ploče, OSB ploče, raznim fasadnim oblogama i sl.). U slučaju žbukanja nije preporučljivo upotrebljavati cementnu žbuku, jer ona ima malu propusnost vodene pare pa može doći do zadržavanja vlage unutar slame, kondenzacije i truljenja. Preporučljivo je koristiti žbuke na bazi vapna ili gline. Ako se slamu želi rabiti kao izolaciju unutrašnjih zidova ili potkrovlja, onda se ona ne žbuka nego se ubacuje između slojeva lamperije, gipskartonskih ploča i sl. Postoji opasnost da se u neožbukanu slamu nasele miševi, pa se između bala slame stavlja vapno kao sredstvo koje specifičnim mirisom odbija miševe i druge glodavce. [1c]

#### **Izvođenje nosivih toplinskih zidova od slame:**

Nosivi zidovi od slame se najčešće izvode s balama koje imaju linearnu nosivost do 900 kg/m, ali se mogu raditi i od predkomprimiranih bala visoke gustoće (blokova) koje imaju linearnu nosivost i do 6.000 kg/m, pa i više. Prije slaganja zida potrebno je osigurati čvrstu podlogu (temelje) i razdvajajući sloj, najčešće hidroizolacijsku traku, da se spriječi vlaženje slame iz tla. Bale se slažu s izmaknutim priljubnicama, a poželjno je koristiti neku od metoda za dodatno povezivanje na spojevima (umetke ili poveznice od drveta, žice, plastike i dr.). [20]

#### *Popravak zidova i otvaranje dodatnih otvora na građevini:*

Svaka bala koja je izložena dugotrajnoj kiši s vjetrom (jer vjetar upuhuje vodu u jezgru slame čime vlaga dugotrajno ostaje unutar slame) ili koja stoji u vodi tijekom skladištenja, trebala bi

biti odbačena, isto se odnosi na balu koja već tvori zid koji nije zaštićen od kiše. Moguće je i popraviti mokar zid i zamijeniti ga sa svježom slamom odnosno balom.

Postupak je jednostavan i potrebna je kuka ili željezna poluga, s kojom se čupa slama i stvara se otvor kojeg kasnije zamijenimo svježom balom slame. Isto tako se rade i dodatni otvori na građevini od bala slame. [19]



Slika 19: Gradnja kuće od bala slame

### **Metode gradnje od slame:**

#### Nebraska metoda

Potječe iz SAD. Same bale preuzimaju težinu krova. Ne postoji drugi konstrukcijski okvir. Posložene su zajedno kao veliki građevni blokovi, pričvršćene na temelje i jedna za drugu ljeskovim šibama te povezane remenjem (trakama) s drvenom krovnom gredom položenom na vrhu zida. Krovni okvir povezan je s temeljem i balama ljeskovim šibama i remenjem, a krov je konstruiran na uobičajen način, položen na krovnu gredu. Prozori i vrata smješteni su unutar konstrukcijskih okvira, koji se pričvršćuju na bale kako se zid podiže. [19]

Slama tokom gradnje mora ostati suha sve do žbukanja. Otvori za vrata i prozore površinom ne smiju prelaziti 50% površine bilo kojeg zida. Maksimalna dužina „nepoduprtog“ zida je 6m. Ovo je najjednostavnija metoda, koju mogu i laici (s najosnovnijim građevinskim znanjem) provesti te sami izgraditi kuću u kojoj namjeravaju živjeti.

#### Metoda laganih konstrukcija okvira s nosećim zidom od bala:

Kod ove metode omogućeno je konstruiranje krova prije nego što su izgrađeni zidovi te se na taj način pruža zaštita od kiše, dok traje izgradnja građevine. Koristi se vrlo lagani drveni okvir

koji ne može stajati sam. On zahtijeva privremene potporne grede i/ili upotrebu pomoćnih materijala kako bi ostao stabilan prije nego namještena slama preuzme noseću ulogu.

Drveni stupovi su smješteni samo u kutovima te na objema stranama okvira prozora i vrata, a oblikovani su tako da drvena zidna greda prvog kata ili krovna greda može biti smještena u utor na njihovom vrhu nakon što je slama postavljena, omogućavajući zbijanje bala. Pritisak na zidove punjene balama slame bitan je za stabilnost. Za veću stabilnost, bale se izravno pričvršćuju letvama/motkama s vanjske strane, a motke se učvršćuju na baznu zidnu gredu kostura kuće, kad se slijeganje zidova završi. Gradi se tako da zidna greda i krov drže 100mm iznad konačne visine zida od slame tijekom njegove izgradnje, ako bi se nakon micanja potpornih greda i rekvizita pristupilo kompresijskom zbijanju slamnatog zida.

### Metoda drvenog okvira

Težina krova nošena drvenom građom, čelikom ili betonskim kosturom, bale jednostavno popunjavaju izolacijske pojaseve između stupova. Ovo je često viđeno kod arhitekata jer se strukturni koncepti oslanjaju na već poznate metode gradnje. Nema potrebe za ispitivanjem bala za nosivost krova, budući da to čini okvirni kostur. Pruža veću stabilnost za otvore građevine nego noseći zidovi od slame. Spajanjem sa čeličnim okvirom dobivamo skladišni prostor i jednaku temperaturu tokom cijele godine. Kod ove metode također se krov može konstruirati prije postavljanja slame pružajući sigurnu zaštitu od kiše. [19]

### **Vapnena žbuka**

Najučestalija žbuka za žbukanje zidova od slame je vapnena žbuka. Živo vapno je dodano vlažnom pijesku u koritu i pomiješano lopatom. Ubrzo mješavina postaje topla i oslobađa vodenu paru jer reaktivni kalcijev oksid hidratizira s vodom u pijesku. U ovoj fazi mješavina se može prosijati (pustiti kroz rešetko promjera rupa 0,625 cm, za fasadnu žbuku) jer je to lakše izvesti kada živo vapno isuši pijesak. Ovaj je proces opasan jer se živo vapno u prahu diže u zrak te može doći u oči i pluća gdje će reagirati s tjelesnim tekućinama zbog čega mješavina vrlo brzo postaje vruća, što se teško može kontrolirati.

Neprekidno se mora zgrtati i miješati, a ovisno o vlažnosti pijeska, voda se ne mora ni posebno dodavati. I ovu mješavinu treba ostaviti da zrije najmanje tri mjeseca. [19]

### **Žbukanje fasade i unutrašnjosti**

Unutrašnje i vanjske zidove od slame treba dobro podšišati, okresati do uredne i ravne površine. Sve druge stršeće neuredne snopove slame treba ukloniti.

Razlozi takvog postupka su sljedeći:

- smanjenje rizika širenja vatre po površini bala u slučaju požara prije nego je žbukanje dovršeno
- smanjenje potrebne količine žbuke smanjujući površinu strana zida od slame
- izravnavanje svih većih odstupanja ravnina površine zida

Zidna i fasadna žbuka (od gašenog vapna) mogu se kupiti pripremljene kod sve većeg broja dobavljača. Vapneni mort ili žbuka moraju do trenutka uporabe biti izmlačeni i dorađeni do guste konzistencije, dovoljno ljepljivi da se drže za naopačke okrenutu zidarsku žlicu.

Za takvu smjesu nema potrebe dodavati vodu jer to povećava opasnost od pojave pukotina prilikom sušenja, stezanja. Plastičnost žbuke se postiže upornim mlaćenjem. Prvi premaz je bogatiji vapnom radi povećanja ljepljivosti (omjer 2:1), a u sljedeća dva premaza stavljaju se kravlje ili kozje dlake ili sjeckana vlakna poput slame ili kokosovih vlakna radi armiranja žbuke. Također žbuka se mora sušiti iznutra prema van jer ne smije doći do prebrzog karboniziranja vanjskog sloja, što znači da se mora održavati vlažnom. Fasadi je potrebno dva do sedam dana prije nego što se prirodno stvrdne. Prvi sloj žbuke bi trebao biti što je moguće tanji tako da ostanu stršeći komadići slame te nakon stvrdnjavanja se može početi nanašati drugi sloj. Potrebno je zaštititi fasadu od direktnog sunca, vjetrom nošene kiše, snažnih vjetrova i mraza na nekoliko dana. To je moguće vješanjem tkanine na skele i održavanjem tkanine mokrom kako bi se stvorila vlažna atmosfera oko fasade. Žbuka se mora sabiti do te mjere da u njoj ne ostanu zračni džepići. Zaštita od mraza se provodi oko tri mjeseca stoga se mora pripaziti na godišnje dobe u kojem se počinju izvoditi radovi. Preporuča se korištenje drvenog zidarskog gletera jer sa čeličnim se pore žbuke zatvaraju čime se sprječava ulazak vlažnog zraka u fasadu. [19]



Slika 20: Žbukanje kuće od slame

### **Otpad nastao izgradnjom i dotrajalošću građevine i toplinske izolacije od slame**

Upotrebom slame kao građevnog materijala smanjuje se uporaba drugih građevnih materijala koji nepovoljno utječu na okoliš, a kad dotraje građevina, slama se može kompostirati. Slama ne predstavlja nikakvu opasnost od zagađenja okoliša već djeluje pozitivno na njega.

#### **2.3.3. Cijene slame i troškovi izvođenja**

Obzirom da je slama otpadni proizvod, prosječna cijena za jednu balu iznosi 15 kn s dostavom ili 5 kn bez dostave. Zidovi trosobne dvokatne kuće mogu se izgraditi sa 400-tinjak bala slame (koja je već sama po sebi toplinsko-izolacijski materijal) po cijeni od 6000 kn u usporedbi s troškovima materijala od 36000 kn za zid izgrađen ciglom ili blokovima (bez toplinske izolacije). S obzirom da kod gradnje sa balama slame ne treba puno znanja, moguće je samostalno izvođenje radova, što uvelike smanjuje cijenu izvođenja zidova i toplinske izolacije na minimum. [19]

#### **2.3.4. Fizikalna svojstva materijala**

Gustoća normalne bale slame iznosi do  $600 \text{ kg/m}^3$  (u rjeđim slučajevima oko  $6000 \text{ kg/m}^3$ ). Slama osigurava izuzetnu dobru izolaciju po pristupačnim cijenama. Toplinska provodljivost slame iznosi  $\lambda = 0,035-0,09 \text{ W/mK}$ . Standardni zidovi debljine 35 cm daju vrijednost prolaska topline  $U = 0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$  što je do tri puta manje nego što zahtijevaju današnji građevinski propisi. [19] Paropropusnost je  $\mu = 2$ .

### **2.4. Ovčja vuna**

U poljoprivrednim krajevima gdje je razvijeno ovčarstvo, ovčje vune ima previše. Nekada je postojao otkup vune koja se upotrebljavala za proizvodnju odjeće, no danas je taj otkup vrlo rijedak ili ga uopće nema. Tako ovčari vunu bacaju ili spaljuju. Zanimljivo je da vuna sama po sebi teško gori pa je treba polijevati benzinom da bi izgorjela. Samogasiv je materijal. Prirodna je vatrootpornost čini osobito pogodnom za toplinsku izolaciju. [1a]

Ovčja vuna ima vrlo veliku prirodnu higroskopnost. Sposobna je upiti i do 35% vode u ovisnosti o relativnoj vlažnosti okoline. Na taj način pri hladnom vremenu otpušta toplinsku energiju, dok u toplo doba vezana voda isparava i tako hladi prostor.

Kao i sve vlaknaste izolacije, zanimljiva je glodavcima za gniježđenje, pa je potrebno naći adekvatno rješenje. Razvoj insekata i gljivica sprječava se dodatkom borove soli i drugim. [20]



Slika 21: Ovčja vuna

#### **2.4.1. Analiza životnog vijeka materijala**

##### **Proizvodnja:**

Ovčja vuna se nakon strizanja ovce ispire kako bi se odvojio lanolin, suši i miješa s poliesterom za postojanost forme. Udio poliestera u konačnom materijalu je oko 15%.

U proizvodnji se za poboljšanje vatrootpornosti dodaje borova sol. Borova sol je prirodni mineral koji se dodaje za negorivost te kao insekticid i fungicid. Mogu se dodavati i drugi insekticidi i fungicidi, ali oni smanjuju ekološku komponentu.

Ovčja vuna se najčešće proizvodi u obliku filca u debljinama 50, 75 i 100 mm, u rolama širine 40 i 60 cm. Postoje i tanji filcevi koji mogu biti kaširani folijama, kao i vuna u rasutom stanju (grudicama). [1b]



Slika 22: Rola filca ovčje vune

### **Pranje ovčje vune:**

Damir Remenar je napravio i patentirao stroj za ekološko pranje ovčje vune koji ju i prerađuje u izolacijski materijal. Riječ je o korisnom, praktičnom, kvalitetnom i ekološkom proizvodu. Cilj mu je potaknuti organizirani otkup i na svjetsko tržište poslati konkurentan hrvatski proizvod. Stroj za pranje ovčje vune, koji je zaštitio, riješit će problem zagađivanja, ali i visoke cijene vune kao toplinsko-izolacijskog materijala. Standardnim načinom pranja potroši se oko 120 litara vode na kilogram vune, a rezultat je zagađena voda. [21]

S Remenarovom inovacijom troši se samo od 5 do 6 litara po kilogramu, a proces pranja potpuno je ekološki jer koristi samo vodu, a ne i kemikalije pa se i nakon pranja ostaci mogu koristiti za proizvodnju prirodnog gnojiva. Ovčja vuna kao toplinsko-izolacijski materijal u Hrvatskoj još nije prepoznat. [21]

### **Pakiranje:**

U obliku filca se polaže izrezana na malo veću mjeru od raspoloživog prostora, kako bi se bolje uglavila i zapunila, identično kao i filc od mineralne vune. Grudice vune u rasutom stanju se strojno upuhuju u zatvorenu konstrukciju. [20]

### **Ekološki aspekt**

Ovčja vuna je prirodan, obnovljiv, biorazgradiv i paropropusan materijal. Zahtijeva vrlo malo energije u proizvodnji (samo 14% u odnosu na mineralnu vunu). Dodavanje poliestera u proizvodnji se donekle umanjuje biorazgradivost. Međutim, kako se radi o samo 15% umjetnih sastojaka, to nije značajan udio. U opasne dodatke ne spada borova sol, jer je to prirodni mineral neopasan za čovjeka i okoliš. Utjelovljena energija ovčje vune je od 12 do 36,8 (MJ/kg).



Pri doticaju s plamenom izolacijski materijal se neće zapaliti nego samo otopiti i time smanjiti požar. Životni vijek takvog izolacijskog materijala je veći od 50 godina. Debljina izolacijskog materijala od prešane vune je najčešće oko 250 mm. [20]

#### **2.4.2. Postupci izvedbe i dostupnost ovčje vune**

##### **Postupci izvedbe:**

Ovčja vuna se u građevinarstvu primjenjuje isključivo za toplinsku i zvučnu izolaciju podova, unutarnjih zidova i krovova. Ugrađuje se u prostore između konstrukcije (rebara, greda i rogova), najčešće drvene.

Vunu koja je u pramenovima jednostavno se može ručno natiskati između slojeva lamperije, gips-ploča ili nekih drugih materijala. Vunu je moguće i ožbukati, ali je prije toga potrebno napraviti laganu konstrukciju od letvica na koju će se žbuka primati.

Prešanjem nastaje gust materijal koji se može rezati, krojiti po mjeri i ugrađivati na isti način kao i kamena vuna. Za završno prešanje vune u role ili bale potrebna je tehnologija, no prešanje, iako olakšava ugradnju, nije nužno. Vuna se nipošto ne smije tretirati vapnom jer dolazi do kemijske reakcije, tj. vapno "pojede" vunu. Pomoću specijalnih strojeva, vuna se prska na plohe predviđene za izolaciju. [20]

##### **Dostupnost:**

Toplinsko-izolacijski se materijal u Europi može kupiti u specijaliziranim trgovinama za ekološko graditeljstvo. No, u Hrvatskoj je materijal u tom obliku vrlo teško kupiti, a uvoz bi bio preskup. [1b]

#### **2.4.3. Cijene ovčje vune i troškovi izvođenja**

Visoka kvaliteta i prirodno porijeklo dolazi i s visokom cijenom. Ovčja vuna je 2-3 puta skuplja od mineralne vune jednake dimenzije, ali donosi i neke bitne prednosti. Cijena strižene vune je oko 1,5kn/kg. Cijena prerađene vune kao toplinsko-izolacijski materijal je oko 150kn/m<sup>2</sup>.

#### **2.4.4. Fizikalna svojstva materijala**

Toplinska provodljivost ovčje vune je  $\lambda = 0,040 \text{ W/mK}$ , dok koeficijent prolaska topline iznosi  $U = 0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Faktor otpora prolazu vodene pare je  $\mu = 1$  što ovčju vunu svrstava

među najbolje paropropusne materijale. Vuna sama po sebi teško gori pa je treba polijevati benzinom da bi izgorjela. Gustoća se kreće oko  $22 \text{ kg/m}^3$ .

## 2.5. Pregled proučavanih svojstava toplinsko-izolacijskih materijala

*TABLICA 2: Usporedba fiziklanih svojstava*

Toplinsko izolacijski materijal	Koeficijent toplinske vodljivosti $\lambda$ (W/mK)	Koeficijent prolaska topline U (W/m <sup>2</sup> K) za 10 cm materijala	Koeficijent otpora difuziji vodene pare $\mu$	Vatrootpornost	Gustoća (kg/m <sup>3</sup> )
EPS	0,035 - 0,040	0,35	30 - 40	do +85 °C	15-30
KAMENA V.	0,035 – 0,050	0,35	1,2	do + 900 °C	30 – 200
SLAMA	0,090 – 0,130	0,13 (za 45cm materijala)	2	dobra	do 600
OVČJA V.	0,040	0,35	1	vrlo dobra	22

*TABLICA 3: Usporedba LCA svojstva*

Toplinsko izolacijski materijal	Potrošnja vode	Potrošnja energije	Cijena (KN) po m <sup>2</sup> za 10cm materijala	Sirovina	Porijeklo
EPS	Vrlo male količine (koristi se vodena para)	400 kWh/m <sup>3</sup>	34,90	nafta	Umjetno
KAMENA V.	Spremnik od 80000m <sup>3</sup> (u proizvodnom procesu)	22,4 MJ /kg	82,77	kamen dolomint, dijabaz i umjetni silikatni materijali	Umjetno
SLAMA	-	-	5-15 (kom bale)	sušenje stabiljka biljaka	Prirodno
OVČJA V.	120 L (5-6 L)	12 – 36,8 MJ/kg	150	strizanje ovce	Prirodno

### 3. Zaključak

U radu su uspoređena četiri toplinsko-izolacijska materijala, dva umjetna i dva prirodna. Uspoređena su njihova fizikalna svojstva, cijene, troškovi izvođenja, postupci izvedbe i analiza životnog vijeka materijala.

Kod uspoređenih toplinsko-izolacijskih materijala je utvrđeno da stiropor je najkorišteniji materijal. Većina njegovih svojstava su zadovoljavajuća i slična ostalim uspoređenim materijalima. Njegova mana je da ima nisku otpornost na vatru i nisku paropropusnost, što povećava opasnost od kondenziranja vlage u prostoru i stvaranja gljivica.

Kao lako dostupni toplinsko-izolacijski materijal najbolje se pokazala kamena vuna jer ima vrlo dobra fizikalna svojstva, visoku otpornost na vatru, odličnu paropropusnost, zvučnu i u njoj se ne gnijezde glodavci i ostale štetočine. Mana kamene vune je štetnost za zdravlje prilikom proizvodnje i ugradnje zbog prašine koju pritom oslobađa.

Slama ima najslabiju toplinsku vodljivost, što je stavlja kao jedan od najučinkovitijih toplinsko-izolacijskih materijala. Slama je dosta podcijenjen materijal zbog pretpostavke da je lako zapaljiva, što nije točno jer u kombinaciji sa žbukom (vapnena ili glinena) je teže zapaljiva nego npr. klasična drvena kuća. Budući da je slama u balama vrlo gusto stisnuta, u njoj nema dovoljno kisika da bi se zapalila. Bale slame djeluju i kao izuzetna zvučna izolacija, čak se tonski studiji grade na ovaj način.

Ovčju vunu možemo usporediti s kamenom vunom jer imaju vrlo slična fizikalna svojstva, s time da ovčja vuna ima nešto bolju paropropusnost. Ovčja vuna je već prirodno teško zapaljiva. Jedina mana joj je što nije otporna na gniježđenje glodavaca. Također i visoka cijena ne ide u prilog, ali u Hrvatskoj je patentiran stroj za pranje vune koji bi trebao pojeftiniti proizvodnju i u konačnici sami toplinsko-izolacijski materijal. Stroj troši znatno manje vode za pranje vune (umjesto dosadašnjih 120 l/kg će trošiti 5 l/kg). To bi trebalo pojeftiniti materijal i približiti ga potrošačima

Iz svih navedenih materijala preporuka bi bila kamena vuna zbog paropropusnosti, vatrootpornosti, prolaza topline i dostupnosti. Preporuka za prirodni materijal bio bi slama tj. bale od slame, zbog fizikalnih svojstava kao što su paropropusnost te odlična zvučna izolacija, jednostavne ugradnje materijala, cijene i dostupnosti.

Iz priloženog se može zaključiti da su prirodni toplinsko-izolacijski materijali jednako efikasni kao i umjetni.

## 4. Literatura

- [1] Tanja Vrančić: Građevinar: Prirodni izolacijski materijali, br.63 Svibanj, 2011, a) str. 503, b) 504, c) 505
- [2] Stručni članak: Antonija Bogadi, UDK 620.9:721, Veleučilište u Varaždinu Utjelovljena energija i procjena ukupne energije u životnom vijeku zgrade: Studija samostojeće obiteljske kuće
- [3] <http://www.euroekodom.hr/arhitektura-doma/6-termoizolacija-doma>, preuzeto 10.9.2018.
- [4] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Koeficijent\\_prolaska\\_topline](https://hr.wikipedia.org/wiki/Koeficijent_prolaska_topline), preuzeto 10.9.2018.
- [5] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Toplinska\\_izolacija#Polistiren](https://hr.wikipedia.org/wiki/Toplinska_izolacija#Polistiren), preuzeto 10.9.2018.
- [6] Filip Prebeg: <http://www.gradimo.hr/clanak/proizvodnja-stiropora/90459>, dostupno veljača 2014; preuzeto 10.9.2018.
- [7] <http://www.gradimo.hr/stiropor-ploce>, preuzeto 10.9.2018.
- [8] Filip Prebeg: <http://www.gradimo.hr/clanak/pola-stoljeca-stiropora/24300>, dostupno srpanj 2008; preuzeto 10.9.2018.
- [9] Priručnik za RÖFIX toplinsko-izolacijske sustave, str. a) 39, b) 42, c) 43, d) 37, e) 45, f) 53, g) 62, h) 60, i) 63, j) 64
- [10] <http://www.enu.fzoeu.hr/ee-savjeti/toplinska-zastita-objekta>, preuzeto 10.9.2018
- [11] <http://www.radlovac.hr/kamena-vuna.html>, preuzeto 10.09.2018
- [12] <http://www.stabilokuce.hr/proces-proizvodnje-kamene-vune/>, preuzeto 10.9.2018
- [13] Stručni rad: Stanko P. Stankov, UDK 666.198:65, Univerzitet u Nišu: Suvremen način upravljanja procesom proizvodnje mineralne vune, str. a) 375, b) 376
- [14] S.Stankov: Procesing`11: Upravljanje mašinom za pakovanje mineralne vune, br.1, 2011.
- [15] <https://www.arhitekti-hka.hr/files/baza-proizvoda/0339/ROCKWOOL-Katalog.pdf>, preuzeto 10.9.2018.
- [16] <http://www.rockwool.hr/o-nama/prednosti-kamene-vune/recikliranje/>, preuzeto 10.9.2018.
- [17] <https://www.isover.hr/mineralna-vuna/prednosti>, preuzeto 10.9.2018.
- [18] <https://www.webgradnja.hr/specifikacije/921/svojstva-kamene-vune-rockwool/>, preuzeto 10.9.2018
- [19] B. Jones: Priručnik za gradnju kuća od bala slame, Amazon Nails 2001.
- [20] [http://www.arhiteko.hr/menu.html?http://www.arhiteko.hr/\\_slama.html](http://www.arhiteko.hr/menu.html?http://www.arhiteko.hr/_slama.html), preuzeto 10.9.2018

## Popis slika

Slika 1. Analiza životnog ciklusa materijala (LCA)

Izvor: <http://www.gradjevinarstvo.rs/tekstovi/1381/820/procena-zivotnog-ciklusa-proizvoda-lca-na-primeru-opekarskih-proizvoda>.....3

Slika 2. . Različite debljine stiropora

Izvor: <http://www.izolirka.hr/katalog-proizvoda/boje-zbuke/termoizolacija/stiropor-eps-f-10-cm-s-preklopom-178/>.....6

Slika 3. Struktura stiropora

Izvor: <https://www.termofasade.rs/stiropor-termoizolacija/> .....6

Slika 4. Ekspandirane „kokice“ od EPS

Izvor: <http://www.ariesgrad.com/default.asp?cms=GHJIHF> .....7

Slika 5. Skladištenje osnovne sirovine EPS

Izvor: <http://www.kemenovic.com/content-2/uvod>.....7

Slika 6. Ekspander za ekspaniranje EPS „kokica“

Izvor: <http://www.hr.epsblockmachine.net/eps-machine/eps-pre-expander-machine/eps-pre-expander-machine-for-lost-foam.html> .....8

Slika 7. Stroj za rezanje EPS

<http://www.jub.hr/eps/ambalazni-i-tehnicki-stiropor>.....8

Slika 8. Izvođenje podnožja

Izvor: <https://www.roefix.hr/O-nama/Aktualno/Novosti/Arhiva-2016/Savjeti-za-ugradnju-perimetarne-izolacije>.....10

Slika 9. Proba čupanjem

Izvor: <https://www.roefix.hr/>.....11

Slika 10. Proba brisanjem

Izvor: <https://www.roefix.hr/> .....11

Slika 11: Metode nanašanje ljepila – a) točkasto, b) u obliku slova W, c) nanošenje po cijeloj površini

Izvor: <https://www.roefix.hr>.....12

Slika 12: Sidrenje (tiplanje) fasade

Izvor:<http://www.gradjevinarstvo.rs/tekstovi/1152/820/poliuretanska-pu-pena-u-spreju-%E2%80%93-kompletna-termoizolacija-objekta-i-mnogo-vise>.....13

Slika 13. Postavljanje završnih profila

Izvor: osobni.....14

Slika 14: Izvođenje kompletne fasade

Izvor:<https://magnetic.hr/posebna-akcija-na-materijale-za-izradu-fasadnih-sustava/>.....15

Slika 15. Ploče kamene vune

Izvor: <http://www.bm-ritam.co.rs/katalog/vuna?page=4>.....17

Slika 16. Proces proizvodnje kamene vune

Izvor: <http://www.al.knaufinsulation.com/en/naj-e-pitanja>.....19

Slika 17. Postavljanje fasade od kamene vune

Izvor: osobni.....22

Slika 18. Bala slame

Izvor :<http://www.bolha.com/iskanje?q=slama/>.....24

Slika 19. Gradnja kuće od bala slame

Izvor: <https://2012-transformacijasvijesti.com/opcenito/kuce-od-slame>.....26

Slika 20. Žbukanje kuće od slame

Izvor: <http://www.elitemadzone.org/t322486-14-Kuce-od-slame-drugih-prirodnih-materijal>.....28

Slika 21. Ovčja vuna

Izvor: <http://www.opg-krajinovic.hr/o/domace-zivotinje/vuna-za-otkup/17628/>.....30

Slika 22: Rola filca ovčje vune

Izvor: <http://www.gradimo.hr/clanak/runska-vuna/23858>.....31

## **Popis tablica**

Tablica 1. Usporedba koeficijenata prolaska topline i toplinske vodljivosti.....	5
Tablica 2. Usporedba fizikalnih svojstava .....	34
Tablica 3. Usporedba LCA svojstava .....	34



## Popis grafikona

Grafikon 1. Omjer materijala koji se koristi za toplinsku izolaciju.....	2
--	---



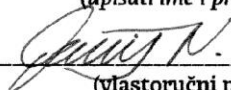


**IZJAVA O AUTORSTVU  
I  
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU**

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

Ja, NIKOLA DAMIŠ (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom USPOREDBA KARAKTERISTIKA PRIRODNIH I UMJETNIH TOPLINSKO-IZOLACIJSKIH MATERIJALA (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

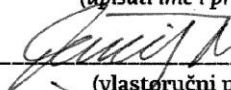
Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

  
(vlastoručni potpis)  
NIKOLA DAMIŠ

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, NIKOLA DAMIŠ (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom USPOREDBA KARAKTERISTIKA PRIRODNIH I UMJETNIH TOPLINSKO-IZOLACIJSKIH MATERIJALA (upisati naslov) čiji sam autor/ica.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

  
(vlastoručni potpis)  
NIKOLA DAMIŠ