



UNIVERZITET U BANJOJ LUCI  
ARHITEKTONSKO-GRAĐEVINSKO-GEODETSKI  
FAKULTET



**UPOTREBA RECIKLIRANOG TEKSTILNOG OTPADA KAO  
TERMOIZOLACIONOG MATERIJALA SA CILJEM  
SMANJENJA ZAGAĐENJA ŽIVOTNE SREDINE**

**MASTER RAD**

**Mentor:**

*prof. dr Petar Gvero*

*prof. dr Biljana Antunović*

**Kandidat:**

*dipl. inž. arh. Ana Jojić*

---

Banjaluka 2023. godine



UNIVERSITY OF BANJA LUKA  
FACULTY OF ARCHITECTURE, CIVIL  
ENGINEERING AND GEODESY



# **THE UTILIZATION OF RECYCLED TEXTILE WASTE AS A THERMAL INSULATION MATERIAL FOR THE PURPOSE OF MITIGATING ENVIRONMENTAL POLLUTION**

**MASTER'S THESIS**

**Mentor:**

*prof. Petar Gvero, PhD*

*prof. Biljana Antunović, PhD*

**Candidate:**

*dipl. ing. arch. Ana Jojić*

---

Banjaluka 2023.

## Informacije o mentoru i master radu

**Mentor:** prof. dr Petar Gvero, diplomirani inženjer mašinstva, Mašinski fakultet, Univerziteta u Banjoj Luci

**Komentor:** prof. dr Biljana Antunović, diplomirani fizičar, Arhitektonsko-Građevinsko-Geodetski fakultet, Univerziteta u Banjoj Luci

**Naslov:** Upotreba recikliranog tekstilnog otpada kao termoizolacionog materijala sa ciljem smanjenja zagađenja životne sredine

**Rezime:** Nakon nafte tekstilna (modna) industrija je druga u svijetu po zagađenju životne okoline. Oko 25% svjetskih hemikalija se koristi za proizvodnju tekstila, oko 10% svjetske globalne emisije CO<sub>2</sub> proizvodi tekstilnu industriju, a koristi i više vode nego bilo koja druga industrija. Godišnje se proizvede oko 92 miliona metričkih tona tekstilnog otpada, a procjenjuje se da se samo 10-30% otpada reciklira. Tekstilni otpad se može koristiti ponovnom upotrebom ili reciklažom različitim metodama u svrhu termoizolacijskih materijala. Cilj istraživanja ovog rada je analiza uticaja tekstilne industrije na zagađenje životne sredine, zatim analiza i poređenje svojstva materijala dobijenih različitim tehnikama reciklaže u odnosu na konvencionalne termoizolacione materijale sa aspekta termoizolacijskih svojstava, ali i ekoloških i ekonomskih benefita. Na primjeru tipskog objekta jednogodišnjeg stanovanja na području Republike Srpske primijenjeni su i upoređeni termoizolacioni materijali dobijeni različitim tehnikama (tehnikom direktne metode, tehnikom netkanog materijala i tehnikom kombinovanja recikliranog tekstila sa građevinskim materijalom) i odabrani, najčešće korišteni, konvencionalni termoizolacioni materijal. U drugom dijelu rada korištenjem *DEXi* programa izvršena je multikriterijska analiza između tehnika reciklaže tekstilnog materijala i konvencionalnog termoizolacionog materijala kroz ekonomsko-ekološke kriterijume. U skadu sa postavljenim uslovom da je vrijednost koeficijenta prolaza toplote za spoljašnje zidove  $U_{max} \leq 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ , rezultati su pokazali da je najbolja tehnika netkanog materijala, gdje je usvojen koeficijent toplotne provodljivosti  $\lambda=0,043 \text{ W/mK}$ , a najmanja potrebna debljina izolacije je na konkretnom tipskom individualnom stambenom objektu  $d=12 \text{ cm}$ . Prilikom poređenja tehnike netkanog materijala koja je usvojena kao najpovoljnija i konvencionalnog materijala - ekspaniranog polistirena (EPS), rezultati su pokazali da je potrebna manja debljina termoizolacionog sloja od - ekspaniranog polistirena koja iznosi ( $d=10 \text{ cm}$ ) u odnosu na debljinu termoizolacionog sloja dobijenog tehnikom netkanog materijala. Sa aspekta ekonomsko - ekoloških kriterijuma, konvencionalni termoizolacioni materijali imaju prednost u odnosu na termoizolacioni materijal od recikliranog tekstila. Zaključno, odluka o tome koja je bolja opcija zavisi o specifičnim zahtjevima projekta. Ako je održivost ključni prioritet, na osnovu svih dostupnih informacija termoizolacija od recikliranog tekstila je bolji izbor. Međutim, ako se prioriteti postavljaju na toplotnu izolaciju, otpornost na vlagu i trajnost, EPS je trenutno bolja opcija.

**Ključne riječi:** tekstilna (modna) industrija, zagađenje životne sredine, emisija CO<sub>2</sub>, termoizolacija, reciklaža tekstila, *DEXi*.

**Naučna oblast:** Arhitektura

**Naučno polje:**

**Klasifikaciona oznaka:**

**Tip odbrane licence kreativne zajednice:**

**Informations about mentor and master's thesis**

**Mentor:** prof. Petar Gvero, PhD, Mechanical engineer, Faculty of Mechanical Engineering,  
University of Banja Luka

**Co-mentor:** prof. dr Biljana Antunović, PhD, Faculty of Architecture, Civil engineering and Geodesy,  
University of Banja Luka

**Title:** The utilization of recycled textile waste as a thermal insulation material for the purpose of mitigating environmental pollution

**Abstract:** After the oil industry, the textile industry ranks second in the world in terms of environmental pollution. Approximately 25% of global chemicals are used in textile production, and the textile industry accounts for around 10% of the world's total CO<sub>2</sub> emissions while consuming more water than any other industry. The aim of this research is to analyze the impact of the textile industry on environmental pollution, as well as to analyze and compare the properties of materials obtained by different recycling techniques in terms of thermal insulation properties, as well as ecological and economic benefits compared to conventional thermal insulation materials. In the case of a typical building in the Republic of Srpska, thermal insulation materials obtained by different techniques (direct method, nonwoven fabric technique, combination of recycled textiles with building materials) were applied and compared with the commonly used conventional thermal insulation material. In the second part of the study, a multicriteria analysis using the DEXi program was conducted to evaluate the recycling techniques of textile material and conventional thermal insulation material based on economic and ecological criteria. The requirement that the heat transfer coefficient for external walls is  $U_{max} \leq 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$  was satisfied. The results showed that the best technique was the nonwoven fabric technique, with an adopted thermal conductivity coefficient  $\lambda=0,043 \text{ W/mK}$ , and the minimum required insulation thickness for typical individual building was  $d=12 \text{ cm}$ . When comparing the nonwoven fabric technique, which was adopted as the most favorable, with the conventional polystyrene insulation material for thermal insulation purposes, the results showed that a smaller thickness of the thermal insulation layer was required for polystyrene ( $d=10 \text{ cm}$ ). In terms of economic and ecological criteria, conventional thermal insulation materials have an advantage over thermal insulation materials made from recycled textiles. In conclusion, the decision on which option is better depends on specific project requirements and values. If sustainability is a key priority, based on all available information, thermal insulation from recycled textiles may be a better choice. However, if priorities are focused on thermal insulation, moisture resistance, and durability, polystyrene could currently be the better option.

**Key words:** textile industry, environmental pollution, CO<sub>2</sub> emission, thermal insulation, textile recycling, DEXi.

**Scientific area:** Architecture

**Scientific field:**

**Classification mark:**

**The type of Creative Creativity Licens:**

## SADRŽAJ

|                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. UVOD .....                                                                                                                       | 1  |
| 2. PROBLEM ISTRAŽIVANJA.....                                                                                                        | 4  |
| 2.1. Tekstilna (modna) industrija.....                                                                                              | 4  |
| 2.2. Politika Evropske unije.....                                                                                                   | 5  |
| 2.3. Ekološki trošak tekstilne industrije.....                                                                                      | 5  |
| 2.3.1. <i>Proizvodnja i promet sintetičkih i prirodnih vlakana</i> .....                                                            | 6  |
| 2.3.2. <i>Upotreba resursa i energije</i> .....                                                                                     | 8  |
| 2.3.3. <i>Zagađenje i potrošnja vode</i> .....                                                                                      | 9  |
| 2.3.4. <i>Gasovi staklene bašte</i> .....                                                                                           | 11 |
| 2.3.5. <i>Tekstilni otpad</i> .....                                                                                                 | 13 |
| 3. METODE .....                                                                                                                     | 15 |
| 3.1. Upotreba tekstilnog otpada u svrhu termoizolacijskih materijala .....                                                          | 15 |
| 3.1.1. <i>Uloga termoizolacije i koeficijenta prolaza toplote (U – vrijednost)</i> .....                                            | 15 |
| 3.1.2. <i>Ponovna upotreba ili reciklaža tekstilnog otpada u izolacione materijale</i> .....                                        | 17 |
| 3.2. Toplotne karakteristike tekstilnog otpada i konvencionalne termoizolacije .....                                                | 23 |
| 3.2.1. <i>Sintetički tekstilni otpad</i> .....                                                                                      | 23 |
| 3.2.2. <i>Otpad od prirodnih tekstilnih materijala</i> .....                                                                        | 25 |
| 3.2.3. <i>Termičke karakteristike konvencionalnog materijala</i> .....                                                              | 26 |
| 3.2.4. <i>Poređenje termičkih karakteristika recikliranog tekstilnog otpada i konvencionalnog termoizolacionog materijala</i> ..... | 26 |
| 3.2.5. <i>Otpornost tekstilnih termoizolacijskih materijala na vlagu i toplotu</i> .....                                            | 27 |
| 3.3. Poređenje termoizolacijskih svojstava materijala dobijenih na osnovu 3 tehnike reciklaže .....                                 | 28 |
| 3.3.1. <i>Opis tipskog objekta jednorodnog stanovanja</i> .....                                                                     | 28 |
| 3.3.2. <i>Proračuni debljine termoizolacionog sloja i tipovi metoda reciklaža tekstilnog materijala</i> .....                       | 29 |
| 3.4. Analiza ekonomskih i ekoloških kriterijuma izabranih termoizolacijskih materijala .....                                        | 31 |
| 4. REZULTATI.....                                                                                                                   | 35 |

|                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.1. Primjena termoizolacionog materijala na tipskom objektu dobijenog na osnovu različitih tehnika reciklaže .....                        | 35 |
| 4.1.1. <i>Primjena termoizolacionog materijala dobijenog tehnikom direktne metode</i> .....                                                | 35 |
| 4.1.2. <i>Primjena termoizolacionog materijala dobijenog tehnikom netkanog materijala</i> .....                                            | 36 |
| 4.1.3. <i>Primjena termoizolacionog materijala dobijenog tehnikom kombinovanja recikliranog tekstila sa građevinskim materijalom</i> ..... | 37 |
| 4.2. Poređenje termoizolacijskih materijala na osnovu rezultata tehnika metoda reciklaže .....                                             | 38 |
| 4.3. Termoizolacija objekta konvencionalnim materijalom .....                                                                              | 39 |
| 4.4. Poređenje termoizolacija dobijene tehnikom netkanog materijala i konvencionalnog termoizolacionog materijala .....                    | 40 |
| 4.5. Rezultati multikriterijske analize izabranih termoizolacijskih materijala na osnovu zadatih kriterijuma .....                         | 41 |
| 5. ZAKLJUČAK .....                                                                                                                         | 47 |
| LITERATURA.....                                                                                                                            | 53 |
| PRILOZI.....                                                                                                                               | 55 |
| <i>Zahvalnica i biografija</i> .....                                                                                                       | 56 |

## 1. UVOD

Industrijska revolucija je dala novu savremeniju tehnologiju, koja je učinila proces proizvodnje tekstila bržim i efikasnijim. Do kraja 20. i ranog 21. vijeka, trgovci na malo poput *H&M – a* i *Zare* uključili su ovaj brzi način proizvodnje u svoje vlastite lance snabdijevanja, proizvodeći visoku modu jeftino i brzo. Sa usponom globalizacija i rastom globalne ekonomije, lanci snabdijevanja su postali internacionalni, pomjerajući proizvodnju tekstila i odjeće u područja sa jeftinijom radnom snagom. Jedan od najvećih izazova 21. vijeka je osigurati održivost na svim nivoima energetske resursa i ekološkog konteksta. U energetske sektoru primjetna je neravnoteža između potrošnje i ograničenih resursa energije, dok u sektoru zaštite životne sredine, zabrinutost je uzrokovana brzim porastom svjetske populacije i povećanjem tendencije odlaganja tekstilnog materijala na deponiju, kao otpada prije isteka životnog vijeka proizvoda.

Tekstilna (modna) industrija je druga u svijetu koja najviše zagađuje okolinu, nakon nafte. Oko 25% svjetskih hemikalija se koristi za proizvodnju tekstila i emituje oko 10% svjetske globalne emisije CO<sub>2</sub> (Nguyen, 2021.). Tekstilna (modna) industrija koristi više vode nego bilo koja druga industrija, osim poljoprivrede. Sve to kao rezultat daje oslobađanje toksičnih hemikalija u vazduh, vodu i tlo. To se takođe odražava stvaranjem gasova sa efektom staklene bašte i iscrpljuje izvore energije, vode i fosilnih goriva.

Građevinski sektor se smatra jednim od glavnih potrošača globalne energije. Procjenjuje se da su zgrade u EU odgovorne za potrošnju do 40% energije, i za emisiju od 36% ukupnog CO<sub>2</sub> (del Mar Barbero – Barrera i dr., 2016.). Stoga, smanjenje potrošnje energije u zgradama postaje jedna od glavnih briga i izazova današnjice.

Toplotna izolacija u građevinskim materijalima može igrati vitalnu ulogu u smanjenju potrošnje energije. Korišćenje efikasnih izolacionih materijala može pomoći u uštedi energije minimizirajući gubitke tokom zimskog i dobitke toplote tokom ljetnog perioda.

Postoji više načina za smanjenje emisije CO<sub>2</sub> tokom izgradnje i renoviranja objekata. Neke od efikasnih tehnika su poboljšanje dizajna zgrada radi uštede energije, povećanje upotrebe održivih građevinskih materijala, kao što je ponovna upotreba ili reciklaža, povećanje upotrebe obnovljive energije, smanjenje potrošnje električne energije korištenjem efikasnije opreme i rasvjete.

Procjenjuje se da oko 60% proizvedenih termoizolacijskih materijala u zgradama dolazi od mineralnih ili anorganskih vlaknastih materijala (staklena i kamena vuna), 30% je od pjenastih materijala (ekspandirani polistiren, ekstrudirani polistiren, manje rasprostranjen poliuretan), a preostalih 10% su od drugih netradicionalnih ili kompozitnih materijala (izolacije od vune i drveta, itd.) (Ardente i dr., 2008.).

U današnje vrijeme raste svijest o korištenju ekološki prihvatljivih i zdravih materijala. Ovakva shvaćanja motivisala su ljude da koriste prirodne i reciklirane materijale. Zbog toga se postepeno povećava želja za korištenjem građevinskih izolacijskih materijala od bezopasnih prirodnih materijala i recikliranih proizvoda. Nekoliko od ovih materijala je već prisutno na tržištima, ali velika većina je u fazi istraživanja ili razvoja.

Naime, neki istraživači su izrazili sumnju u stvarnu održivost prirodnih vlakana, jer se tokom uzgoja sirovina koriste različiti oblici toksičnih pesticida, dok, tokom proizvodnje izolacionih materijala rade se specijalni hemijski tretmani kako bi se povećala otpornost prirodnih materijala protiv vatre, gljivica i vlage (Berardi i Iannace, 2015.). Stoga bi korištenje recikliranih vlakana, bilo prirodnih ili sintetičkih, mogla biti bolja opcija za proizvodnju održivih izolacijskih materijala. Korištenje otpadnog tekstila za toplotnu izolaciju može pomoći razvoju energetskih performansi, smanjenju potrošnje neobnovljivih resursa, smanjenju opterećenja na okolinu i poboljšanju zdravlja ljudi i drugih živih bića (Zach i dr., 2016.a).

Uz sve probleme tekstilne industrije, nameće se pitanje: koja su rješenja za smanjenje negativnog uticaja cjelokupnog procesa tekstilne industrije na životnu sredinu? U industriji postoji snažan potencijal da svaka faza proizvodnje postane održivija. Međutim, zadatak je težak jer, na primjer, naponi za smanjenje uticaja na okolinu mogu proizvesti povećanje cijena proizvoda, što direktno utiče na smanjenje profita preduzeća. Preporuke nekoliko studija uključuju pronalaženje održivijih vrsta tkanina kako bi se smanjila upotreba konvencionalnog pamuka i štetnih sintetičkih materijala, povećala energetska efikasnost i korištenje obnovljivih izvora energije u tehnološkim procesima, produžavajući vijek trajanja odjeće i poboljšavajući sortiranje i reciklažu. U tom smjeru razvijeno je nekoliko koncepata:

1. **Spora moda.** Za razliku od brze mode, spora moda je pokušaj uvjeravanja potrošača da kupuju manje odjeće boljeg kvaliteta i da je zadrže duže.
2. **Pametna i instant moda.** Pametna moda mogla bi donijeti odjeću budućnosti koja bi upotrebljavala pametne tehnologije za trenutno prilagođavanje željama potrošača, npr. promjenom boje, što bi takođe smanjilo potrebu za proizvodnjom više verzija istog odjevnog predmeta.
3. **Kružna moda, manje resursa, više održivih materijala.** Poput kružne ekonomije, uopšteno kružna moda nastoji svesti otpad na minimum i zadržati materijale u krugu potrošnje i proizvodnje što je duže moguće. Kada se odjeća više ne koristi, treba je prodati kao korištenu odjeću ili reciklirati. Da bi to bilo moguće, proizvodi bi trebali biti dizajnirani tako da imaju više životnih ciklusa, sa materijalima koji se mogu reciklirati, te su prilagođeni namjeni bezvremenskih stilova.

4. **Proširena odgovornost proizvođača i prikupljanje u trgovini.** Proizvođači i uvoznici mogu biti zakonski odgovorni za ponovno korištenje ili recikliranje polovne odjeće, pri čemu kompanija organizuju vlastite programe ili finansijski doprinose akreditovanoj kolektivno odgovornoj organizaciji.
5. **Podizanje svijesti potrošača.** Putem kampanja ili pružanja informacija o održivosti u trgovinama ili putem oznaka na odjeći može biti moguće edukovati potrošače da kupuju samo ono što im je potrebno i da biraju održivije opcije. Istraživanja pokazuju da su potrošači uopšteno za ekološki odgovornu modu, ali da se to ne odražava nužno na njihovo stvarno ponašanje.
6. **Povećana transparentnost i ekološko označavanje.** Neke kompanije već pružaju potrošačima informacije o ekološkom otisku svojih proizvoda, kao što su emisije CO<sub>2</sub> ili korištenje vode. Odabir održivije opcije mogao bi biti olakšan jasnim i standardizovanim označavanjem ekološki prihvatljivih proizvoda. EU već ima eko oznaku za tekstil i odjeću.
7. **Reciklaža tekstilnih materijala u nove proizvode.** Reciklaža tekstilnih materijala u termoizolacione materijale, kako bi se smanjila količina tekstilnog otpada, a istovremeno optimizirali toplotni gubici i dobici kroz omotač objekata.

Ciljevi istraživanja ovog rada su, prije svega, analiza uticaja tekstilne industrije na zagađenje životne sredine i emisiju gasova sa efektom staklene bašte, a zatim analiza i poređenje svojstva materijala dobijenih različitim tehnikama reciklaže tekstilnog materijala u odnosu na konvencionalne termoizolacione materijale sa aspekta termoizolacijskih svojstava, ali i ekoloških i ekonomskih benefita. Postavljene su tri hipoteze:

**Hipoteza 1:** Tekstilna (modna) industrija proizvodi velike količine tekstilnog otpada koji se može reciklirati u svrhu dobijanja termoizolacijskih materijala i na taj način značajno smanjiti zagađenje životne sredine.

**Hipoteza 2:** Korištenjem tekstilnog otpada, kao termoizolacionog materijala, različitim tehnikama reciklaže dobijaju se materijali jednakih ili boljih termoizolacijskih svojstava u odnosu na konvencionalne materijale.

**Hipoteza 3:** Sa aspekta ekonomsko – ekoloških kriterijuma termoizolacioni materijali od recikliranog tekstila imaju prednost u odnosu na eksadnirani polistiren, koji je kao jedan od konvencionalnih materijala zastupljen na domaćem tržištu.

## 2. PROBLEM ISTRAŽIVANJA

### 2.1. Tekstilna (modna) industrija

Tekstilna (modna) industrija obuhvata širok spektar proizvodnje tkanina, odjeće, tepiha, zavjesa i drugih proizvoda od tekstila. Ova industrija koristi razne vrste vlakana, uključujući prirodna vlakna (poput pamuka, vune, svile, lanenog platna) i sintetička vlakna (poput poliestera, najlona i akrila), kao i kombinacije prirodnih i sintetičkih vlakana. Proces proizvodnje uključuje pretvaranje sirovina u tkanine, bojenje i štampanje tkanina, dizajniranje i proizvodnju odjeće, tepiha i drugih proizvoda od tekstila. Ova industrija obuhvata veliki broj proizvođača širom svijeta, od malih radionica do velikih korporacija.

Tekstilna (modna) industrija je važna zbog svoje uloge u proizvodnji garderobe i drugih tekstilnih proizvoda koji su potrebni u svakodnevnoj upotrebi. Međutim, ova industrija takođe ima značajan uticaj na životnu sredinu i društvo. Procesi proizvodnje mogu biti štetni po životnu sredinu, uključujući zagađenje vode, zemlje i vazduha. Pored toga, postoje i etička pitanja u vezi sa uslovima rada u ovoj industriji, posebno u zemljama u razvoju, gdje radnici mogu biti izloženi niskim zaradama, lošim uslovima rada i drugim problemima. Jedan od poslovnih modela tekstilne industrije je brza moda (eng. *fast fashion*) koja se zasniva na kreiranju i proizvodnji aktuelne modne odjeće po vrlo pristupačnim cijenama u kratkom vremenskom roku. Ovaj poslovni model zahtijeva visoke stope potrošnje i proizvodnje. Odjeća se proizvodi brzo, tako da postoji kratak period od trenutka promocije odjevnog predmeta na modnim revijama do kupovine kopije u radnjama. U većini slučajeva, garderoba se šije od materijala nižeg kvaliteta, što između ostalog daje nekvalitetnu robu koja se istroši nakon nekoliko oblačenja, a što za posljedicu daje kupovinu nove odjeće srazmjerno istog kvaliteta. Moda se plasira na tržište kao sredstvo za izražavanje identiteta, tako da se ljudi ohrabruju da kupuju odjeću i druge dodatke kako bi izgradili sopstveni izgled. Brza moda stalno nudi nove stilove, prosječan broj kolekcija koje objavljuju evropske kompanije, godišnje se povećao sa dvije na pet u period od 2000. do 2011. godine, na primjer, *Zara* nudi 24 nove kolekcije odjeće svake godine, a *H&M* između 12 i 16 (EPRS, 2019.). To je dovelo do toga da potrošači sve više vide jeftine odjevne predmete kao “neupotrebljivu robu”, koja se baca nakon nekoliko nošenja.

## 2.2. Politika Evropske unije

Paket cirkularne ekonomije<sup>1</sup>, usvojen 2018., po prvi put zahtijeva od država članica da osiguraju da se tekstil prikuplja odvojeno. Nova Direktiva o otpadu<sup>2</sup> zahtijeva od država članica da uspostave takve šeme najkasnije do 2025. godine. Takođe, zahtijeva od Evropske komisije da do kraja 2024. razmotri da li treba uvesti i ciljeve za ponovnu upotrebu i reciklažu tekstilnog otpada. Zakonodavstvo i inicijative EU koje se direktno fokusiraju na tekstil i odjeću mogu pomoći potrošačima da donesu održivije odluke. EU je uskladila zakonodavstvo o nazivima vlakana, sadržaju vlakana u tkaninama i nazivima tekstilnih proizvoda. Trenutno obavezujuća Uredba o tekstilu<sup>3</sup> iz 2011. propisuje pravila za označavanje svih tekstilnih proizvoda, uključujući obavezu navođenja punog sastava vlakana tekstilnih proizvoda u svim fazama industrijske prerade i komercijalne distribucije, te pravila o nazivima tekstilnih vlakana. EU takođe propisuje evropske standarde<sup>4</sup> koji se odnose na tekstil i odjeću. Neki od standarda se odnose na minimalne zahtjeve performansi za određene vrste tekstilnih proizvoda i ekološke aspekte tekstilnih proizvoda. Osim toga, EU *ecolabel* program<sup>5</sup> dobrovoljnog certificiranja za odjeću i tekstil, uspostavlja ekološke kriterije koji garantuju ograničenu upotrebu tvari štetnih po zdravlje i okolinu, smanjenje zagađenja vode i zraka, kao i kriterije za produženje vijeka trajanja<sup>6</sup>.

## 2.3. Ekološki trošak tekstilne industrije

Proizvodnja i potrošnja tekstila imaju značajan uticaj na životnu sredinu, uključujući: emisiju gasova sa efektom staklene bašte, crpljenje prirodnih resursa, uništavanje zemljišta, prekomjernu potrošnju energije, upotrebu štetnih hemikalija, oslobađanje mikroplastike, uticaj na zdravlje ljudi i mnoge druge. Prema UN – ovom savezu za održivu modu, tekstilna (modna) industrija je odgovorna za 8 – 10% svjetske emisije gasova sa efektom staklene bašte i 20% zagađenja industrijskih otpadnih voda širom svijeta koje se pripisuje farbanju tekstila (EMF, 2017.).

Izvještaj *Puls of the Fashion Industry* za 2017., procjenjuje da je u 2015. godini globalna industrija tekstila i odjeće bila odgovorna za potrošnju od 79 milijardi kubnih metara vode, 1.715 miliona tona emisije CO<sub>2</sub> i 92 miliona tona otpada. Takođe, je procijenjeno da će se do 2030. godine, prema uobičajenom scenariju, ovi brojevi povećati za najmanje 50%. (GFA, 2017.).

---

<sup>1</sup> Paket cirkularne ekonomije: Četiri zakonska prijedloga o otpadu | Think Tank | Evropski parlament (europa.eu)

<sup>2</sup> EUR-Lex - 32018L0851 - EN - EUR-Lex (europa.eu)

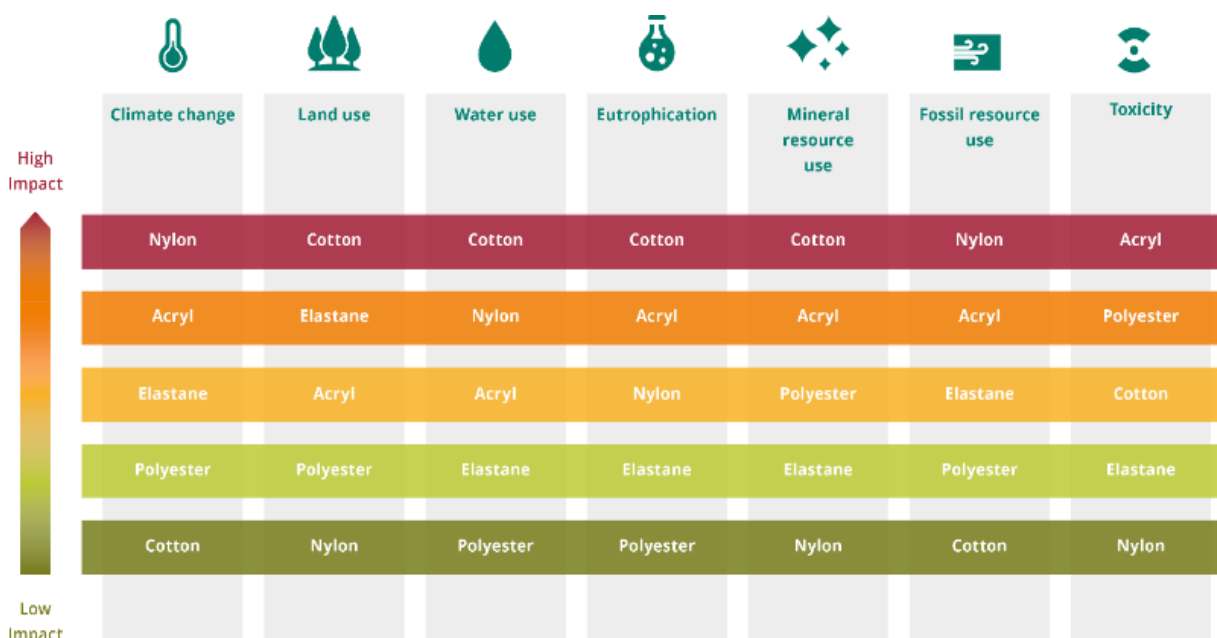
<sup>3</sup> EUR-Lex - 02011R1007-20130701 - EN - EUR-Lex (europa.eu)

<sup>4</sup> CEN - CENELEC - Search standards (cencenelec.eu) 0 Razvijeni su kroz CEN/TC 248 Evropskog komiteta za standardizaciju

<sup>5</sup> EU Ecolabel: Odjeća i tekstil / Tekstilni proizvodi (europa.eu)

<sup>6</sup> Za više, pogledajte Odluku Komisije 2014/350/EU o uspostavljanju ekoloških kriterija za dodjelu ekološke oznake EU za tekstilne proizvode i informativni list o EU eko-oznaci za tekstilne proizvode.

Prema Agenciji za zaštitu životne sredine (EPA), 17 miliona tona tekstilnog otpada nastalo je 2018. godine, od čega je samo 2,5 miliona tona reciklirano.<sup>7</sup> Odjeća ima daleko niže stope recikliranja od drugih materijala poput papira, stakla ili čak plastike. Poljoprivreda, proizvodnja, transport, marketing, prodaja, reciklaža i upravljanje otpadom, zahtijevaju ogromne količine energije i oslobađaju štetne materije u okolinu. Iz perspektive životnog ciklusa nemoguće je razlikovati dobre i loše vrste vlakana u smislu ekološkog učinka. Opterećenja na životnu sredinu se razlikuju zavisno od područja uticaja koja se uzimaju u obzir. Na njih u velikoj mjeri utiču: namjena, dizajn, proizvodni proces kao i praksa čuvanja i odlaganja. I prirodna i sintetička vlakna stvaraju opterećenje na životnu sredinu u zavisnosti od specifičnih faktora proizvodnje. Na slici 1, upoređuju se uticaji najčešćih sintetičkih vlakana i pamuka na životnu sredinu po kilogramu obojenog i tkanog materijala. Međutim, važno je imati na umu da ukupni (godišnji) uticaji takođe zavise od obima proizvodnje odgovarajućih vlakana i tkanina.



**Slika 1.** Uticaji sintetičkih i prirodnih vlakana na životnu sredinu. *Izvor: EEA and ETC/WMGE.*

Detaljnija analiza rezultata različitih uticaja vlakana na životnu sredinu je opisana u nastavku teksta.

### 2.3.1. Proizvodnja i promet sintetičkih i prirodnih vlakana

Poliester (PET) je snažno, ekonomično i najčešće korišteno sintetičko vlakno te čini više od polovine globalne proizvodnje vlakana u 2021. godini. Koristi se za mnoštvo primjena, ali odjeća čini veliki udio u njegovoj upotrebi jer je poliester jeftinija alternativa pamuku. Poliester se

<sup>7</sup> <https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/textiles-material-specific-data>

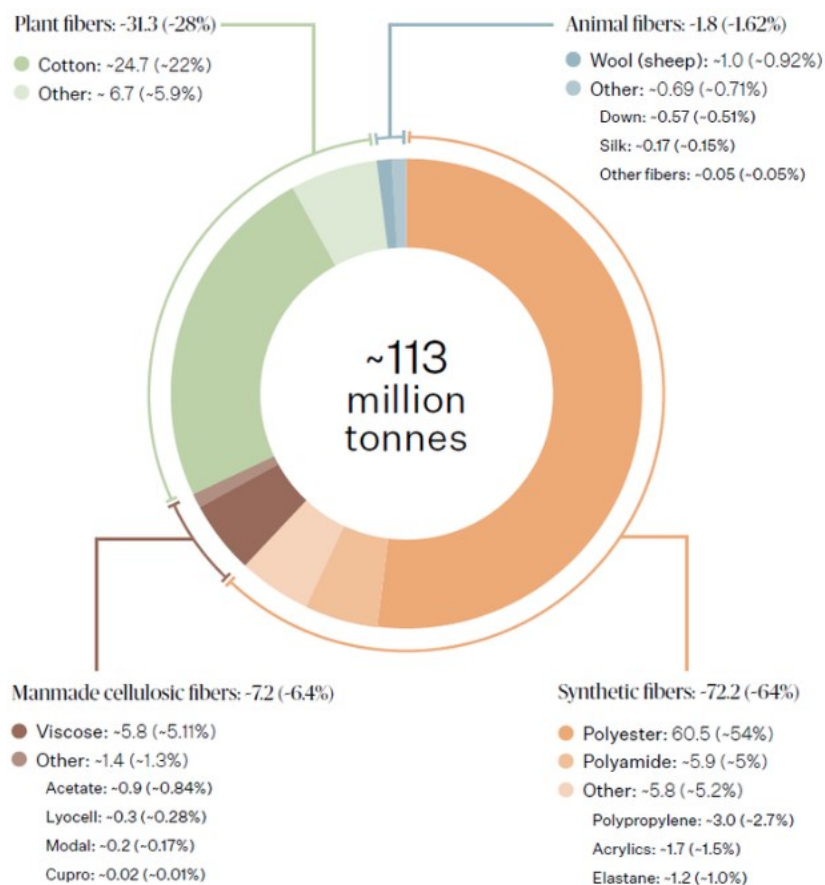
proizvodi od etilen glikola i tereftalne kiseline dobivene iz nafte. Uprkos trenutnoj popularnosti, kao tekstilno vlakno ušlo je u upotrebu tek 1970 – ih godina (Textile Exchange, 2019.). Njegova glavna prednost je što, za razliku od pamuka, ima manju upotrebu vode u proizvodnji i mora se prati na nižim temperaturama, brzo se suši i ne zahtijeva peglanje, a može se reciklirati u nova vlakna.

Sintetička vlakna bazirana na nafti zahtijevaju mnogo energije za proizvodnju, te kao posljedicu prouzrokuju iscrpljivanje fosilnih resursa, te uticaj na klimatske promjene. Uzimajući u obzir cijeli proces proizvodnje tekstila u smislu tkanja, bojenja i dorade same tkanine, postoje određene ekološke prednosti sintetičkih materijala. Poliester, na primjer, zahtijeva visoko temperaturno bojenje, ali je proces kraći sa manjom upotrebom hemikalija, u odnosu na proces bojenja pamuka (NRDC, 2012.). Prema izvještaju *Pulse of the Fashion Industry 2017.*, prirodna vlakna imaju najviše uticaja na životnu sredinu, pri čemu svila ima posebno štetan efekat na iscrpljivanje prirodnih resursa i globalno zagrijavanje, pamuk doprinosi nestašici vode, dok vuna utiče na emisiju gasova sa efektom staklene bašte. Uzgoj ovaca za vunu emituje CO<sub>2</sub> zbog disanja ovaca. Obrada vune, poput pranja, sušenja, bojenja i obrade vlakana, koristi energiju koja može proizvesti CO<sub>2</sub> emisije, posebno ako se koristi fosilno gorivo. Odlaganje neiskorištene vune može rezultirati emisijom CO<sub>2</sub> ako se spali ili završi na odlagalištima.

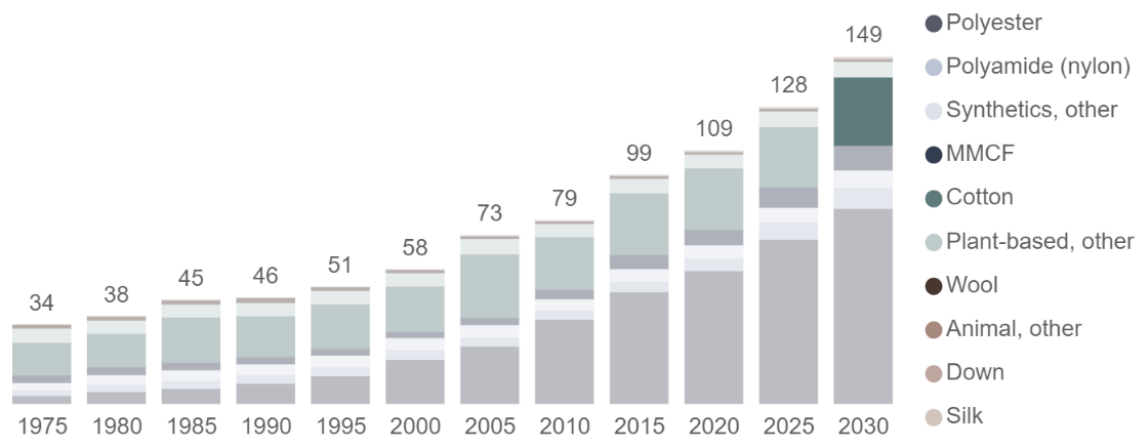
Prema izvještaju Evropskog akcionog plana za odjeću (ECAP) iz 2015. godine pamuk čini više od 43% od svih vlakana koja se koriste za odjeću na tržištu EU, smatra se posebno problematičnim jer zahtijeva ogromne količine zemlje, vode, đubriva i pesticida (ECAP, 2015.). Uticaj biopamuka na životnu sredinu se može drastično smanjiti u odnosu na konvencionalni pamuk, jer ima manju potrošnju vode i zagađenja.

Hemikalije koje se koriste prilikom uzgoja konvencionalnog pamuka su agrohemijske – herbicidi, pesticidi, insekticidi, gnojiva, itd. – od kojih se mnoge ne apsorbiraju, ali se raspršuju u zrak, tlo i vodu. Pamuk nakon kultivacije takođe prolazi kroz različite procese za stvaranje prediva pogodnih za proizvodnju tkanine, te upotrebu boje za tekstil što dodatno uzrokuje zagađenje i zahtijeva dodatnu upotrebu energije i hemikalija.

Globalna proizvodnja prirodnih i sintetičkih tekstilnih vlakana iznosila je oko 113 miliona tona u 2021. godini od kojih sintetička vlakna čine gotovo dvije trećine (slika 2) (Textile Exchange, 2023.). Tokom posljednjih 20 godina, proizvodnja sintetičkih tekstilnih vlakana se više nego udvostručila (slika 3) i očekuje se dalji rast (Textile Exchange, 2023.).



**Slika 2.** Globalna proizvodnja vlakana 2021. godine. *Izvor: Textile Exchange (2023.).*



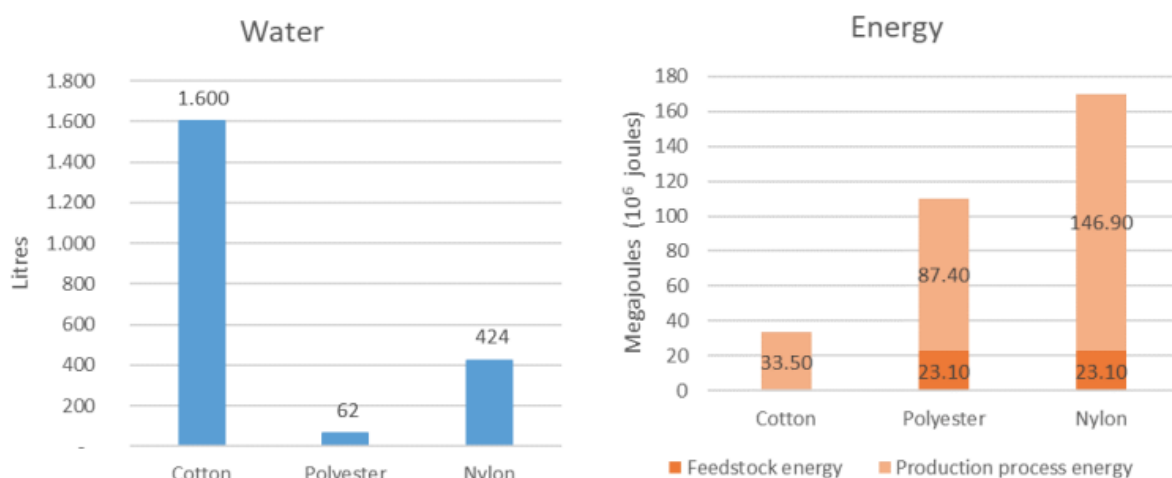
**Slika 3.** Globalna proizvodnja sintetičkog i prirodnog tekstila, 1975-2030. godina. *Izvor: Textile Exchange, (2023.).*

### 2.3.2. Upotreba resursa i energije

Kada se fokusiramo na korištenje resursa, sintetička vlakna su obično povezana s velikim uticajima na životnu sredinu jer potiču iz fosilnih resursa. Procjenjuje se da je za proizvodnju plastičnih vlakana za tekstil godišnje potrebno 342.000000 barela ili više od 54.000000000 litara nafte, to je ekvivalent više od 21.000 olimpijskih bazena prepunih ulja (EMF, 2017.). Nadalje, kako su

sintetička vlakna u potpunosti izrađena od strane čovjeka, njihova proizvodnja zahtijeva značajne količine energije. Za proizvodnju poliesterskih vlakana potrebno je dva do tri puta više energije, a za najlon više od četiri puta u odnosu za proizvodnju iste količine pamuka. Sa druge strane, samo ograničene količine vode, osim pesticida i gnojiva, koriste se u proizvodnji sintetičkih vlakana.

Potreba za vodom za proizvodnju pamučnih vlakana (slika 4) uveliko zavisi o sušnosti regije i specifičnom mjestu na kojem se uzgajaju usjevi, te na osnovu globalnog prosjeka potrebno je oko 26 puta više vode za proizvodnju pamuka u odnosu na istu količinu poliestera i oko četiri puta više vode u odnosu na najlon (Sandin i dr., 2019.).



**Slika 4.** Potrošnja vode i energije za proizvodnju 1 kg tekstila. *Izvor: Sandin i dr., (2019).*

Nakon procesa uzgoja i proizvodnje tekstilnih vlakana, te kreiranja odjevnih predmeta, neophodan je njihov transport brodovima ili avionima do konačnog odredišta matičnih kompanija koje se uglavnom nalaze u Evropi i USA, a sve to kao posljedicu daje ogroman utrošak goriva i emisiju štetnih gasova. Sve navedene aktivnosti u procesu uzgoja, proizvodnje, transporta i upotrebe odjevnih predmeta zahtijevaju velike količine potrošnje energije i prirodnih resursa.

### 2.3.3. Zagađenje i potrošnja vode

Tekstilna (modna) industrija je druga najveća potrošačka industrija vode. Za proizvodnju obične pamučne majice potrebno je oko 2,700 litara vode (The Conscious Challenge, 2019.) i za farmerke oko 7,570 litara vode (UNEP, 2018.). Ove brojke su alarmantne ako se uzme u obzir da su vodni resursi na Zemlji pri kraju i da se smatra da će potrošnja gotove odjeće porasti za 63% do 2030. godine (The Conscious Challenge, 2019.). Prekomjerna upotreba vode nije samo loša za okolinu već i doprinosi nedostatku vode u lokalnim zajednicama.

Veliki problem predstavljaju hemijski dodaci koji se koriste u svim fazama proizvodnje vlakana i tekstila, širom svijeta jer više od 10.000 različitih boja i pigmenata se koriste samo u tekstilnoj i štamparskoj industriji (slika 5), pri čemu se većina koristi kao završni tretman za vodootpornost, odbijanje mrlja, protivpožarna svojstva kao i antistatička svojstva. Važno je prepoznati da skoro svi tekstili, uključujući i one od prirodnih vlakana, kao što su pamuk i vuna, se mogu smatrati sintetičkim zbog količine hemikalija koja se upotrebljava za završnu obradu.



**Slika 5.** Zagađenje vode prouzrokovano farbanjem tekstila. Izvor: <https://www.planetcustodian.com/dyeing-industry-polluting-asian-rivers/15641/>

Oko 70% boja koje se koriste u tekstilnoj industriji su azo<sup>8</sup> boje koje su isplative i jednostavne za upotrebu. Da bi boje bile korisne, moraju imati visok stepen hemijske stabilnosti. Obojeni tekstil se teško razgrađuje i takođe predstavlja veliki ekološki problem zbog ispuštanja industrijskih otpadnih voda prilikom proizvodnje (Ciullini et al., 2012.).

Pored zagađenja hemikalijama, prisutno je i zagađenje vode mikroplastikom (slika 6). Zagađenje okeana plastikom je globalni problem koji privlači veliku pažnju jer se slike morskih obala prekrivenih plastičnim otpadom redovno pojavljuju u medijima. Oko 82% morskog otpada makro veličine je plastika, a 1% je identifikovan kao tekstil ili tkanina. Međutim, procenjuje se da je samo oko 6% ukupne mase plastike koja ulazi u okeane zapravo vidljivo (Sherrington, 2016.). Mikroplastika se izbacuje iz sintetičkog tekstila tokom čitavog životnog ciklusa: od proizvodnje vlakana i tkanina, preko upotrebe i pranja, do konačnog odlaganja bilo spaljivanjem ili reciklažom. Iako su otkrivene i velike količine prirodnih polimernih vlakana poput celuloze i vlakana

---

<sup>8</sup> Azo boje se najčešće koriste u tekstilnoj proizvodnji. Najviše su koncentrisane u crnoj i smeđoj boji i sadrže koncentracije p-fenilendiamina (PPD), hemikalije koja može uzrokovati kožne alergije i dermatitis. Neke boje koriste pigmente koji sadrže živu koja može biti štetna za kožu i oštetiti organe.

životinjskog porijekla, procjenjuje se da između 0,2 i 0,5 miliona tona mikroplastike vlakna iz tekstila ulazi u morsko okruženje svake godine (EMF, 2017.).



**Slika 6.** Zagađenje vode. Izvor: [https://bpb-us-w2.wpmucdn.com/blog.nus.edu.sg/dist/1/13946/files/2020/09/fashion\\_pollution\\_tcp\\_blog.jpg](https://bpb-us-w2.wpmucdn.com/blog.nus.edu.sg/dist/1/13946/files/2020/09/fashion_pollution_tcp_blog.jpg)

Pranje u domaćinstvu tokom upotrebe tekstila smatra se relativno velikim izvorom mikroplastike koja odlazi u okolinu. Procjenjuje se da jedan ciklus pranja sa sintetičkim tekstilom može emitovati između 700.000 i 6.000.000 mikroplastičnih vlakana, što predstavlja do 0,5% ukupne mase proizvoda. Na taj način pranje sintetičkog tekstila može činiti i do 35% ukupnog godišnjeg ispuštanja mikroplastike (OECD, 2020.). Važno je napomenuti da se mikroplastika takođe može ispustiti u zrak. Na primjer, do 65% mikroplastike može se emitovati u zračno okruženje tokom sušenja i nošenja odjevnih predmeta (OECD, 2020.).

Zbog ogromne količine ispuštanja mikroplastike, industrija trenutno eksperimentiše sa biobaziranim poliesterom (takođe poznat kao biosintetika), napravljenim barem dijelom od obnovljivih izvora kao što su škrobovi i lipidi iz ulja kukuruza, šećerne trske, repe ili biljnih ulja. Veliki je izazov pronaći sirovine koje nisu konkurencija proizvodnji hrane i koje ne zahtijevaju velike količine vode i pesticida.

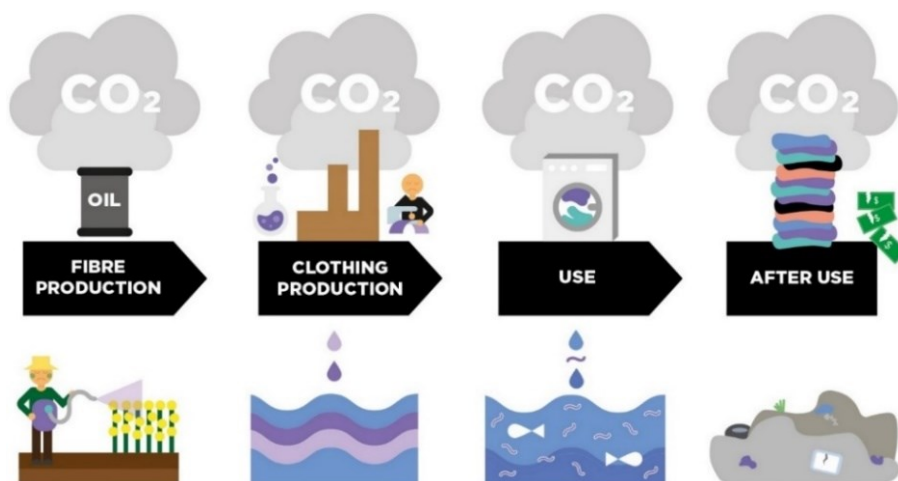
#### *2.3.4. Gasovi staklene bašte*

Tekstilna (modna) industrija je glavni faktor koji doprinosi klimatskim promjenama. U 2018. bila je odgovorna za 2,1 milijardu metričkih tona<sup>9</sup> [mt] emisija plinova sa efektom staklene bašte.

---

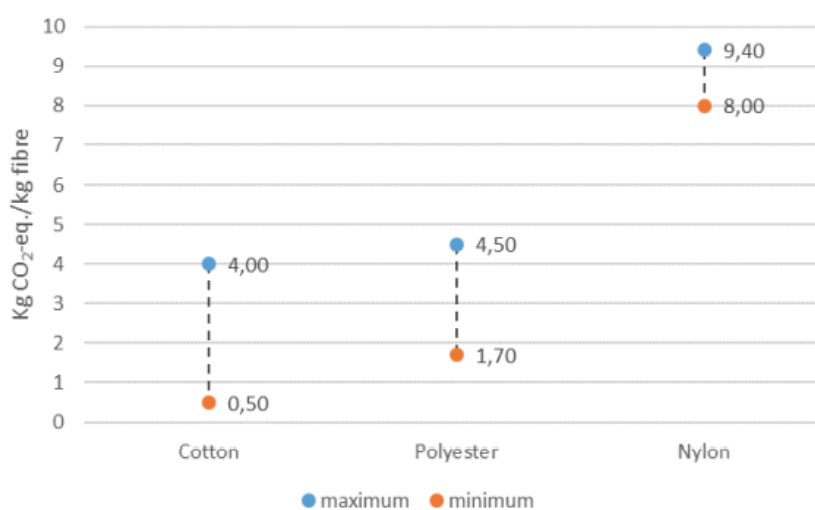
<sup>9</sup> mt\_ Metrička tona uzima se kao masa od 1000 kilograma.

Industrija odjeće takođe čini 10% globalnih emisija CO<sub>2</sub>. Brza moda ubrzava ove emisije jer proizvodnja i čest transport stvaraju još više stakleničkih plinova. Sintetičke tkanine zahtijevaju velike količine energije za proizvodnju svojih sirovina kao i za procese završne faze obrade, šivenja, bojenja, tkanja te samim tim značajno doprinose emisiji gasova staklene bašte (slika 7).

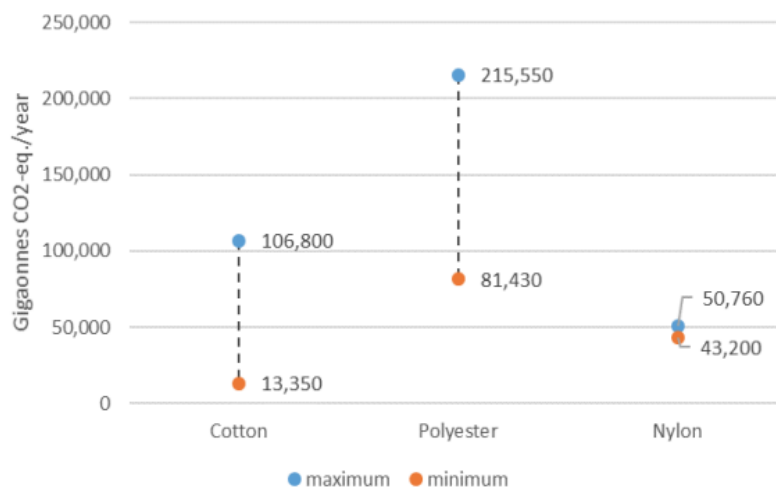


**Slika 7.** Emisija CO<sub>2</sub> tokom procesa proizvodnje i korištenja odjeće. *Izvor: <https://tradle.ca/blogs/news/a-sustainable-future-for-fashion>*

Slika 8 prikazuje emisije CO<sub>2</sub> koje se odnose na proizvodnju različitih vrsta vlakana po 1 kg dok slika 9 ilustruje emisije za globalne godišnje količine proizvodnje. Različiti izvori pokazuju značajne varijacije u procjenama klimatskih promjena, brojke pokazuju i minimum i maksimum prema Sandin i dr., (2019.).



**Slika 8.** Emisija gasova sa efektom staklene bašte po kilogramu proizvedenog tekstila. *Izvor: Sandin i dr., 2019.*



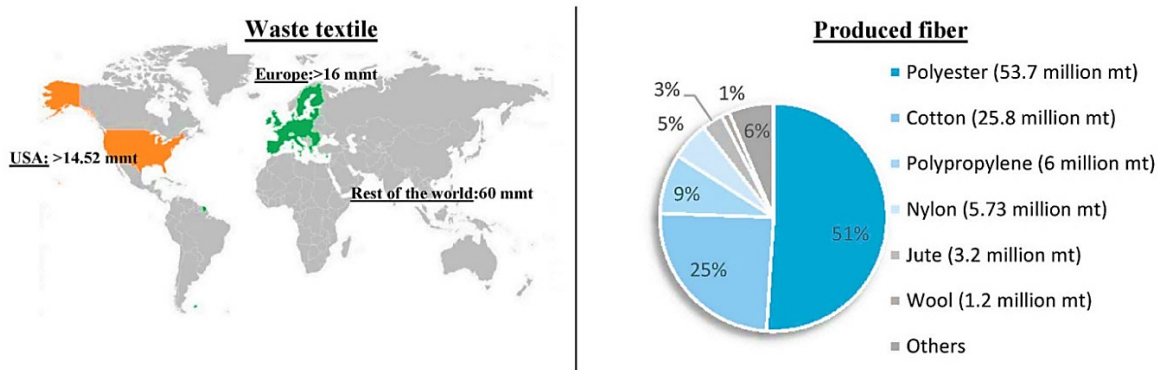
**Slika 9.** Emisija gasova staklene bašte za proizvedene globalne godišnje količine u 2018. godini. *Izvor: Sandin et al 2019. i Textile Exchange 2019.*

### 2.3.5. Tekstilni otpad

Potrošnja odjeće i tekstilnih proizvoda ubrzano raste zbog povećanja svjetske populacije, kupovne moći potrošača i promjena u potrošnji i modnim obrascima. Tekstilne industrije brze mode (*fast fashion*) odgovorne su za visoku proizvodnju i potrošnju odjeće i tekstila. U roku od 15 godina, od 2000. do 2014. godine, globalna proizvodnja odjeće porasla je za 100%. Trenutno u prosjeku, osoba kupuje 60% više odjevnih predmeta u odnosu na prije 15 godina. Ova promjenljiva ponašanja potrošnje stvaraju ogromnu količinu tekstilnog otpada (Leblance, 2018.). Procjenjuje se da se godišnje proizvede oko 92 miliona metričkih tona [mt] tekstilnog otpada i da će se taj otpad vjerovatno povećati za oko 60% od 2015. do 2030. godine (GFA, 2017.). Odvojeno prikupljeni tekstilni otpad se sortira i veliki dio se izvozi za ponovnu upotrebu ili reciklažu u inostranstvo, uglavnom van Evrope. Dok se procenti razlikuju od zemlje do zemlje, oko 60–70% svih prikupljenih tekstila se ponovo koristi u zemlji ili inostranstvu), 10–30% se reciklira, a 10–20% se spali ili odlaže na deponiju (Watson i dr., 2020.).

Tekstilni otpad dolazi iz raznih izvora, počevši od proizvođača vlakana do krajnjih korisnika. Iako većina tekstilnog otpada dolazi iz domaćinstava, povećava se i otpad sa proizvodnih linija. Na osnovu izvora, tekstilni otpad se može klasifikovati kao pretpotrošački ili postindustrijski i post – potrošački. Pretpotrošački otpad ili postindustrijski otpad nastaje tokom procesa proizvodnje odjeće i tekstila. Ove vrste otpada uključuju: kratka vlakna, čestice, otpad od pređe, odbačene tkanine zbog grešaka u proizvodnji ili bojenju, otpad od rezanja odjeće i odbačene odjevne predmete (Rubino i dr., 2018.). Postindustrijski tekstilni otpad smatra se djevičanskim ili čistim otpadom jer se materijali odbacuju bez upotrebe. Tekstilni otpad nakon potrošnje se odnosi na bilo koju vrstu odjeće ili tekstila koje potrošač više ne koristi zbog oštećenja, istrošenosti, zastarjelosti

ili bilo kojih drugih problema u materijalima. Ovaj tekstilni otpad nakon potrošnje može se koristiti u različite svrhe. Slika 10 prikazuje količinu tekstilnog otpada širom svijeta.



**Slika 10.** Svjetska proizvodnja tekstilnog otpada (a) i tekstilnih vlakana (b) na osnovu podataka iz različitih citiranih izvora. Izvor: *del Mar Barbero-Barrera i dr., 2016.*



**Slika 11.** Deponija tekstilnog otpada. Izvor: <https://sites.utexas.edu/texasenvironmentallaw/eliminating-pollution-from-fashion/>

Na osnovu ovih rezultata lako se može shvatiti da tekstilni otpad (slika 11) ima ogroman negativan uticaj na životnu sredinu. Tekstilni otpad od organskih životinjskih vlakana poput vune proizvodi amonijak, koji je odgovoran za stvaranje toksičnosti u zemlji i vodi (Jayasinghe i dr., 2010.). Sintetički tekstilni otpad koji dolazi iz sirovina na bazi nafte ima nepovoljniji učinak na okolinu zbog svojih biorazgradivih i toksičnih karakteristika. Tekstilni otpad koji se odlaže na deponiju nakon raspadanja proizvodi otpadnu vodu koja ima potencijal da zagađi površinske i podzemne vode (Jha i dr., 2004.). Stoga, samim odbacivanjem tekstilnog otpada na različite načine zagađujemo okolinu, a istovremeno doprinosimo i iscrpljivanju vrijednih prirodnih resursa.

### 3. METODE

#### 3.1. Upotreba tekstilnog otpada u svrhu termoizolacijskih materijala

##### 3.1.1. Uloga termoizolacije i koeficijenta prolaza toplote ( $U$ – vrijednost)

Razlike u temperaturama unutrašnjeg i spoljašnjeg vazduha kod graničnih elemenata zgrade dovode do neprekidnog procesa prenosa toplote kroz omotač. Prenos toplote kroz omotač može se odvijati provođenjem (kondukcijom), strujanjem (konvekcijom) i toplotnim zračenjem (toplotnom radijacijom). Termoizolacija takođe može pomoći u smanjenju potrošnje energije i emisije stakleničkih gasova koji nastaju kao posljedica grijanja i hlađenja. Dobro izolovana zgrada osigurava bolju toplotnu udobnost i smanjuje ekonomske izdatke za održavanje temperature u zgradi. (Antunović, 2014.). Za proračunavanje toplotnih gubitaka kroz zidove, stropove, podove i druge građevinske elemente, te za odabir odgovarajuće toplotne izolacije jedan od parametara koji se koristi je koeficijent prolaza toplote ( $U$  – vrijednost). Zgrade sa elementima koji imaju niže  $U$  – vrijednosti imaju manje toplotne gubitke transmisijom i potrebno je manje energije za grijanje što doprinosi smanjenju emisije CO<sub>2</sub> kao i uštedi energije.

$U$  – vrijednost građevinskog elementa zavisi od vrste i strukture građevinskog elementa (ravan zid, transparentni element, pod itd.). Koeficijent prolaza toplote  $U$  [W/m<sup>2</sup>K] ravnog višeslojnog elementa brojno je jednak količini toplote koja u jedinici vremena protekne kroz jediničnu površinu pregradnog zida sa strane toplijeg na stranu hladnijeg vazduha, ako je razlika njihovih temperatura 1 [K] (Antunović, 2014.).

**Koeficijent prolaza toplote ( $U$ ),** je recipročna vrijednost toplotnog otpora ( $R$ ) višeslojnog ravnog zida:

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

gdje je, toplotna otpornost ( $R$ ).

**Toplotna otpornost ( $R$ ) višeslojnog ravnog zida,**

$$R = \frac{1}{\alpha_u} + \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_s} \text{ [m}^2\text{K/W]} \quad (2)$$

gdje je, koeficijent toplotne provodljivosti ( $\lambda$ ); debljina sloja ( $d$ ); koeficijent prelaza toplote sa unutrašnjeg vazduha na zid ( $\alpha_u$ ); koeficijent prelaza toplote sa zida na spoljašnji vazduh ( $\alpha_s$ ).

U skladu sa važećim „Pravilnikom o minimalnim zahtjevima za energetske karakteristike zgrada“ pri projektovanju vrijednost ( $R$ ) treba biti što veća. To se može postići povećanjem debljine sloja korištenih materijala ili dodavanjem termoizolacionog sloja niske vrijednosti koeficijenta toplotne provodljivosti ( $\lambda$ ).

Koeficijent toplotne provodljivosti  $\lambda$  [W/mK] predstavlja količinu toplote koja se prenese u toku jednog časa kroz sloj nekog materijala debljine 1 [m] i površine 1 [m<sup>2</sup>] okomito na površinu, pri temperaturnoj razlici od 1 [K]. To je fizičko svojstvo materijala i izuzetno je važan parametar u procesu prenosa toplote i toplotne izolacije. Koeficijent toplotne provodljivosti  $\lambda$  [W/mK] zavisi od vrste materijala, gustine, poroznosti, dimenzije pora, količine vlage u materijalu i ambijentalne temperature. Sa porastom količine vlage kao i gustine materijala, raste i toplotna provodljivost. Takođe u zavisnosti od veličine pora, u porama manjeg prečnika vazduh miruje, dok u većim porama vazduh se kreće što direktno utiče na povećanje toplotne provodljivosti.

Za proračun gubitaka toplote zgrade potrebno je izračunati gustinu toplotnog fluksa i količinu toplote koja se izgubi usljed transmisije – prolaza toplote kroz elemente omotača.

### **Gustina toplotnog fluksa ( $q$ ) višeslojnog ravnog zida,**

$$q = U(t_u - t_s) [W/m^2] \quad (3)$$

$$q = \frac{t_u - t_s}{R} [W/m^2] \quad (4)$$

gdje je, toplotna otpornost ( $R$ ); koeficijentom prolaza toplote ( $U$ ); temperatura unutrašnjeg vazduha ( $t_u$ ); temperatura spoljašnjeg vazduha ( $t_s$ ).

Iz izraza (3) i (4) zaključujemo da što je  $U$  – vrijednost elementa manja, odnosno otpor ( $R$ ) veći, to je manja gustina toplotnog fluksa ( $q$ ) koji protekne kroz zid, što znači da je zid bolje izolovan.

**Temperature na granicama slojeva zida sa vazduhom i unutar zida ( $t_{uz}$ ,  $t_{12}$ ,  $t_{23}$ ,  $t_{34}$ ,  $t_{sz}$ ),** su obavezan dio proračuna pri toplotnoj zaštiti, a određuju se iz sistema jednačina pri stacionarnom prenosu toplote ( $q=const.$ ) kroz vazduh koji okružuje konstrukcije (prelaz) i samu konstrukciju:

$$q = \alpha_u(t_u - t_{uz}) [^\circ C]; \quad t_{uz} = t_u - \frac{q}{\alpha_u} [^\circ C]; \quad (5)$$

$$q = \lambda_1 \frac{t_{uz} - t_{12}}{d_1} [^\circ C]; \quad t_{12} = t_{uz} - q \frac{d_1}{\lambda_1} [^\circ C]; \quad (6)$$

$$q = \lambda_2 \frac{t_{12} - t_{23}}{d_2} [^\circ C]; \quad t_{23} = t_{12} - q \frac{d_2}{\lambda_2} [^\circ C]; \quad (7)$$

$$q = \lambda_3 \frac{t_{23} - t_{34}}{d_3} [^\circ C]; \quad t_{34} = t_{23} - q \frac{d_3}{\lambda_3} [^\circ C]; \quad (8)$$

$$q = \lambda_4 \frac{t_{34} - t_{sz}}{d_4} [^\circ C]; \quad t_{sz} = t_{34} - q \frac{d_4}{\lambda_4} [^\circ C]; \quad (9)$$

$$q = \alpha_s(t_{sz} - t_s) [^\circ C]; \quad t_s = t_{sz} - \frac{q}{\alpha_s} [^\circ C]; \quad (10)$$

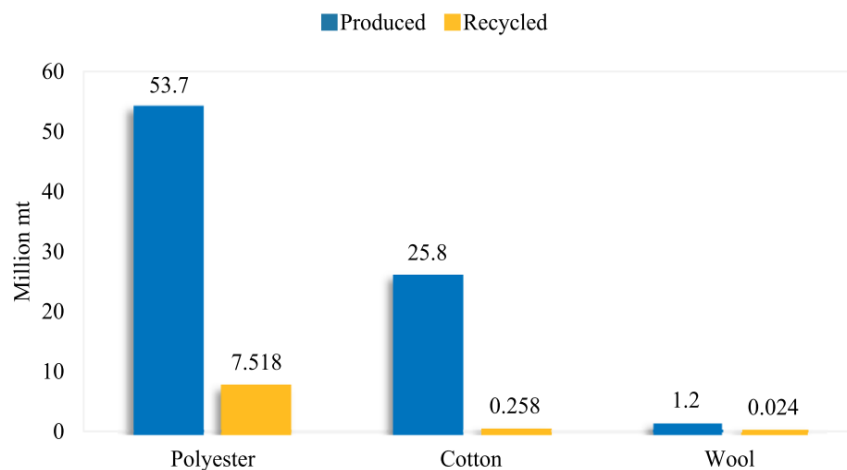
gdje je, koeficijent toplotne provodljivosti ( $\lambda$ ); debljina sloja ( $d$ ); koeficijent prelaza toplote sa unutrašnjeg vazduha na zid ( $\alpha_u$ ); koeficijent prelaza toplote sa zida na spoljašnji vazduh ( $\alpha_s$ ); temperatura unutrašnjeg vazduha ( $t_u$ ); temperatura spoljašnjeg vazduha ( $t_s$ ); gustina toplotnog fluksa ( $q$ ).

### 3.1.2. Ponovna upotreba ili reciklaža tekstilnog otpada u izolacione materijale

Tekstilni otpad se može koristiti u različite svrhe ponovnom upotrebom ili reciklažom. Ponovna upotreba tekstilnog otpada znači proširenje upotrebljivosti tekstila sa ili bez neke prethodne izmjene te prenošenje na novog potrošača. Reciklaža znači pretvaranje tekstilnog otpada u nove proizvode sa ili bez oštećenja prethodnog. Reciklaža tekstilnog otpada može biti: mehanička, hemijska, termička ili njihova kombinacija. Na osnovu procesa rastavljanja, reciklažom se može nazvati reciklaža tkanina, vlakana i polimera (Sandin i Peters, 2018.). Na osnovu krajnjih proizvoda, reciklaža se može podijeliti u dvije kategorije. Jedan je reciklaža u okviru proizvodnog procesa koji se odnosi na proizvodnju novih predmeta koji su slični tekstilu. Drugi pristup je reciklaža iz proizvodnog procesa koji se odnosi na proizvodnju drugačijeg predmeta kao što je razvoj kompozitnog materijala za građevinsku izolaciju (Rubino i dr., 2018.). Troškovi reciklaže takođe variraju u zavisnosti od procesa rastavljanja i kategorija reciklaže. Iako je cijena reciklaže tekstilnog otpada niska, procjenjuje se da bi se do 95% tekstilnog otpada moglo reciklirati u različite korisne proizvode (Dissanayake i dr., 2018.). Tekstilni otpad varira u zavisnosti od boja, vrsta, sastava i svojstava, što otežava pronalaženje odgovarajuće tehnike reciklaže. Globalna proizvodnja poliesterskih vlakana 1990. godine iznosila je 8,67 miliona mt (statistika, 2019.) dok je sadašnja proizvodnja porasla više od 5 puta u odnosu na 1990. Iako je poliesterski otpad vodeći element otpada u industriji odjeće, njegova stopa reciklaže je vrlo niska. U 2017. godini samo 14% otpada je reciklirano (slika 12), a ogromna količina ovog sintetičkog vlakna je odbačena na deponije kao otpad (Textile Exchange, 2018.).

Pamuk je jedan od najviše kultivisanih neprehrambenih poljoprivrednih proizvoda koji se uglavnom koriste u proizvodnji odjeće. Pamuk je trenutno drugo po veličini proizvedeno vlakno nakon poliestera, a u slučaju prirodnih vlakana, ono je najveće proizvedeno vlakno. U 2017. godini prosječna proizvodnja pamuka širom svijeta iznosila je 25,8 miliona mt (slika 10) što je bilo oko 24,5% globalnog tržišta tekstilnih vlakana. Prema *Ellen MacArthur* fondaciji, manje od 1% (slika 12) sve odjeće se reciklira natrag u odjevne predmete (Textile Exchange, 2018.). Stoga se ogromna količina pamučnih vlakana odlaže na deponiju kao odbačena odjeća. Pored toga, ogromna količina djevičanskih pamučnih vlakana se odbacuje kao otpad tokom proizvodnje pamučne pređe.

Vuneno vlakno je jedno od najčešće korištenih životinjskih vlakana zbog svojih odličnih termoizolacijskih svojstava. U 2017. svjetska proizvodnja vunениh vlakana iznosila je 1,2 miliona mt (slika 10), od čega je 95% ovčje vune. Do sada je reciklirano oko 22.000 mt oko 1,2% vune (slika 12), a ostatak vlakana je odbačen kao otpad (Textile Exchange, 2018.).

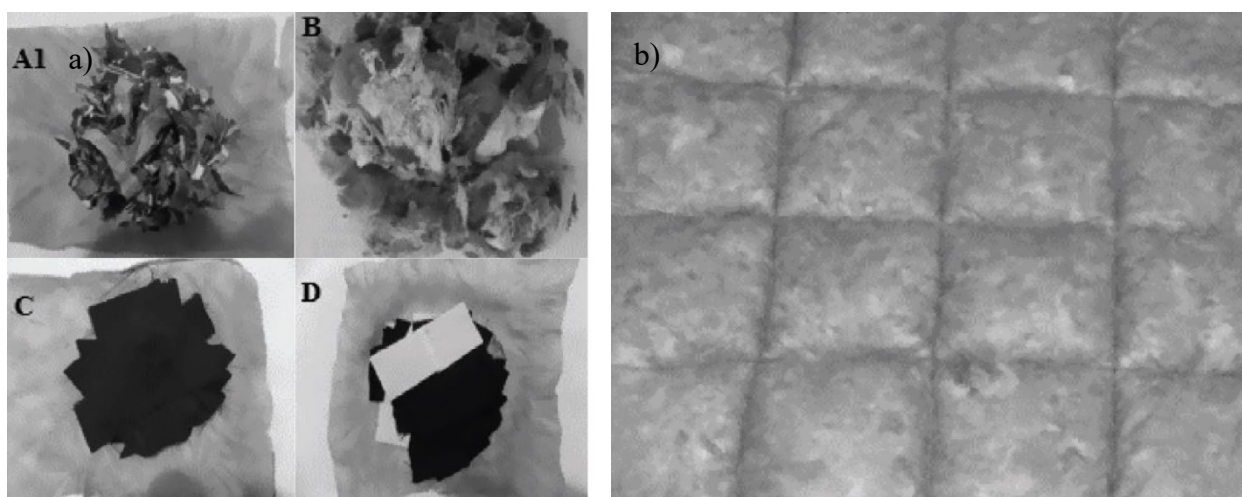


**Slika 12.** Poređenje proizvedenih i recikliranih vlakana. *Izvor: Textile Exchange, 2018.*

Reciklaža tekstilnog otpada u građevinske izolacione materijale ima potencijalne koristi u ekološkim, zdravstvenim, društvenim i ekonomskim sektorima. Upotreba visokokvalitetnih materijala za toplotnu izolaciju može smanjiti opterećenje na životnu sredinu, potrošnju energije, prostor potreban za deponiju, gasove staklene bašte, zagađenje (buka, vazduh, voda, zemljište), može uštedjeti naftu, gorivo i prirodne resurse i može poboljšati zdravlje ljudi. Pretvaranje tekstilnog otpada u materijale za toplotnu izolaciju nije jednostavan proces. Kako je vrsta tekstilnog otpada različita, uključujući industrijski ili post – potrošački, sintetički i prirodni, samim tim i proces konverzije je različit. Uopšteno, u početku se tekstil za pretpotrošačku ili post – potrošačku odjeću akumulira iz različitih tekstilnih industrija i potrošača. Nakon toga, otpad se razdvaja prema vrsti vlakana, kvalitetu i boji. Zatim se ovaj otpad reže na male komade, usitnjava i pažljivo spaja bez prekida dužine vlakana. Dobijena vlakna se ponovo sortiraju na osnovu karakteristika uključujući dužinu, snagu i broj (Turrillas Esteve i de la Guardia, 2017.). Za sintetička vlakna, proces se može vršiti do formiranja polimera. Zatim se ova vlakna ili polimeri mogu koristiti za proizvodnju materijala za toplotnu izolaciju tehnikom obrade netkanog materijala, uključujući formiranje mreže, vezivanje mreže i završnu obradu. U skladu sa željenim krajnjim svojstvima, različita vlakna se mogu miješati zajedno. U nekim slučajevima, netkani materijali mogu biti podvrgnuti visokoj toploti i pritisku za proizvodnju kompozitnih materijala. Neki istraživači su direktno koristili otpadne tkanine, a zatim ih spajali i proizvodili izolacijske materijale (Jordeva i dr., 2014.; Trajković i dr., 2017.). Nekoliko drugih koristilo je tehnike netkanog materijala i pripremalo kompozite primjenom toplote i pritiska (Wazna i dr. 2018.; Zach i dr. 2016.a). Neki istraživači su koristili otpadna tekstilna vlakna i miješali ih s građevinskim materijalima, uključujući kreč i cement (Del Mar BarberoBarrera i dr. 2016.). U nastavku teksta objašnjene su pojedinačno tehnike metoda reciklaže tekstilnog materijala.

### 3.1.2.1. Tehnika direktne metode

U ovoj metodi, tkanine se direktno koriste za proizvodnju izolacionih materijala bez pretvaranja tkanina u vlakna. U nekim slučajevima, rasitnjavanje tkanine u vlakna može dovesti do gubitka strukture i mehaničke čvrstoće vlakana. Sintetičke tkanine poput poliestera mogu se istopiti zbog toplote koja nastaje primjenom mehaničke sile tokom pretvaranja tkanina u vlakna. Osim toga, ponekad reciklaža vlakana neće biti ekonomski isplativa zbog većeg potrebnog vremena i energije. U tim slučajevima tkanine se direktno koriste za izradu izolacionih materijala (Trajković i dr., 2017.). Nekoliko istraživača je analiziralo korištenje otpadnih tkanina direktno za proizvodnju izolacijskih materijala (Jordeva i dr., 2014.), te razvilo termoizolacijske materijale rezanjem tekstilnog otpada, a zatim stabilizovanjem otpada šivenjem. Trajković i dr. (2017.) su tri različita tipa korištene poliesterske odjeće isjekli na sitne komade približnih dimenzija (slika 13a) i nakon toga, obložili ih korištenjem 100% polipropilena<sup>10</sup> (slika 13b) te na taj način pripremili izolacioni materijal. Primjenom ove metode postignuta su veoma dobra toplotna svojstva sa toplotnom provodljivošću u rasponu od 0,52 do 0,60 W/mK.

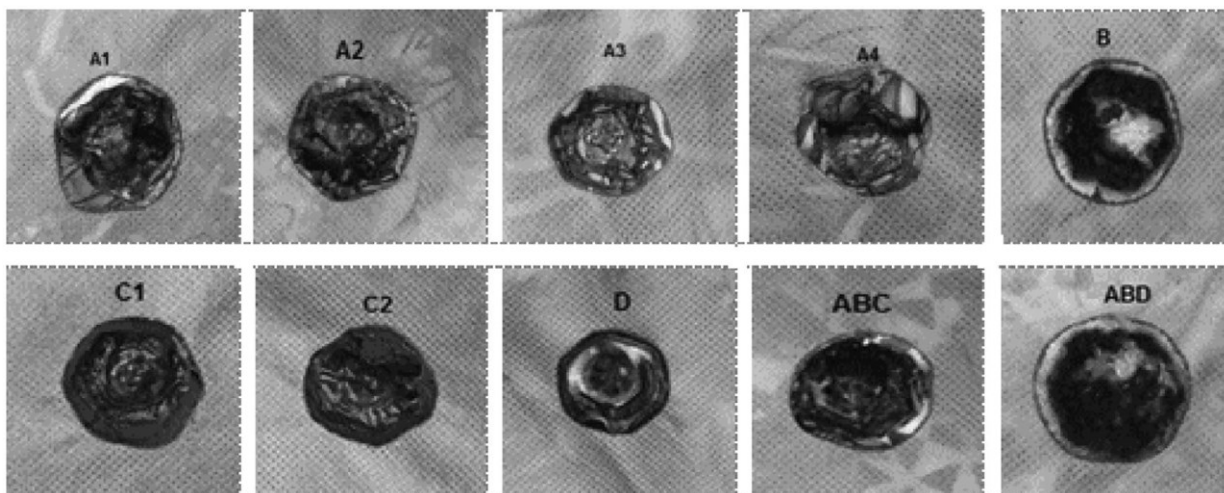


**Slika 13.** a) Izgled pripremljenog poliesterskog tekstilnog materijala, b) Pripremljen tekstilni otpad obložen korištenjem 100% polipropilena. Izvor: Trajković i dr., (2017.).

Trajković i dr. (2017.) takođe su utvrdili da njihovi izolacijski materijali imaju dobru otpornost na vatru i da su manje razgradivi u vlažnom stanju. Metodologija otpornosti na vatru (*Hot Metal NutTest*) odabrana je kao prikladna za izolacione konstrukcije, jer najpribližnije predstavlja uslove u eksploataciji. U ovoj metodi, šestougona matica od nekorozivnog čelika M16 zagrijana je u

<sup>10</sup> Polipropilen, označen inicijalima PP, termoplastični je polimer dobiven iz nafte. Danas tekstilna industrija koristi polipropilen u gotovo svim primjenama. Osobine koje ga odlikuju su: umjerena elastičnost, dobra tvrdoća, otporan je na hemikalije i na toplotu.

peći na 900 °C, a zatim stavljena na uzorke na tri sekunde. Sve promjene tokom testa su praćene i zabilježene. Na kraju je izmjerena najveći radijus i dubina oštećene (spaljene) površine.



**Slika 14.** Vizuelni izgled uzoraka nakon testa Hot Metal Nut. *Izvor: Trajković i dr., (2017.).*

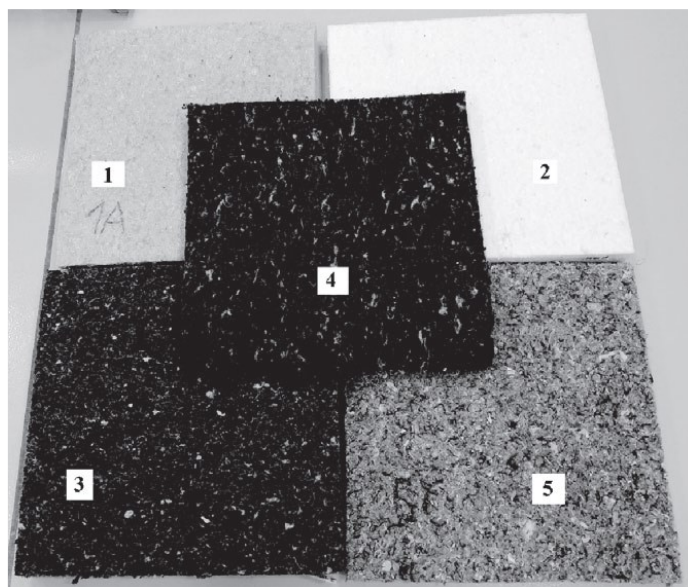
Ispitivanje otpornosti na vatru pokazalo je da uzorci ne provode plamen. Kod 9 uzoraka uopšte nije bilo plamena (Slika 14), ali je došlo do topljenja. Samo u uzorku B, na vrlo kratko (dvije sekunde) nakon uklanjanja matice, uočene su slabe iskre plamena, kao rezultat prisustva pamuka. Do skupljanja materijala tokom topljenja došlo je u svih 10 uzoraka, ali je to najbolje vidljivo na uzorcima otpada od tkanina C i D, odnosno tkanine veće površinske mase. Rezultati pokazuju da je poliester pogodan za upotrebu u svrhu termoizolacije objekata jer ne provodi plamen.

Uzorci za istraživanje biorazgradivosti sastojali su se od vreća od netkanog tekstila punjenih sa 100 g pripremljenog otpada (tekstila). Uzorci su zakopani u zemlju gdje su ostali 3 mjeseca, zatim su izvađeni, očišćeni, oprani u čistoj vodi i osušeni na sobnoj temperaturi. Stepen starenja ocjenjivan je vizualno na osnovu izgleda materijala. Na kraju je izmjerena količina ispranog i osušenog materijala i izračunat stepen njegove biorazgradnje kroz postotak gubitka mase. Vizuelni pregled uzoraka nije pokazao vidljive promjene u pogledu njihovog početnog izgleda, odnosno nije bilo starenja materijala. Gubitak mase kojim je ocjenjivan stepen biorazgradnje, bio je u rasponu od 0 – 0,3%, odnosno gubitak mase praktično nije bilo (Trajković i dr., 2017.). Rezultati za biorazgradnju potvrđuju dobro poznatu činjenicu da je poliester biološki nerazgradiv materijal.

### *3.1.2.2. Tehnika netkanog materijala*

Netkani materijali su idealna metoda za proizvodnju izolacionih materijala zbog svoje jedinstvene orijentacije vlakana i porozne strukture (Wazna i dr., 2018.). Opšti koraci koji se koriste u tehnikama netkanog materijala počinju od vlakana ili polimera koji se recikliraju iz tekstilnog

otpada. Reciklirana vlakna se zatim pretvaraju u mreže različite površinske gustine. Nakon formiranja mreže, potrebno je da postoji neka vrsta vezivanja između vlakana kako bi se povećala čvrstoća i stabilnost materijala. Uglavnom, postoje tri različita procesa vezivanja: hemijsko, termalno i mehaničko vezivanje. Odabir procesa formiranja mreže i vezivanja zavisi od nekoliko faktora uključujući: tip vlakna, potrebnu čvrstoću, gustinu, debljinu i željena svojstva krajnje upotrebe proizvedenog netkanog materijala. Wazna i dr. (2018.) su koristili tehniku netkanog materijala kombinovanjem akrilnog i vunenog tekstilnog otpada. Tekstilni otpad su usitnili u kratko rezana vlakna te formirali vlaknaste mreže proizvedene postupkom presavijanja i probijanja iglom. Postupak probijanja iglom spaja vlakna i pomaže da se struktura drži zajedno silama trenja. U ovoj metodi, vezivanje se vrši bez upotrebe bilo kakvih toksičnih veziva, a proizvedena su četiri različita netkana termoizolaciona materijala i dobijene odlične izolacijske performanse, sa vrijednostima toplotne provodljivosti u rasponu od 0,035 – 0,0488 W/mK. Zach i dr. (2016. a) proizveli su 5 uzoraka različitih termoizolacijskih materijala (slika 15) koristeći reciklirana pamučna, poliesterska i lanena vlakna u različitim odnosima. Za razliku od metode koju je koristio Wazna, nakon formiranja slojeva vlakana u obliku mreže, vezivanje se vršilo postupkom vrućeg zraka ili mehaničkim spajanjem. Prosječna toplotna provodljivost njihovih materijala bila je u intervalu 0,037 – 0,049 W/mK.



**Slika 15.** Uzorci mješavina korištenih u određivanju toplotne provodljivosti. *Izvor: Zach i dr. (2016.a).*

Na osnovu testiranja uzoraka pri relativnoj vlažnosti od 80% i temperaturi od 23 °C, uočeno je da je najveća sorpciona vlaga od 8,3% utvrđena u uzorku 1 koji se sastoji od 75% lana i 25% pamuka,

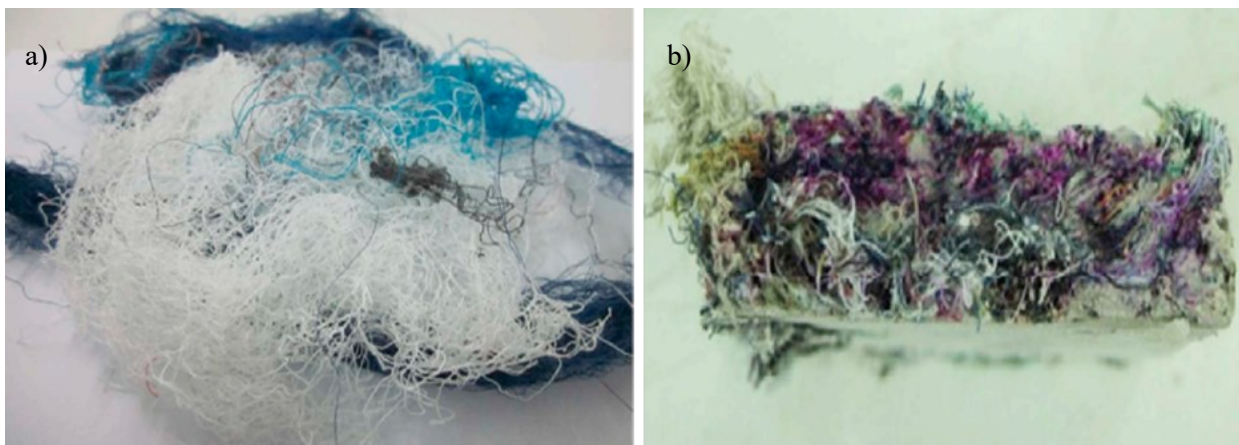
dok je najniža sorpciona vlaga od 0,6% utvrđena u uzorku 2, koji se sastoji od 40% čistog recikliranog pamuka, 40% poliestera i 20% pamuka.

Vrijednosti testiranja pokazuju da su na vlagu najosjetljivija biljna vlakna (lan), pamučna vlakna su manje osjetljiva, a poliesterska vlakna imaju minimalnu osjetljivost. Ova činjenica ima odlučujući uticaj na brzinu degradacije termoizolacijskih svojstava, koja zavisi od relativne vlažnosti. Testiranjem je došlo do značajnog povećanja vrijednosti toplotne provodljivosti samo u mješavini 1 na bazi lana (11,74%) (Zach i dr., 2016.a).

### *3.1.2.3. Kombinovanje sa građevinskim materijalom*

Tekstilni otpad se decenijama koristi sa građevinskim materijalima (kreč, cement i dr.). Istraživači su primijetili da tekstilni otpad koji se koristi na konstrukcijama od cigle ili na drugim površinama ima nekoliko prednosti, uključujući otpornost na potres, nisku toplotnu provodljivost i dobra zvučna i izolaciona svojstva (Binici i dr., 2007.). Uz ova svojstva, primjena tekstilnih vlakana može povoljno uticati na mahanička i deformaciona svojstva građevinskih materijala (del Mar Barbero – Barrera i dr., 2016.). Pretvaranje tekstilnog otpada u materijale za toplotnu izolaciju je vrlo jednostavno kada se koristi sa građevinskim materijalima, naime tekstilni otpad se pomiješa u odgovarajućem omjeru sa cementom, vodom, ciglom i drugim građevinskim materijalima. Već je objavljeno nekoliko istraživačkih članaka, koji istražuju upotrebu tekstilnog otpada sa građevinskim materijalom.

Del Mar Barbero – Barrera i dr. (2016.) koristili su otpad od tekstilnih vlakana sa prirodnim hidrauličnim krečom za proizvodnju ploča sa većim svojstvima toplotne izolacije. Prvobitno je tekstilni otpad (uglavnom pamuk) prikupljen iz industrije (slika 16a), a bez dalje obrade, pomiješan sa prirodnim hidrauličnim krečom i vodom u tri različita omjera. Nakon nekoliko dana očvršćavanja i sušenja uzorci su testirani (slika 16b). Del Mar Barbero Barrera i dr. (2016.) uočili su da je najbolja toplotna provodljivost 0,14 W/mK što je mnogo niže od slične ploče napravljene od drveta–gipsa čiji se koeficijent toplotne provodljivosti kreće u rasponu 0,189 –0,277 W/mK (Bekhta i Dobrowolska, 2006.). Na testiranim uzorcima uočeno je smanjenje gustoće, čvrstoće na savijanje i toplotne provodljivosti povećanjem sadržaja vode.



**Slika 16.** Tekstilna otpadna vlakna i proizvedena ploča. *Izvor: Adapted from del Mar Barbero-Barrera i dr., 2016.*

Binici i dr. (2014.) koristili su tekstilni otpad (pamuk), stabljiku suncokreta i vlakna slame za proizvodnju materijala za toplotnu izolaciju za primjenu u građevinarstvu. U ovom istraživanju izolacijske ploče su proizvedene korištenjem dva pristupa: prvi, korištenjem gipsa, a drugi korištenjem epoksida kao veziva. U prvoj metodi mljevena je mješavina tekstilnog otpada i stabljika suncokreta. Zatim su ovi materijali naneseni na zid zajedno sa gipsanim vezivom. U drugoj metodi, stabljike suncokreta, pamučni otpad i tekstilna otpadna vlakna pomiješani su sa epoksidnim vezivom u različitim omjerima i proizvedeni u više slojeva. Nakon toga je na ove slojeve primjenjen visoki pritisak kako bi se dobile izolacijske ploče. Binici i dr. utvrdili su nižu toplotnu provodljivost  $0,073 \text{ W/mK}$  u odnosu na zid bez ovih izolacijskih materijala (Binici i dr., 2014.).

### 3.2. Toplotne karakteristike tekstilnog otpada i konvencionalne termoizolacije

Proizvodnja termoizolacijskih materijala od tekstilnog otpada jedan je od efikasnih procesa održive reciklaže. Istraživači su također utvrdili da su fizička svojstva tekstilnog otpada vrlo uporediva sa svojstvima konvencionalnih građevinskih izolacionih materijala (Zach i dr., 2012.). Iz tog razloga nekoliko istraživača preporučuje tekstilni otpad kao sirovinu za građevinske izolacione materijale.

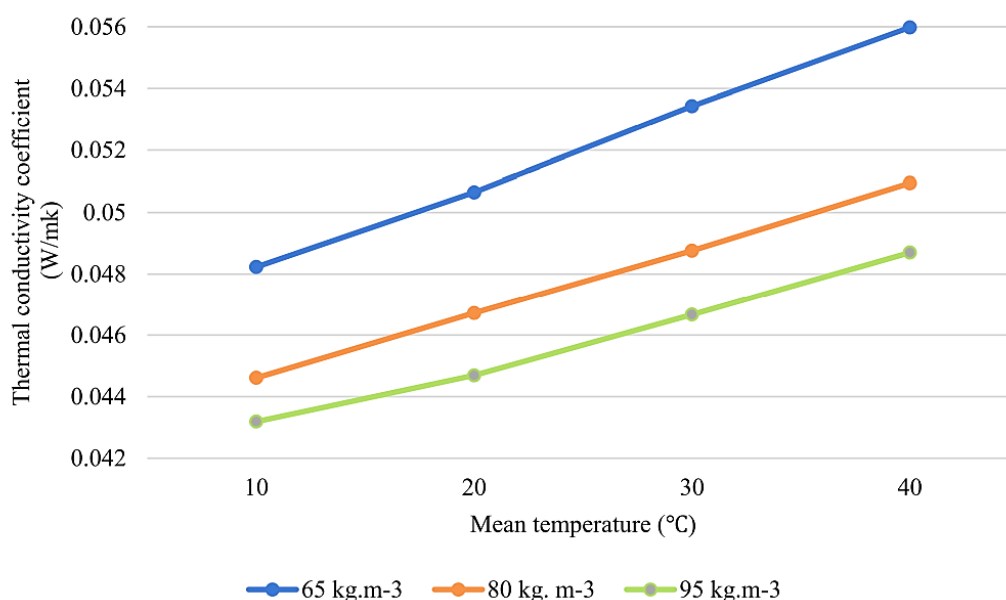
#### 3.2.1. Sintetički tekstilni otpad

Nekoliko istraživača proučava pristupe za minimiziranje uticaja na okolinu reciklažom poliesterskog otpada u različite materijale, uključujući materijale za toplotnu izolaciju.

Trajković i dr. (2017.) su koristili otpad od rezanog poliestera tokom proizvodnje odjevnih predmeta za proizvodnju termoizolacijskih materijala. Ovdje je poliesterski otpad direktno korišten kao izolacijski pokrivač za krovove i unutrašnje zidove zgrada. Uočeno je dobro

izolaciono svojstvo sa toplotnom provodljivošću između 0,052 i 0,060 W/mK. Trajković i dr. (2017.) takođe su utvrdili da njihovi izolacioni materijali imaju dobru otpornost na vatru i da su manje razgrađivi u vlažnom stanju. Drochytka i dr. (2017.) su proučavali uticaj temperature na svojstva toplotne izolacije. Uočeno je da se toplotna provodljivost poliesterske prostirke značajno smanjuje sa smanjenjem temperature (slika 17).

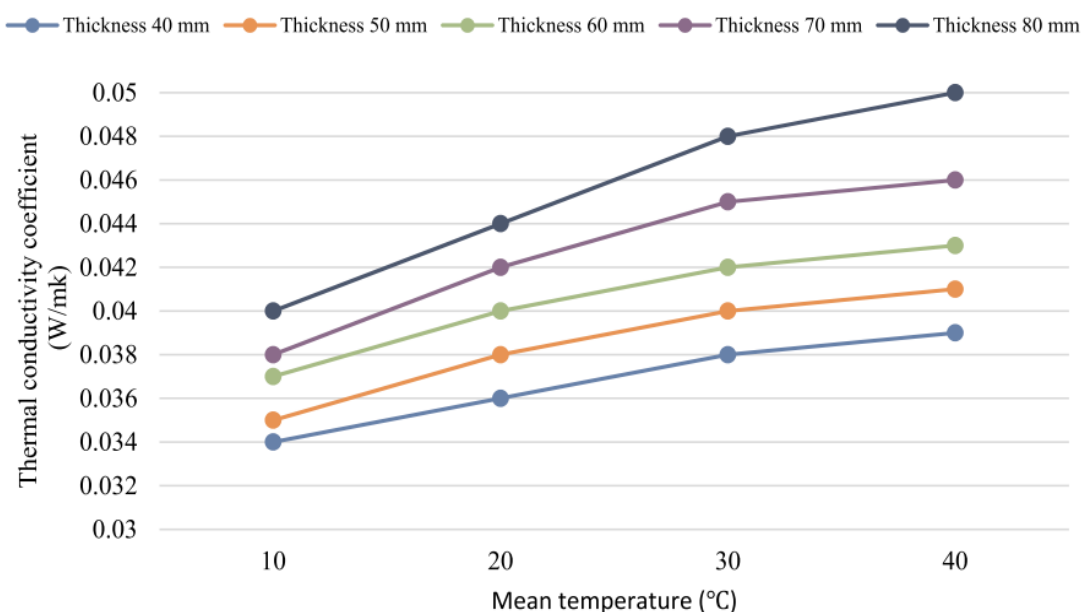
Akrilna vlakna se smatraju umjetnim vunanim vlaknima. Ova vlakna imaju vrlo dobra izolaciona svojstva. Nekoliko istraživača provelo je svoje istraživanje kako bi razvili materijale za toplotnu izolaciju od akrilnih otpadnih vlakana. El Wazna i dr. (2017.) su prepoznali potencijal tekstilnog otpada u primjeni građevinskog izolacijskog materijala netkanim tehnikama. U ovom istraživanju, četiri izolaciona materijala na bazi netkanog materijala (A1, A2, W1 i W2) proizvedena su korištenjem otpada od akrila i vune. Toplotna provodljivost A1, A2, W1 i W2 iznosila je 0,035 W/mK, 0,03 W/mK, 0,035 W/mK i 0,034 W/mK, redom. Ove vrijednosti toplotne provodljivosti pokazuju da akrilni i vuneni otpad imaju dobra termoizolaciona svojstva u odnosu na tradicionalne izolacione materijale kao što su staklena i mineralna vuna. El Wazna i dr. (2017.) su takođe izvršili mjerenje propusnosti zraka i istraživali zavisnost toplotne provodljivosti i propusnosti zraka od poroznosti i gustine materijala. Utvrđeno je da se toplotna provodljivost i propusnost zraka testiranih uzoraka netkanih izolacionih materijala (A1, A2, W1 i W2) smanjuju sa povećanjem poroznosti, ali rastu linearno sa gustinom.



**Slika 17.** Uticaj temperature i gustine na toplotnu provodljivost poliesterske prostirke. *Izvor: Drochytka i dr., 2017.*

### 3.2.2. Otpad od prirodnih tekstilnih materijala

Nekoliko istraživača je predložilo korištenje otpada od pamuka za proizvodnju materijala za toplotnu izolaciju. Zach i dr. (2012.) su proučavali toplotnu provodljivost vunениh vlakana pri različitim debljinama, temperaturi i vlažnosti. Uočeno je da se toplotna provodljivost vlakana ovčije vune smanjuje sa smanjenjem temperature, dok vlažnost i gustina rastu sa povećanjem debljine vlakna (slika 18).



**Slika 18.** Uticaj temperature na toplotnu provodljivost pri različitim debljinama vunenog vlakna. *Izvor: Zach i dr., 2012.*

Sedlmajer i dr. (2015.) su proučavali toplotnu provodljivost izolacionih prostirki proizvedenih od recikliranog poliestera i pamuka u različitim omjerima. Utvrđeno je da prostirke s većim udjelom pamučnih vlakana pokazuju bolja izolaciona svojstva.

Rajput i dr. (2012.) su kombinovali otpad od recikliranog pamuka i papirnog otpada sa cementnim ciglama. Otpad od pamučnih vlakana povećao je poroznost cementne cigle sa 0,180 W/mK na 0,290 W/mK, te poboljšao toplotnu izolaciju zgrade. Vrijednost toplotne provodljivosti smanjena je sa 0,320 W/mK na 0,250 W/mK.

Hossanin i dr. (2018.) su razvili izolacione ploče miješanjem tetrapak otpada i otpada vunene pređe u različitim omjerima. Nekoliko postotaka tetrapaka pomiješano je sa vunениm otpadom, a zatim su toplim presovanjem proizvedeni izolacioni materijali. Utvrđeno je da tetrapak sa 15% otpadne vune ima 3% nižu toplotnu provodljivost u odnosu na tetrapak bez vunениh vlakana. Zrak zarobljen unutar vunениh vlakana poboljšao je svojstva toplotne izolacije tetrapaka i kompozita vunениh vlakana.

### *3.2.3. Termičke karakteristike konvencionalnog materijala*

Ekspandirani polistiren (EPS) je termoizolacioni materijal koji ima izuzetno dobre termičke karakteristike, što postiže zahvaljujući tome što sadrži samo 2% polistirena i čak 98% vazduha. Njegova toplotna provodljivost ( $\lambda$ ), iznosi oko 0,030 – 0,041 W/mK.

Ekspandirani polistiren se topi pri velikim temperaturama pri čemu se mogu stvoriti štetni gasovi. Ove osobine ekspandiranog polistirena dovele su do toga da kamena vuna postepeno preuzima primat na tržištu. EPS je djelimično otporan na vlagu i upija vodu od 2 do 8%, što ga čini idealnim za upotrebu u vlažnim okruženjima. Takođe je i dugotrajan i neće se raspasti ili propadati tokom vremena. Ekspandirani polistiren, kao termoizolacioni materijal, efikasno sprječava gubitak toplote kroz zidove, plafone i podove, čime doprinosi smanjenju potrošnje energije za grijanje prostora. Takođe, važno je reciklirati EPS kako bi se smanjila količina otpada i očuvala životna sredina. Iako EPS ima mnoge prednosti, važno je uzeti u obzir i moguće nedostatke i ograničenja. Na primjer, EPS nije uvijek najprikladniji materijal za izolaciju u vrlo visokim temperaturama i ima relativno nisku otpornost na udarce.

### *3.2.4. Poređenje termičkih karakteristika recikliranog tekstilnog otpada i konvencionalnog termoizolacionog materijala*

Poređenje termoizolacijskih svojstava različitih materijala koje je proučavalo nekoliko istraživača sažeto je u tabeli 1. U temeljno poređenje toplotnih izolacijskih svojstava različitih materijala uključeni su i dopunski konvencionalni izolacioni materijali. Najprije je tabelarno prikazana debljina ( $d$ ) i gustina materijala ( $\rho$ ), zatim toplotna provodljivost ( $\lambda$ ).

Naveden je koeficijent toplotne provodljivosti prirodnih materijala i postojećih komercijalno dostupnih materijala za sveobuhvatno poređenje. Za većinu materijala debljina i gustina nisu pronađene u literaturi. Uočeno je da najnižu vrijednost toplotne provodljivosti koja iznosi 0,032 W/mK pokazuju vuna i 50/50 – vuna/reciklirani poliester. Termoizolacioni materijali pripremljeni od reciklirane vune i poliestera, gdje je  $\lambda=0,032$  W/mK i pamuka, gdje je  $\lambda=0,039$  W/mK su pokazali mnogo bolja svojstva od prirodnih materijala manje gustine. Čak su i svojstva toplotne izolacije recikliranih tekstilnih vlakana bolja od nekih komercijalno dostupnih izolacijskih materijala, uključujući staklenu vunu sa toplotnom provodljivošću od 0,032 do 0,038 W/mK i kamenu vunu sa toplotnom provodljivošću od 0,033 do 0,039 W/mK.

**Tabela 1.** Poređenje toplotnih izolacijskih svojstava različitih materijala. *Izvor: Analiza autora.*

| Materijal                           | Debljina materijala $d$ [m] | Gustina $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ] | Toplotna provodljivost $\lambda$ [W/mK] | Autori                                                                                 |
|-------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Reciklirani poliester               | 0,016                       | 62,50                               | 0,035                                   | Panaitk i dr. (2015.)                                                                  |
| Poliester (85% + 15% pamuk)         |                             | 80,00                               | 0,046 – 0,049                           | Drochytka i dr. (2017.)                                                                |
| 100% vuna                           |                             | 20,00                               | 0,040                                   | <i>Pravilnikom o minimalnim zahtjevima za energetske karakteristike zgrada (2015.)</i> |
| Ovčija vuna                         | 0,040                       | 40,00                               | 0,034 – 0,039                           | Zach i dr (2017.)                                                                      |
| 100% vuna, otpad od tepiha          | 0,030                       | 45,00                               | 0,0311 – 0,0339                         | El Wanza i dr. (2017.)                                                                 |
| 50% vuna, 50% reciklirani poliester | 0,016                       | 62,50                               | 0,032 – 0,004                           | Panaitk i dr. (2015.)                                                                  |
| Reciklirani pamuk                   |                             | 25 – 45                             | 0,039 – 0,044                           | Innotherm (2019.)                                                                      |
| 100% akril                          |                             | 14,57                               | 0,043 – 0,049                           | El Wanza i dr. (2018.)                                                                 |
| 75% lan, 25% pamuk                  | 0,087                       | 22,80                               | 0,043                                   | Zach i dr (2016.a)                                                                     |
| Poliuretanska pjena                 |                             | 15 – 80                             | 0,025 – 0,040                           |                                                                                        |
| Staklena vuna                       |                             | 14 – 80                             | 0,032 – 0,038                           | <i>Pravilnikom o minimalnim zahtjevima za energetske karakteristike zgrada (2015.)</i> |
| Kamena vuna                         |                             | 30 – 80                             | 0,033 – 0,039                           |                                                                                        |

### 3.2.5. Otpornost tekstilnih termoizolacijskih materijala na vlagu i toplotu

Uz dobra toplotna svojstva, komercijalno uspješan izolacioni materijal treba imati i neka druga važna svojstva, kao što je svojstvo negorivosti, otpornost na požar i paropropusnost. Svojstva otpornosti na vatru izolacionih materijala mogu se ocijeniti pomoću nekoliko parametara uključujući: povećanje temperature, brzinu gubitka mase, oslobađanje toplote i proizvodnju dima. Izolacioni materijali proizvedeni od konvencionalnih materijala poput kamene i staklene vune imaju vrlo dobru otpornost na vatru i klasifikovani su kao nezapaljivi materijali (Asdrubali i dr., 2015.). Utvrđeno je da izolacijski materijali proizvedeni od recikliranog pamuka imaju slabu otpornost na vatru (Innotherm, 2019.). Svojstva otpornosti na vatru prirodnih vlakana mogu se povećati posebnim hemijskim tretmanom ili miješanjem prirodnih vlakana sa sintetičkim termoplastičnim vlaknima koja imaju bolju otpornost na vatru. Termoplastična sintetička vlakna poput recikliranog poliestera imaju relativno bolja svojstva otpornosti na vatru u odnosu na pamučna vlakna. Termoplastična vlakna se skupljaju prilikom sagorijevanja, tope se i kapaju u dodiru sa plamenom zbog čega vlakna prestaju da sagorijevaju. Trajković i dr. (2017.) su proizveli izolacijski materijal od poliesterskog otpada uz provjerena svojstva otpornosti na vatru. Rezultati

ispitivanja su pokazali da na izolacijskim materijalima nije bilo plamena što ukazuje da je reciklirano poliestersko vlakno dobra opcija za proizvodnju izolacijskih materijala. Vunena vlakna su sama po sebi manje zapaljiva od većine drugih vlakana (Schindler i Hauser, 2004.). Patnaik i dr. (2015.) su proučavali izolacijske materijale od otpadne vune i recikliranih poliesterskih vlakana i provjerili svojstva otpornosti na plamen. Uzorci su pokazali dobra svojstva otpornosti na vatru koja mogu spriječiti opasnost od požara do 400°C. Isprana vuna pokazala je bolju otpornost na vatru od recikliranih poliesterskih vlakana.

Izolacijski materijali, posebno proizvedeni od organskih prirodnih vlakana, mogu biti oštećeni biološkom korozijom (razgradnja od strane bakterija, napadnuti plijesni i gljivicama) kada su dugo izloženi visokoj vlazi ili dođu u dodir sa vodom. Osim toga, termoizolacijska svojstva materijala opadaju sa povećanjem vlažnosti (Korjenić i dr., 2011.). Za dobra izolacijska svojstva, apsorpcija vlage materijala treba biti oko 2%. Međutim, apsorpcija vlage nekih prirodnih tekstilnih vlakana je mnogo veća od 2%. Stoga, izolacijske materijale proizvedene od organskih tekstilnih vlakana uvijek treba odvojiti od izvora vlage, ali u većini slučajevima, to je teško ili nemoguće. Vuneno vlakno ima vrlo dobra izolacijska svojstva, ali je vrlo osjetljivo na vlagu. Apsorpcija vlage vunениh vlakana može se smanjiti prskanjem 1% silicija (po težini) na vuneno vlakno (Patnaik i dr., 2015.). Kada je riječ o sintetičkim materijalima, prema istraživanjima (Trajković i dr., 2017.) rezultati za biorazgradnju potvrđuju dobro poznatu činjenicu da je poliestar biološki nerazgradiv materijal. Kako sintetička vlakna imaju veću otpornost na vlagu, miješanje recikliranih sintetičkih i prirodnih vlakana kako bi se smanjila apsorpcija vlage može imati veću korist za okolinu umjesto tretiranja toksičnim hemikalijama.

### 3.3. Poređenje termoizolacijskih svojstava materijala dobijenih na osnovu 3 tehnike reciklaže

#### 3.3.1. Opis tipskog objekta jednogorodičnog stanovanja

Analiza efekata primjene termoizolacijskih materijala od recikliranog tekstila, dobijenih različitim tehnikama reciklaže, je urađena na osnovu primjene na odabranom individualnom tipskom objektu koji se nalazi na području Republike Srpske, grad Banjaluka. Klimatski uslovi na ovom području su umjereno kontinentalni sa umjereno hladnim zimama i toplim ljetima. Objekat je slobodnostojeći (slika 19) namijenjen jednogorodičnom stanovanju, izgrađen u vremenskom periodu od 1971 – 1980 godine. Ovakav tip objekta čini oko 23% svih objekata na području BiH (Arnautović – Aksić i dr., 2016.).

Krov je klasičan, drveni, na dvije vode, sa crijepom kao krovim pokrivačem. Spoljašnji zidovi su izvedeni od pune opeke, debljine 25 cm, bez termoizolacije i obostrano malterisani. Međuspratna konstrukcija prema tavanu je poluprefabrickovana, sa šupljim opekarskim elementima i

armiranobetonskom pločom preko njih. Prozori su dvostruki, sa drvenim okvirima i jednostrukim zastakljenjem. Navedeni objekat je izabran iz razloga što neizolovani objekti mogu imati visoku potrošnju energije jer se toplota gubi kroz omotač objekta. Kada se toplota gubi, sistem grijanja mora raditi više da bi održao prijatnu unutrašnju temperaturu, što povećava potrošnju energije i troškove za vlasnika objekta. Osim toga, neizolovani objekti mogu biti neugodni za boravak zbog velike varijacije temperature između različitih dijelova objekta.



**Slika 19.** Slobodnostojeći objekat jednoporodičnog stanovanja, period gradnje 1971-1980. Izvor: *Arnautović-Aksić i dr., 2016.*

### 3.3.2. Proračuni debljine termoizolacionog sloja i tipovi metoda reciklaža tekstilnog materijala

Usvojeni parametri za proračun potrebne debljine izolacionog sloja su korišteni iz već postojećih istraživanja autora i njihovih tehnika: tehnika direktne metode (Trajković i dr. (2017.)), tehnika netkanog materijala (Zach i dr. 2016.a) i tehnika kombinovanja sa građevinskim materijalom (del Mar Barbero – B. i dr. 2016.).

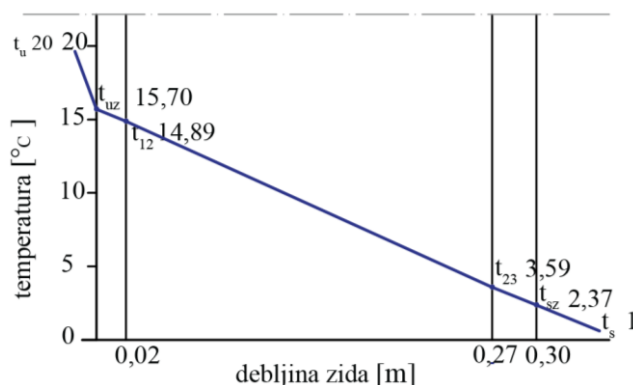
U tabeli 2 su prikazani ulazni podaci debljine  $d$  [m] i toplotne provodljivosti zida  $\lambda$  [W/mK], karakterističnog spoljašnjeg zida neophodni za proračun potrebne debljine termoizolacije i koeficijenta prolaza toplote kako bi bio ispunjen uslov propisan važećim „Pravilnikom o minimalnim zahtjevima za energetske karakteristike zgrada“ da najveća dozvoljena vrijednost koeficijenta prolaza toplote za spoljašnje zidove, za oblast sjever i prosječnu mjesečnu temperaturu koja je  $\leq 3^\circ\text{C}$ ,  $U_{max} \leq 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Za unutrašnju temperaturu vazduha uzeta je vrijednost od  $20^\circ\text{C}$ , dok je za spoljašnju temperaturu vazduha za područje Banjaluke uzeta najniža srednja mjesečna temperatura koja se odnosi na mjesec januar i iznosi  $1^\circ\text{C}$ , koeficijent prelaza toplote sa

unutrašnjeg vazduha na zid  $\alpha_u$  iznosi  $8 \text{ W/m}^2\text{K}$ , dok koeficijent prelaza toplote sa zida na spoljašnji vazduh  $\alpha_s$  iznosi  $25 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

**Tabela 2.** Slojevi zida predmetnog objekta bez termoizolacije. *Izvor: Analiza autora*

| Materijal              | $d$ [m] | $\lambda$ [W/mK] | $q$ [W/m <sup>2</sup> ] | $R$ [m <sup>2</sup> K/W]        |
|------------------------|---------|------------------|-------------------------|---------------------------------|
|                        |         |                  |                         | 0,13                            |
| Produžni krečni malter | 0,02    | 0,850            | 34,37                   | 0,02                            |
| Zid od opeke           | 0,25    | 0,760            | 34,37                   | 0,33                            |
| Produžni krečni malter | 0,03    | 0,850            | 34,37                   | 0,04                            |
| $\Sigma d = 0,30$      |         |                  |                         | $\Sigma R = 0,55$               |
|                        |         |                  |                         | $U$ [W/m <sup>2</sup> K] = 1,81 |

Koeficijent prolaza toplote za postojeći zid objekta ima visoku vrijednost i iznosi  $1,81 \text{ W/m}^2\text{K}$ , što je i očekivano imajući u vidu činjenicu da je u pitanju neizolovan objekat, a što direktno uzrokuje i nisku vrijednost toplotnog otpora ( $R$ ). Zbog navedenog su visoki i toplotni gubici, odnosno vrijednost gustine toplotnog fluksa kroz ovaj zid koji iznosi  $q=34,37 \text{ W/m}^2$ . Na slici 20 prikazan je grafik raspodjele temperature kroz zid na kom uočavamo da je pad temperature linearno proporcionalan toplotnom otporu. Dakle, analizirani spoljašnji zid ne zadovoljava gore navedeni minimalni zahtjev da je  $U_{max} \leq 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ .



**Slika 20.** Grafikon raspodjele temperatura kroz postojeći zid, bez sloja termoizolacije. *Izvor: Analiza autora.*

Prilikom proračuna potrebne debljine izolacije korištene su tri različite vrste materijala nastale različitim metodama reciklaže: tehnika direktne metode, tehnika netkanog materijala i kombinovanje sa građevinskim materijalom. Usvojeni koeficijent toplotne provodljivosti ( $\lambda_r$ ) je izražen kao srednja vrijednost minimalne ( $\lambda_{min}$ ) i maksimalne vrijednosti ( $\lambda_{max}$ ) dobijenih na osnovu istraživanja autora (tabela 3).

$$* \lambda_r = (\lambda_{min} + \lambda_{max}) / 2 \quad (11)$$

**Tabela 3.** Tehnike reciklaže otpada u izolacione materijale, usvojeni koeficijenti autora. *Izvor: Analiza autora*

| Tip metode raciklaže                     | $\lambda_{min}$<br>[W/mK] | $\lambda_{max}$<br>[W/mK] | $\lambda_r$<br>[W/mK] | Autor                             |
|------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| Tehnika direktne metode                  | 0,052                     | 0,060                     | 0,056                 | Trajković i dr., 2017.            |
| Tehnika netkanog materijala              | 0,037                     | 0,049                     | 0,043                 | Zach i dr., 2016. a               |
| Kombinovanje sa građevinskim materijalom | 0,140                     | 0,140                     | 0,140                 | del Mar Barbero – B. i dr., 2016. |

### 3.4. Analiza ekonomskih i ekoloških kriterijuma izabranih termoizolacijskih materijala

Multikriterijska metodologija (*MCA*) se koristi za donošenje odluka u situacijama gdje je potrebno uzeti u obzir više kriterija ili faktora koji su važni za donošenje konačne odluke. Multikriterijska analiza ekoloških i ekonomskih kriterijuma izabranih termoizolacijskih materijala je izvršena primjenom *DEXi* programskog alata (Vojinović Đ. 2022.) koji se koristi za analizu i donošenje odluka o najboljim opcijama između različitih alternativa koje se razmatraju. *DEXi* program koristi matematičke modele i algoritme kako bi se analizirali različiti kriteriji i omogućila procjena najboljih opcija između izabranih alternativa. Prvi korak u analizi pomoću *DEXi* programa je definisanje cilja analize i kriterija koji će se koristiti za procjenu alternativa. Cilj multikriterijske analize je donošenje odluke o prednostima termoizolacijskih materijala na osnovu ekonomskih i ekoloških kriterijuma, dok su alternative tekstilni i EPS termoizolacioni materijal. Nakon odabira alternativa, biraju se kriterijumi koji se koriste za procjenu alternative. U tabeli 4 su prikazani podaci za kriterijum ekološke analize koji se odnose na količinu proizvodnje tekstilnog materijala i EPS na godišnjem nivou za 2021. godinu. Na osnovu podataka iz tabele 4, može se zaključiti da je količina proizvedenog tekstila i do sedam puta veća u odnosu na količinu proizvedenog ekspanzirani polistiren na godišnjem nivou, te da je procenat reciklaže približan i iznosi od 10% za ekspanzirani polistiren i 12% za tekstilni materijal.

**Tabela 4.** Globalna proizvodnja i reciklaža na godišnjem nivou u 2021. godini. *Izvor: Analiza autora.*

| UKUPNA PROIZVODNJA NA GLOBALNOM NIVOU |                 |                                                                                                                                                                                                                    |
|---------------------------------------|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Materijal                             | /godišnje [kg]  | Izvor                                                                                                                                                                                                              |
| Ekspanzirani polistiren               | 15.610 000 000  | <a href="https://www.statista.com/statistics/1065889/global-polystyrene-production-capacity/">https://www.statista.com/statistics/1065889/global-polystyrene-production-capacity/</a> , Pristup 28.02.2023. godine |
| Tekstil                               | 113.000 000 000 | <a href="https://textileexchange.org/materials-dashboard/">https://textileexchange.org/materials-dashboard/</a> , 28.02.2023. godine, Pristup 28.02.2023. godine                                                   |
| RECIKLAŽA NA GODIŠNJEM NIVOU [%]      |                 |                                                                                                                                                                                                                    |

| Materijal               | /[%] | Izvor                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-------------------------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ekspandirani polistiren | 10%  | <a href="https://www.newscientist.com/article/2333758-simple-chemistry-can-recycle-polystyrene-into-more-valuable-products/">https://www.newscientist.com/article/2333758-simple-chemistry-can-recycle-polystyrene-into-more-valuable-products/</a> , Pristup 28.02.2023. godine |
| Tekstil                 | 12%  | <a href="https://www.bbc.com/future/article/20200710-why-clothes-are-so-hard-to-recycle">https://www.bbc.com/future/article/20200710-why-clothes-are-so-hard-to-recycle</a> , Pristup 28.02.2023. godine                                                                         |

U tabeli 5 su prikazani ekološki kriterijumi koji se odnose na potrošnju resursa i energije u procesu proizvodnje tekstila i EPS materijala, uključujući kompletan proces proizvodnje od prerade sirovina do konačnog proizvoda. Vrijednosti su izražene po 1 [kg] materijala kao i količina na godišnjem nivou. Na osnovu podata iz tabele 5 može se zaključiti da tekstil emituje znatno veće količine CO<sub>2</sub> na godišnjem nivou, kao i da je količina potrošnje vode i energije u procesu proizvodnje tekstila veća u odnosu na proizvodnju ekspandiranog polistirena.

**Tabela 5.** Ekološki kriterijumi, potrošnja resursa i energije u procesu proizvodnje. *Izvor: Analiza autora.*

| EMISIJA CO <sub>2</sub> U PROCESU PROIZVODNJE [kg]     |           |                    |                                                                                                                                                                                                                            |
|--------------------------------------------------------|-----------|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Materijal                                              | /po 1[kg] | /godišnje          | Izvor                                                                                                                                                                                                                      |
| Ekspandirani polistiren                                | 2,14      | 33.405 400 000     | <i>Expandable Polystyrene (EPS)PlasticsEurope, 2015)</i>                                                                                                                                                                   |
| Tekstil                                                | 3,54      | 400.000 000 000    | <a href="https://textileexchange.org/climate+-dashboard/">https://textileexchange.org/climate+-dashboard/</a> Pristup 01.03.2023. godine                                                                                   |
| POTROŠNJA VODE U PROCESU PROIZVODNJE [m <sup>3</sup> ] |           |                    |                                                                                                                                                                                                                            |
| Materijal                                              | /po 1[kg] | /godišnje          | Izvor                                                                                                                                                                                                                      |
| Ekspandirani polistiren                                | 0,017     | 266.931 000        | <i>Expandable Polystyrene (EPS)PlasticsEurope, 2015)</i>                                                                                                                                                                   |
| Tekstil                                                | 457       | 51.660 000 000 000 | <i>Climate+ Dashboard - Textile Exchange, Pristup 01.03.2023. godine</i>                                                                                                                                                   |
| POTROŠNJA ENERGIJE U PROCESU PROIZVODNJE [MJ]          |           |                    |                                                                                                                                                                                                                            |
| Materijal                                              | /1[MJ]    | /godišnje          | Izvor                                                                                                                                                                                                                      |
| Ekspandirani polistiren                                | 85,59     | 1.336 059 900 000  | <i>Expandable Polystyrene (EPS)PlasticsEuropeFebruary 2015</i>                                                                                                                                                             |
| Tekstil                                                | 200       | 22.600 000 000 000 | <a href="https://oecotextiles.blog/2009/06/16/what-is-the-energy-profile-of-the-textile-industry/">https://oecotextiles.blog/2009/06/16/what-is-the-energy-profile-of-the-textile-industry/</a> Pristup 01.03.2023. godine |

U tabeli 6 su prikazani ulazni podaci za analizu ekonomskih kriterijuma koji se odnose na proces ugradnje, cijenu koštanja i dostupnost na tržištu kao i potrebnu debljinu termoizolacionog materijala pod istim klimatskim uslovima i površini omotača objekta koji direktno utiče na cijenu

materijala. Na osnovu podataka iz tabele 6, zaključujemo da je ekspanzirani polistiren jednostavniji za ugradnju, lakše dostupan na tržištu i povoljniji u odnosu na tekstilnu termoizolaciju iz razloga što je tekstilna termoizolacija još uvijek nije široko dostupna na tržištu.

**Tabela 6.** Ekonomski kriterijumi. *Izvor: Analiza autora.*

| PROCES UGRADNJE                                                 |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------------------------------------------------------------|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Materijal                                                       | jednostavan          | složen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Ekspanzirani polistiren                                         | x                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Tekstil                                                         |                      | x                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| TRŽIŠNA CIJENA TERMOIZOLACIONOG MATERIJALA [KM/m <sup>2</sup> ] |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Materijal                                                       | /1 [m <sup>2</sup> ] | Izvor                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Ekspanzirani polistiren                                         | 11,90 KM             | <a href="https://centrumshop.ba/boje-i-fasade/fasadni-sistemi/fasadna-izolacija/stiropor/eurotherm-stiropor-60-eps-100mm.html">https://centrumshop.ba/boje-i-fasade/fasadni-sistemi/fasadna-izolacija/stiropor/eurotherm-stiropor-60-eps-100mm.html</a> Pristup 29.02.2023. godine                                                               |
| Tekstil                                                         | 38,56 KM             | <a href="https://www.pointp.fr/p/platre-isolation/panneau-isolant-biosource-isocoton-epaisseur-140mm-600-x-1200-mm-r-3-75-m2-k-w-acermi-21-018-1558-A4338025">https://www.pointp.fr/p/platre-isolation/panneau-isolant-biosource-isocoton-epaisseur-140mm-600-x-1200-mm-r-3-75-m2-k-w-acermi-21-018-1558-A4338025</a> Pristup 29.02.2023. godine |
| DOSTUPNOST TERMOIZOLACIONOG MATERIJALA NA TRŽIŠTU               |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Materijal                                                       | Lako dostupan        | Teško dostupan                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Ekspanzirani polistiren                                         | x                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Tekstil                                                         |                      | x                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| DEBLJINA TERMOIZOLACIJSKOG MATERIJALA [cm]                      |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Materijal                                                       | d [cm]               | Izvor                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Ekspanzirani polistiren                                         | 10                   | <i>Analiza autora</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Tekstil                                                         | 12                   | <i>Analiza autora</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

Kako bi se kriteriji precizno procijenili, postavlja se težina za svaki kriterijum, nakon čega se vrši ocjena alternativa prema odabranim kriterijumima (tabela 7). Skala za ocjenjivanje je formirana na osnovu zadatih kriterijuma (tabela 4, tabela 5, tabela 6), a podijeljena je u tri stepena težine za ocjenu termoizolacijskog materijala na osnovu ekoloških i ekonomskih kriterijuma a to su: izabrani materijal je nepovoljan, izabrani materijal može biti upotrebljen i izabrani materijal je povoljan.

**Tabela 7.** Parametri za odabir težine kriterijuma. *Izvor: Analiza autora.*

| ATRIBUTI                                                                                | SKALA ZA OCJENJIVANJE                                           |                                                                            |                                                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Ocjena termoizolacijskog materijala na osnovu ekoloških i ekonomskih kriterijuma</b> | <b>izabrani materijal je nepovoljan</b>                         | izabrani materijal može biti upotrebljen                                   | <b>izabrani materijal je povoljan</b>                                                   |
| <b>Ekoloski kriterijumi, globalna proizvodnja i reciklaža na godišnjem nivou</b>        | <b>izabrani materijal je izrazito nepovoljan</b>                | izabrani materijal je nepovoljan                                           | <b>izabrani materijal je povoljan</b><br><b>izabrani materijal je izrazito povoljan</b> |
| - Globalna proizvodnja na godišnjem nivou                                               | <b>visoka</b> (od 80 do 120 miliona tona na godišnjem nivou)    | srednja (od 40 do 80 miliona tona na godišnjem nivou)                      | <b>mala</b> (do 40 miliona tona na godišnjem nivou)                                     |
| - Postotak reciklaže na godišnjem nivou                                                 | <b>1–25 %</b>                                                   | 25 – 50 %                                                                  | <b>50 – 75 %</b><br><b>75 – 100 %</b>                                                   |
| <b>Ekološki kriterijumi, potrošnja resursa i energije</b>                               | <b>izabrani materijal je izrazito nepovoljan</b>                | izabrani materijal je nepovoljan<br>izabrani materijal je povoljan         | <b>izabrani materijal je izrazito povoljan</b>                                          |
| - Emisija CO <sub>2</sub> u procesu proizvodnje                                         | <b>visoka emisija CO<sub>2</sub></b> (od 7 do 10 kg)            | srednja emisija CO <sub>2</sub> (od 3 do 7 kg)                             | <b>niska emisija CO<sub>2</sub></b> (do 3 kg)                                           |
| - Potrošnja vode u procesu proizvodnje                                                  | <b>velika potrošnja vode</b> (od 350 do 500l po 1 kg)           | prosječna potrošnja vode (od 150 do 350l po 1 kg)                          | <b>mala potrošnja vode</b> (do 150 l po 1kg)                                            |
| - Potrošnja energije u procesu proizvodnje                                              | <b>velika potrošnja energije</b> (od 150 do 200 MJ po 1 kg)     | srednja potrošnja energije (od 75 do 150 MJ po 1 kg)                       | <b>mala potrošnja energije</b> (do 75 MJ po 1 kg)                                       |
| <b>Ekonomski kriterijumi</b>                                                            | <b>izabrani materijal je izrazito nepovoljan</b>                | izabrani materijal je nepovoljan; izabrani materijal je povoljan           | <b>izabrani materijal je izrazito povoljan</b>                                          |
| - Proces ugradnje termoizolacionog materijala                                           | <b>komplikovan proces ugradnje</b>                              | standardni proces ugradnje                                                 | <b>jednostavan proces ugradnje</b>                                                      |
| - Tržisna cijena termoizolacionog materijala                                            | <b>visoka cijena</b>                                            | prosječna cijena                                                           | <b>niska cijena</b>                                                                     |
| - Dostupnost termoizolacionog materijala na tržištu                                     | <b>izabrani materijal je teško dostupan na tržištu</b>          |                                                                            | <b>izabrani materijal je lako dostupan na tržištu</b>                                   |
| - Debljine termoizolacionog materijala                                                  | <b>za izabrani materijal je potrebna veća debljina TM sloja</b> | za izabrani materijal je potrebna srednja debljina termoizolacijskog sloja | <b>za izabrani materijal je potrebna manja debljina TM sloja</b>                        |

Nakon što su sve alternative ocijenjene, *DEXi* program generiše rang – listu alternativa prema njihovoj ukupnoj ocjeni. Na kraju analize, *DEXi* program generiše grafikone i izvještaje za donošenje kvalitetne odluke. Izvještaji se mogu koristiti za procjenu i poređenje alternativa te identifikovanje najbolje opcije prema postavljenim kriterijima, kao i za procjenu budućeg scenarija kako poboljšati izabranu alternativu da bi se postigao određeni cilj.

## 4. REZULTATI

### 4.1. Primjena termoizolacionog materijala na tipskom objektu dobijenog na osnovu različitih tehnika reciklaže

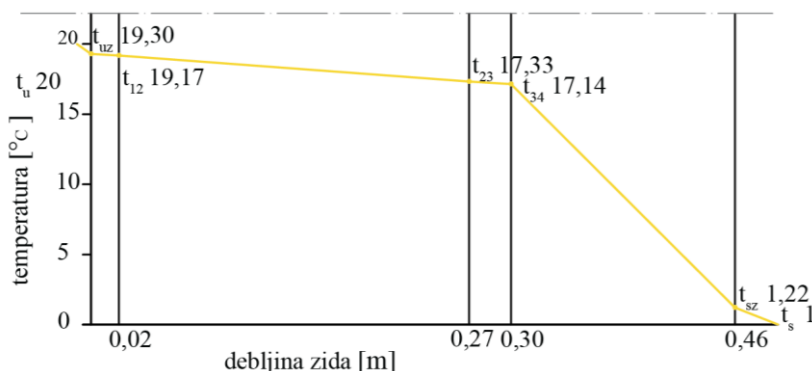
#### 4.1.1. Primjena termoizolacionog materijala dobijenog tehnikom direktne metode

U ovoj metodi korišten je usitnjeni tekstilni otpad od poliestera čiji je koeficijent toplotne provodljivosti ( $\lambda$ ) u rasponu od 0,052 W/mK do 0,060 W/mK, (Trajković i dr. 2017.). Da bi bio zadovoljen uslov da je koeficijent prolaza toplote  $U_{max} \leq 0,30$  W/m<sup>2</sup>K, na postojeći zid potrebo je dodati termoizolacioni sloj debljine od minimalno 16 cm, koeficijenta toplotne provodljivosti  $\lambda=0,056$  W/mK, (tabela 8). Na ovaj način se dodavanjem sloja tekstilne termoizolacije toplotna otpornost ( $R$ ) povećava sa 0,55 m<sup>2</sup>K/W na 3,40 m<sup>2</sup>K/W, a samim tim smanjuje koeficijent prolaza toplote ( $U$ ) sa prvobitnih 1,81 W/m<sup>2</sup>K na 0,29 W/m<sup>2</sup>K. Kao rezultat termoizolacije padaju toplotni gubici, pa se gustina toplotnog fluksa ( $q$ ) 34,37 W/m<sup>2</sup> zida bez sloja termoizolacije, nakon izolacije zida smanjuje na 5,58 W/m<sup>2</sup>.

**Tabela 8.** Primjena termoizolacionog materijala dobijenog tehnikom direktne metode. *Izvor: Analiza autora.*

| Materijal            | $d$ [m] | $\lambda$ [W/mK] | $q$ [W/m <sup>2</sup> ] | $R$ [m <sup>2</sup> K/W]        |
|----------------------|---------|------------------|-------------------------|---------------------------------|
|                      |         |                  |                         | 0,13                            |
| Malter               | 0,02    | 0,850            | 5,58                    | 0,02                            |
| Zid od opeke         | 0,25    | 0,760            | 5,58                    | 0,33                            |
| Malter               | 0,03    | 0,850            | 5,58                    | 0,04                            |
| Izolacioni materijal | 0,16    | 0,056            | 5,58                    | 2,85                            |
|                      |         |                  |                         | 0,04                            |
| $\Sigma d = 0,46$    |         |                  |                         | $\Sigma R = 3,40$               |
|                      |         |                  |                         | $U$ [W/m <sup>2</sup> K] = 0,29 |

Na slici 21 prikazana je raspodjela temperature kroz zid objekta sa dodatnim slojem termoizolacije od recikliranog tekstila. Uočavamo da temperaturni pad kroz zid zavisi od toplotnog otpora zida i da dolazi do pada temperature u sloju zida termoizolacije  $t_{34}$  prema  $t_s$ .



**Slika 21.** Grafikon raspodjele temperatura kroz postojeći zid, sa dodatnim slojem termoizolacije primjenom tehnike direktne metode. *Izvor: Analiza autora.*

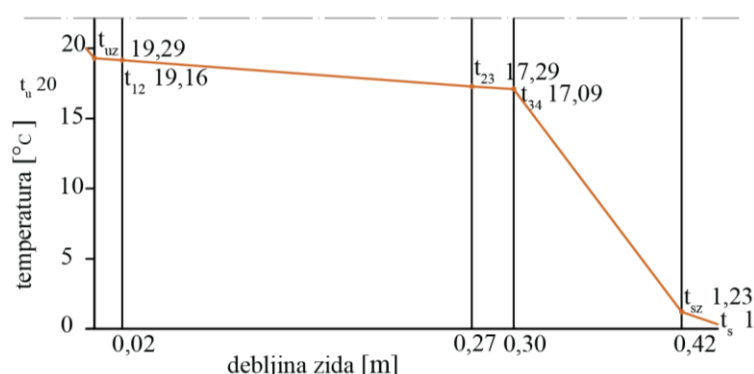
#### 4.1.2. Primjena termoizolacionog materijala dobijenog tehnikom netkanog materijala

Primjenom tehnike netkanog materijala Zach i dr. (2016.a) proizveli su termoizolacijske materijale koristeći reciklirana pamučna, poliesterska i lanena vlakna. Prosječna toplotna provodljivost njihovih materijala je 0,037–0,049 W/mK. Da bi se zadovoljio uslov da je koeficijent prolaza toplote  $U_{max} \leq 0,30$  W/m<sup>2</sup>K potrebno je na postojeći objekat dodati sloj tekstilne termoizolacije koeficijenta toplotne provodljivosti  $\lambda=0,043$  W/mK, debljine minimalno 12 cm (tabela 9).

Na taj način, u odnosu na neizolovan zid (tabela 2) povećava se toplotni otpor ( $R$ ) sa 0,55 m<sup>2</sup>K/W na 5,68 m<sup>2</sup>K/W, a smanjuje koeficijent prolaza toplote sa prvobitnih 1,81 W/m<sup>2</sup>K na 0,30 W/m<sup>2</sup>K. Time se gustina toplotnog fluksa ( $q$ ) bez sloja termoizolacije 34,37 W/m<sup>2</sup> smanjuje nakon dodavanja termoizolacije na 5,68 W/m<sup>2</sup> (tabela 9). Na grafikonu (slika 22) prikazana je raspodjela temperature kroz zid objekta sa dodatnim slojem termoizolacije od recikliranog tekstila, uočavamo da temperaturni pad kroz zid zavisi od toplotne otpornosti zida i da dolazi do pada temperature u sloju zida termoizolacije  $t_{34}$  prema  $t_s$ .

**Tabela 9.** Primjena termoizolacionog materijala dobijenog tehnikom netkanog materijala na postojećem objektu.  
Izvor: Analiza autora

| Materijal            | $d$ [m] | $\lambda$ [W/mK] | $q$ [W/m <sup>2</sup> ] | $R$ [m <sup>2</sup> K/W]        |
|----------------------|---------|------------------|-------------------------|---------------------------------|
|                      |         |                  |                         | 0,13                            |
| Malter               | 0,02    | 0,850            | 5,68                    | 0,02                            |
| Zid od opeke         | 0,25    | 0,760            | 5,68                    | 0,33                            |
| Malter               | 0,03    | 0,850            | 5,68                    | 0,04                            |
| Izolacioni materijal | 0,12    | 0,043            | 5,68                    | 2,79                            |
|                      |         |                  |                         | 0,04                            |
| $\Sigma d = 0,42$    |         |                  |                         | $\Sigma R = 3,34$               |
|                      |         |                  |                         | $U$ [W/m <sup>2</sup> K] = 0,30 |



**Slika 22.** Grafikon raspodjele temperatura kroz postojeći zid, sa dodatnim slojem termoizolacije primjenom tehnike netkanog materijala. Izvor: Analiza autora

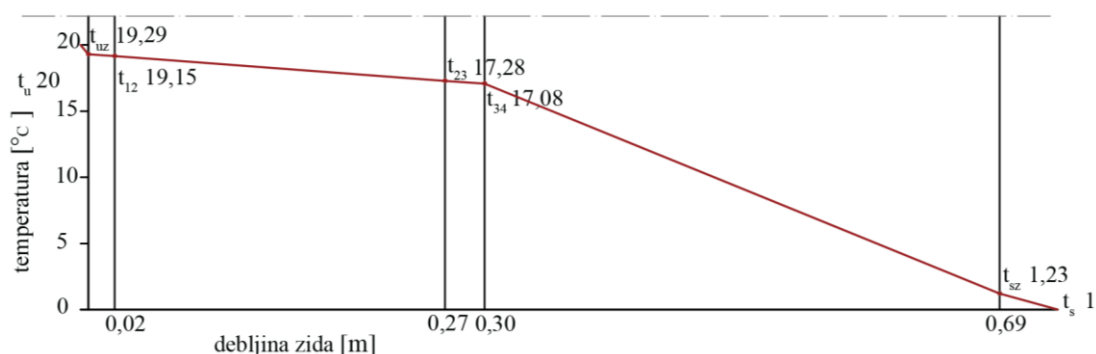
#### 4.1.3. Primjena termoizolacionog materijala dobijenog tehnikom kombinovanja recikliranog tekstila sa građevinskim materijalom

Del Mar Barbero – Barrera i dr. (2016.) koristili su otpad od tekstilnih vlakana s prirodnim hidrauličnim krečom za proizvodnju ploča sa boljim svojstvima toplotne izolacije. Najbolja toplotna provodljivost njihovih materijala je 0,140 W/mK. Da bi se zadovoljio uslov da je koeficijent prolaza toplote  $U_{max} \leq 0,30$  W/m<sup>2</sup>K potrebno je na postojeći objekat dodati termizolacioni sloj debljine minimalno 39 cm (tabela 10).

U odnosu na neizolovan zid (tabela 2), dodavanjem navedene debljine sloja tekstilne termoizolacije povećava se toplotni otpor ( $R$ ) sa 0,55 m<sup>2</sup>K/W na 3,34 m<sup>2</sup>K/W, a smanjuje koeficijent prolaza toplote ( $U$ ) sa prvobitnih 1,81 W/m<sup>2</sup>K na 0,30 W/m<sup>2</sup>K. Takođe, gustina toplotnog fluksa ( $q$ ), koja je bez sloja termoizolacije 34,37 W/m<sup>2</sup> sa slojem izolacije iznosi 5,69 W/m<sup>2</sup> (tabela 10). Na grafikonu (slika 23) prikazana je raspodjela temperature kroz zid objekta sa slojem termoizolacije od recikliranog tekstila, uočavamo da temperaturni pad kroz zid zavisi od toplotnog otpora zida, te da je za uslov  $U_{max} \leq 0,30$  W/m<sup>2</sup>K potrebna znatno veća debljina termoizolacionog sloja od recikliranog tekstila u odnosu na termoizolacioni materijal dobijen tehnikom direktne metode kao i tehnikom netkanog materijala.

**Tabela 10.** Primjena termoizolacionog materijala dobijenog tehnikom kombinovanja recikliranog tekstila sa građevinskim materijalom. *Izvor: Analiza autora.*

| Materijal            | $d$ [m] | $\lambda$ [W/mK] | $q$ [W/m <sup>2</sup> ] | $R$ [m <sup>2</sup> K/W]        |
|----------------------|---------|------------------|-------------------------|---------------------------------|
|                      |         |                  |                         | 0,13                            |
| Malter               | 0,02    | 0,850            | 5,69                    | 0,02                            |
| Zid od opeke         | 0,25    | 0,760            | 5,69                    | 0,33                            |
| Malter               | 0,03    | 0,850            | 5,69                    | 0,04                            |
| Izolacioni materijal | 0,39    | 0,140            | 5,69                    | 2,79                            |
|                      |         |                  |                         | 0,04                            |
| $\Sigma d = 0,69$    |         |                  |                         | $\Sigma R = 3,34$               |
|                      |         |                  |                         | $U$ [W/m <sup>2</sup> K] = 0,30 |



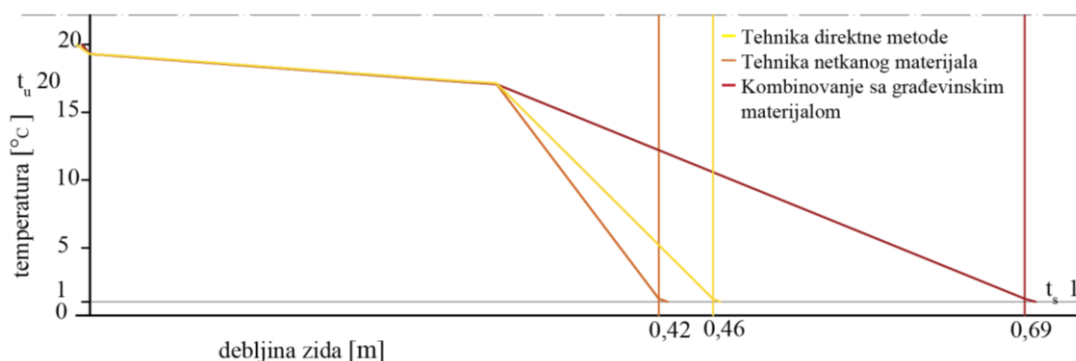
**Slika 23.** Grafikon raspodjele temperatura kroz postojeći zid, sa dodatim slojem termoizolacije primjenom tehnike kombinovanja sa građevinskim materijalom. *Izvor: Analiza autora.*

#### 4.2. Poređenje termoizolacijskih materijala na osnovu rezultata tehnika metoda reciklaže

Prilikom poređenja metoda reciklaže tekstila u svrhu izolacionih materijala na primjeru tipskog objekta na području RS, rezultati su pokazali da je najbolja metoda „*Tehnika netkanog materijala*“, za koji je usvojen koeficijent toplotne provodljivosti  $\lambda=0,043$  W/mK i najmanja potrebna debljina izolacije  $d=12$  cm, a da je pri tome zadovoljen uslov koeficijenta prolaza toplote  $U_{max} \leq 0,30$  W/m<sup>2</sup>K (tabela 11). U tabeli 11 prikazani su rezultati svih metoda kao i postojeće stanje objekta bez sloja termoizolacije radi lakšeg poređenja. Imajući u vidu postavljeni uslov, može se uočiti da su  $U$  – vrijednosti kod svih tehnika približne kao i toplotna otpornost ( $R$ ) i gustina toplotnog fluksa ( $q$ ). Međutim, primjetna je značajna razlika u potrebnoj debljini izolacije ( $d$ ) od recikliranog tekstila koja u ovom slučaju direktno zavisi od koeficijent toplotne provodljivosti ( $\lambda$ ). te da kod tehnike direktne metode ( $\lambda$ ) ima najnižu vrijednost od 0,043 W/mK, dok kod tehnike kombinovanja sa građevinskim materijalom ima najvišu vrijednost od 0,140 W/mK, zbog čega se i potrebne debljine termoizolacionog sloja razlikuju.

**Tabela 11.** Poređenje potrebne debljine izolacije i koeficijenta prolaza toplote korištenjem različitih tehnika reciklaže.  
Izvor: Analiza autora.

| Predmetni objekat                                                             | Potrebna debljina izolacije $d$ [m] | $\lambda$ r [W/mK] | $q$ [W/m <sup>2</sup> ] | $R$ [m <sup>2</sup> K/W] | $U$ [W/m <sup>2</sup> K] |
|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Objekat bez sloja termoizolacije                                              |                                     |                    | 34,372                  | 0,553                    | 1,809                    |
| <b>Objekat sa dodatnim slojem termoizolacije po tipovima metoda reciklaže</b> |                                     |                    |                         |                          |                          |
| Tehnika direktne metode                                                       | 0,16                                | 0,056              | 5,58                    | 3,40                     | 0,29                     |
| Tehnika netkanog materijala                                                   | 0,12                                | 0,043              | 5,68                    | 3,34                     | 0,30                     |
| Kombinovanje sa građevinskim materijalom                                      | 0,39                                | 0,140              | 5,69                    | 3,34                     | 0,30                     |



**Slika 24.** Grafikon poređenja raspodjele temperatura kroz postojeći zid sa dodatim slojevima termoizolacije kada se koriste sve tri tehnike reciklaže tekstila. Izvor: Analiza autora.

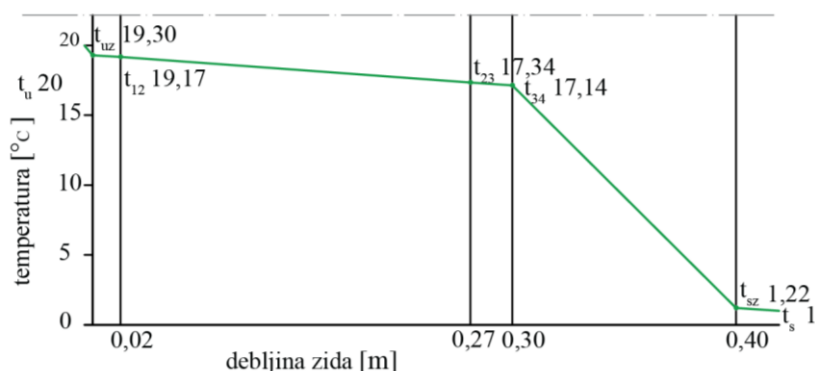
Na slici 24 su prikazane raspodjele temperature kroz postojeći zid odabranog tipskog objekta, na kojem se vidi da je najmanja potrebna debljina izolacije  $d=12$  cm (ukupna debljina zida 42 cm), kod tehnike netkanog materijala, a najveća  $d=39$  cm (ukupna debljina zida 0,69 cm) kod tehnike kombinovanja sa građevinskim materijalom.

#### 4.3. Termoizolacija objekta konvencionalnim materijalom

U odnosu na neizolovan zid (tabela 2), dodavanjem sloja termoizolacije (tabela 12) ekspanzirani polistiren debljine  $d=10$  cm i koeficijenta toplotne provodljivosti  $\lambda=0,035$  W/mK, povećava se toplotna otpornost ( $R$ ) sa  $0,55$  m<sup>2</sup>K/W na  $3,41$  m<sup>2</sup>K/W, a smanjuje koeficijent prolaza toplote ( $U$ ) sa prvobitnih  $1,81$  W/m<sup>2</sup>K na  $0,29$  W/m<sup>2</sup>K. Takođe, gustina toplotnog fluksa bez sloja termoizolacije je  $34,37$  W/m<sup>2</sup> dok sa slojem izolacije iznosi  $5,57$  W/m<sup>2</sup>. Slika 25 prikazuje raspodjelu temperature kroz zid objekta sa dodatnim slojem konvencionalne termoizolacije. Može se zaključiti da je za uslov  $U_{max} \leq 0,30$  W/m<sup>2</sup>K potrebna najmanja debljina termoizolacionog sloja u odnosu na izolaciju od recikliranog tekstila za sve razmatrane metode reciklaže.

**Tabela 12.** Primjena konvencionalnog materijala na postojećem objektu. *Izvor: Analiza autora*

| Materijal            | $d$ [m] | $\lambda$ [W/mK] | $q$ [W/m <sup>2</sup> ] | $R$ [m <sup>2</sup> K/W]       |
|----------------------|---------|------------------|-------------------------|--------------------------------|
|                      |         |                  |                         | 0,13                           |
| Malter               | 0,02    | 0,850            | 5,57                    | 0,02                           |
| Zid od opeke         | 0,25    | 0,760            | 5,57                    | 0,33                           |
| Malter               | 0,03    | 0,850            | 5,57                    | 0,04                           |
| Izolacioni materijal | 0,10    | 0,035            | 5,57                    | 2,86                           |
|                      |         |                  |                         | 0,04                           |
| $\Sigma d= 0,40$     |         |                  |                         | $\Sigma R= 3,41$               |
|                      |         |                  |                         | $U$ [W/m <sup>2</sup> K]= 0,29 |



**Slika 25.** Raspodjela temperature kroz zid objekta sa dodatim slojem konvencionalne termoizolacije. *Izvor: Analiza autora.*

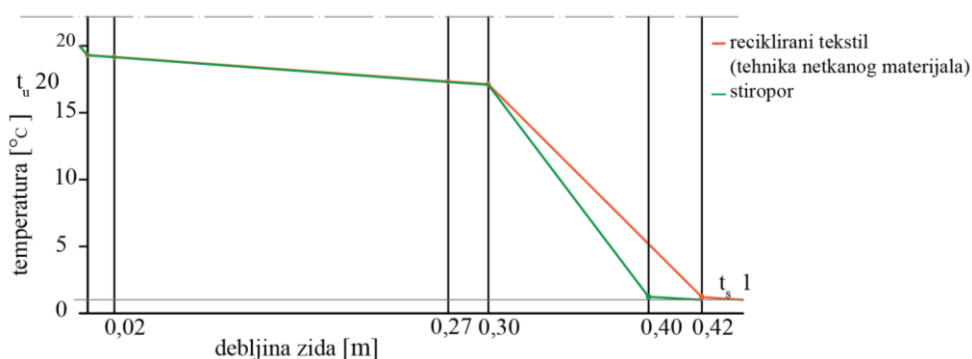
#### 4.4. Poređenje termoizolacija dobijene tehnikom netkanog materijala i konvencionalnog termoizolacionog materijala

Prilikom poređenja tehnike netkanog materijala koja je usvojena kao najpovoljnija (tabela 11) i konvencionalnog materijala ekspanzirani polistiren u svrhu izolacionih materijala na primjeru tipskog objekta na području RS, rezultati su pokazali da je potrebna manja debljina termoizolacionog sloja od ekspanziranog polistirena ( $d=10$  cm) u odnosu na termoizolacioni sloj od recikliranog tekstila ( $d=12$  cm).

U tabeli su prikazani su rezultati odabranih metoda (tabela 13) kao i postojeće stanje objekta bez sloja termoizolacije radi lakšeg poređenja. Zbog postavljenog uslova da je  $U_{max} \leq 0,30$  W/m<sup>2</sup>K uočavamo da su ( $U$ ) vrijednosti kod obe tehnika približne kao i otpornost ( $R$ ) i gustina toplotnog fluksa ( $q$ ), dok je primjetna razlika u potrebnoj debljini izolacije ( $d$ ), koja je prouzrokovana razlikom u koeficijentima toplotne provodljivosti ( $\lambda$ ). Na grafikonu (slika 26) prikazana je raspodjela temperature kroz zid objekta sa dodatim slojem konvencionalne i termoizolacije od recikliranog materijala (dobijene tehnikom netkanog materijala). Kao što se može vidjeti postoji razlika u ukupnoj debljini zida, jer kod termoizolacije dobijene tehnikom netkanog materijala iznosi 42 cm, dok kod konvencionalne termoizolacije iznosi 40 cm.

**Tabela 13.** Poređenje dobijenih rezultata potrebne debljine izolacije i koeficijenta prolaza toplote kod konvencionalnog materijala za izolaciju i tehnike netkanog materijala. *Izvor: Analiza autora*

| Predmetni objekat                                | Potrebna debljina izolacije $d$ [m] | $\lambda$ $r$ [W/mK] | $q$ [W/m <sup>2</sup> ] | $R$ [m <sup>2</sup> K/W] | $U$ [W/m <sup>2</sup> K] |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Objekat bez sloja termoizolacije                 |                                     |                      | 34,37                   | 0,55                     | 1,81                     |
| <b>Objekat sa dodatnim slojem termoizolacije</b> |                                     |                      |                         |                          |                          |
| Tehnika netkanog materijala                      | 0,12                                | 0,043                | 5,68                    | 3,34                     | 0,30                     |
| Konvencionalni tip termoizolacije_EPS            | 0,10                                | 0,035                | 5,57                    | 3,41                     | 0,29                     |



**Slika 26.** Grafikon poređenja raspodjele temperatura kroz postojeći zid sa dodatim slojevima termoizolacije od konvencionalnog materijala i recikliranog tekstila (tehnika netkanog materijala). *Izvor: Analiza autora.*

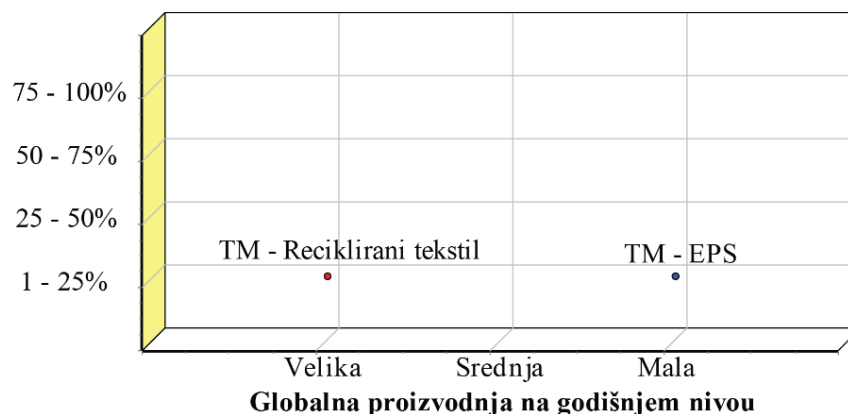
#### 4.5. Rezultati multikriterijske analize izabranih termoizolacijskih materijala na osnovu zadatih kriterijuma

Nakon vrednovanja atributa prikazanih u tabeli (tabela 7), dobijeni su rezultati, na osnovu kojih je donesena zaključna ocjena za svaki atribut izabranih materijala (tabela 14).

**Tabela 14.** Rezultati vrednovanja izabranih alternativa (konvencionalnog termoizolacijskog materijala i tekstilne termoizolacije). Izvor: Analiza autora.

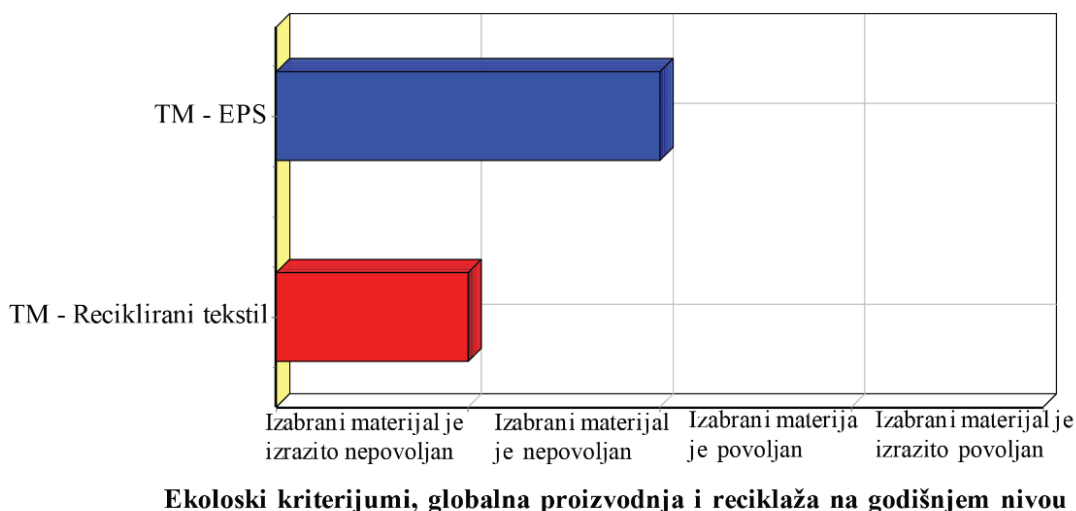
| ATRIBUTI                                                                                | Termoizolacijski materijal – EPS                                                | Termoizolacijski materijal – reciklirani tekstil                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Ocjena termoizolacijskog materijala na osnovu ekoloških i ekonomskih kriterijuma</b> | izabrani materijal može biti upotrijebljen                                      | <b>izabrani materijal je nepovoljan</b>                                         |
| <b>Ekološki kriterijumi, (globalna proizvodnja i reciklaža na godišnjem nivou)</b>      | izabrani materijal je nepovoljan                                                | <b>izabrani materijal je izrazito nepovoljan</b>                                |
| - Globalna proizvodnja na godišnjem nivou                                               | <i>mala</i>                                                                     | <b>visoka</b>                                                                   |
| - Postotak reciklaže na godišnjem nivou                                                 | <b>1 – 25%</b>                                                                  | <b>1 – 25%</b>                                                                  |
| <b>Ekološki kriterijumi, potrošnja resursa i energije</b>                               | <i>izabrani materijal je izrazito povoljan</i>                                  | izabrani materijal je nepovoljan                                                |
| - Emisija CO <sub>2</sub> u procesu proizvodnje                                         | <i>niska emisija CO<sub>2</sub></i>                                             | srednja emisija CO <sub>2</sub>                                                 |
| - Potrošnja vode u procesu proizvodnje                                                  | <i>mala potrošnja vode</i>                                                      | <b>velika potrošnja vode</b>                                                    |
| - Potrošnja energije u procesu proizvodnje                                              | srednja potrošnja energije                                                      | <b>velika potrošnja energije</b>                                                |
| <b>Ekonomski kriterijumi</b>                                                            | <i>izabrani materijal je izrazito povoljan</i>                                  | izabrani materijal je nepovoljan                                                |
| - Proces ugradnje termoizolacionog materijala                                           | <i>Jednostavan proces ugradnje</i>                                              | standardni proces ugradnje                                                      |
| - Tržišna cijena termoizolacionog materijala                                            | <i>niska cijena</i>                                                             | prosječna cijena                                                                |
| - Dostupnost termoizolacionog materijala na tržištu                                     | <i>izabrani materijal je lako dostupan na tržištu</i>                           | <b>izabrani materijal je teško dostupan na tržištu</b>                          |
| - Debljine termoizolacionog materijala                                                  | za izabrani materijal je potrebna srednja debljina termoizolacijskog materijala | za izabrani materijal je potrebna srednja debljina termoizolacijskog materijala |

Na slici 27 prikazano je poređenje postotka reciklaže i globalne proizvodnje tekstilnog materijala i EPS. Uočava se da je postotak reciklaže približan (od 1 – 25%), međutim količina proizvodnje materijala na godišnjem nivou se znatno razlikuje (količina proizvodnje EPS – a je okarakterisana kao mala, dok je proizvodnja tekstila okarakterisana kao velika) (tabela 14) samim tim direktno utiče i na količinu recikliranog materijala. Povećan obim proizvodnje za posljedicu daje i povećanu količinu otpada, a samim tim i veći uticaj na zagađenje životne sredine.



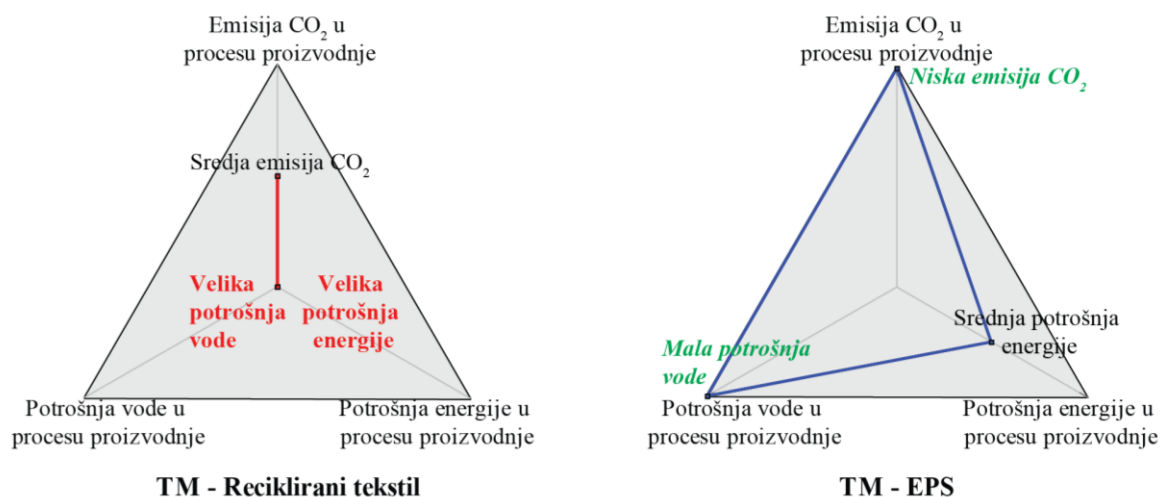
**Slika 27.** Postotak reciklaže i obim proizvodnje sirovina izabranih termoizolacijskih materijala na godišnjem nivou. *Izvor: Analiza autora.*

Na osnovu zadatog kriterijuma, poređenja postotka reciklaže i ukupne proizvodnje (slika 28) prikazuje rezultat iz kojeg se vidi da EPS ima nepovoljan uticaj na životnu sredinu, ali je bolji u odnosu na tekstil koji je okarakterisan kao izuzetno nepovoljan (tabela 14).



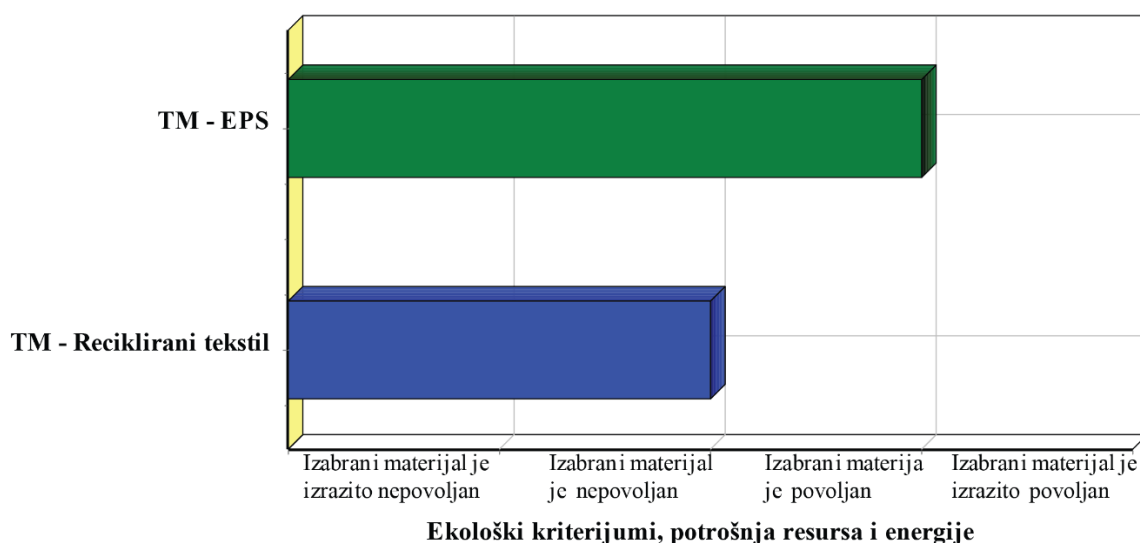
**Slika 28.** Ekološki kriterijumi, globalna proizvodnja i reciklaža izabranih termoizolacijskih materijala na godišnjem nivou. *Izvor: Analiza autora.*

Na slici 29 prikazano je poređenje ekoloških kriterijuma vezanih za potrošnju resursa, energije i emisiju CO<sub>2</sub> u procesu proizvodnje izabranih materijala a na osnovu 1 kg proizvedenih materijala. Na grafikonima uočavamo da je potrošnja vode (resursa), energije kao i emisija CO<sub>2</sub> znatno veća u procesu proizvodnje tekstila u odnosu na proces proizvodnje ekspaniranog polistirena.



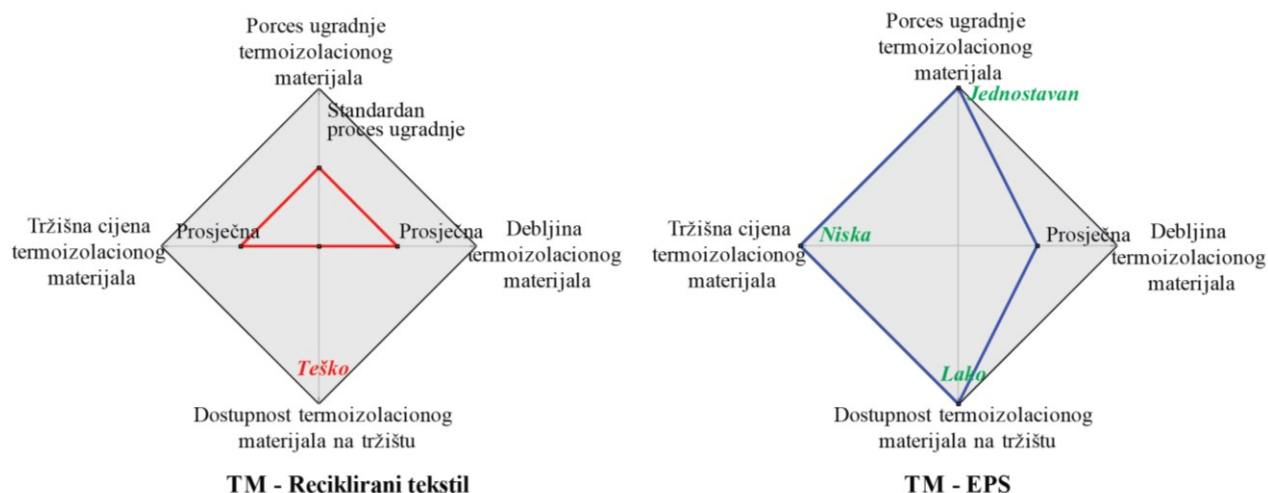
**Slika 29.** Potrošnja resursa, energije i emisija CO<sub>2</sub> u procesu proizvodnje izabranih materijala. *Izvor: Analiza autora.*

Na osnovu izabranih ekoloških kriterijuma u procesu proizvodnje na grafikonu (slika 30) uočavamo da je proizvodnja ekspaniranog polistirina povoljna u odnosu na proizvodnju tekstila kao sirovine za termoizolacioni materijal.



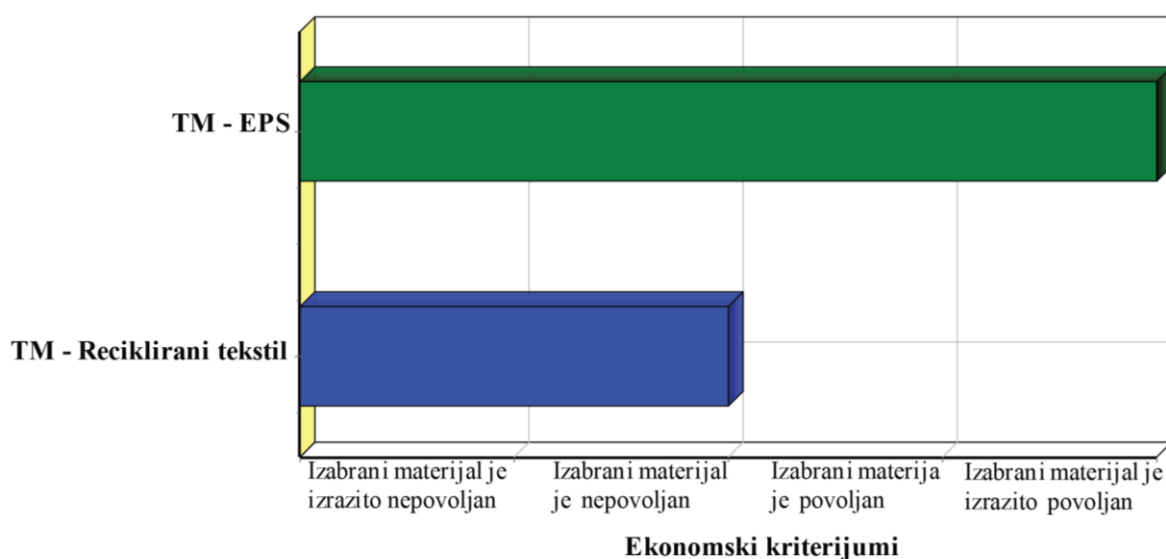
**Slika 30.** Ekološki kriterijumi, potrošnja resursa, energije i emisija CO<sub>2</sub> u procesu proizvodnje izabranih materijala. *Izvor: Analiza autora.*

Na grafikonima (slika 31), uočavamo da je proces ugradnje konvencionalnih termoizolacijskih materijala, tržišna cijena kao i dostupnost na tržištu bolja u odnosu na termoizolacioni materijal od tekstila, dok je potrebna debljina termozilacionog sloja okarakterisana kao prosječna, jer su približno potrebne iste debljine termoizolacijskih materijala da bi se zadovoljio isti uslov.



**Slika 31.** Ekonomski kriterijumi odabranih termoizolacijskih materijala. *Izvor: Analiza autora.*

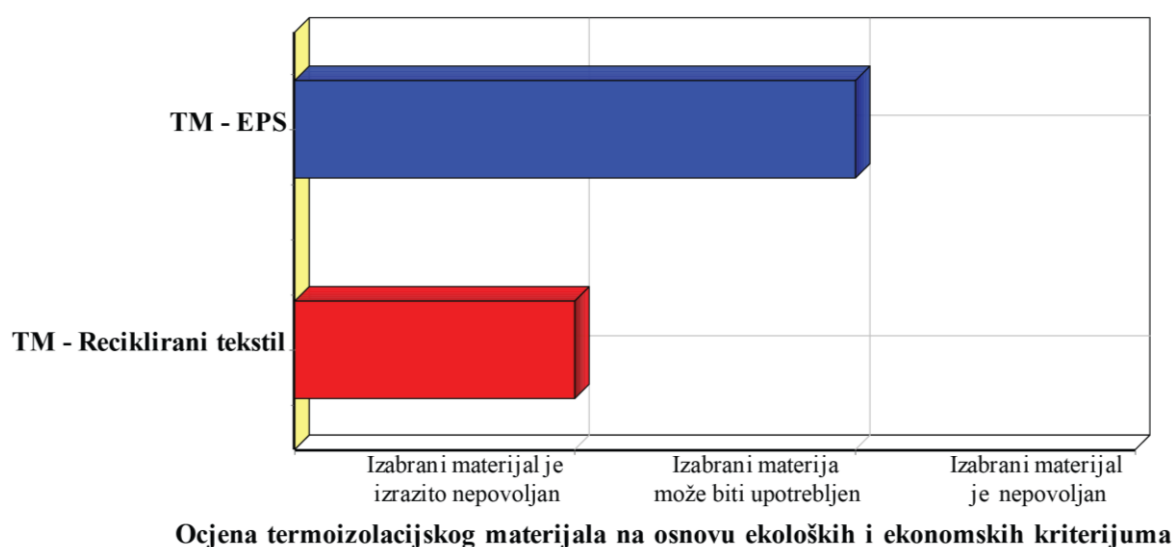
Na osnovu ekonomskih kriterijuma (slika 32), rezultati su pokazali da je termoizolacioni materijal – EPS izuzetno povoljan u odnosu na termoizolacioni materijal od tekstila iz razloga što je pristupačan, ekonomičan i jednostavan za ugradnju, dok je termoizolacioni materijal od tekstila još uvijek u procesu istraživanja te nije široko dostupan na tržištu.



**Slika 32.** Poređenje ekonomskih kriterijuma izabranih termoizolacijskih materijala. *Izvor: Analiza autora.*

Na grafikonu (slika 33) prikazana je ocjena izabranih termoizolacijskih materijala, na kojem uočavamo da je EPS ocijenjen kao „izabrani materijal može biti upotrijebljen“, dok je termoizolacioni materijal od tekstila ocijenjen kao „izrazito nepovoljan“. Rezultati su proizašli iz cjelokupne ocjene ekonomskih i ekoloških kriterijuma, ali takođe, ocjenjivanje je vršeno na osnovu 1 kg materijala radi adekvatnije procjene. Ukoliko uzmemo u obzir da je proizvodnja

tekstila na godišnjem nivou veća (tabela 4) u odnosu na proizvodnju EPS – a te da uzrokuje veće zagađenje životne sredine, neophodno je pronaći rješenje kako termoizolacione materijale od tekstila komercijalizovati da bude pristupačniji, te na taj način umanjiti zagađenje koje prouzrokuje sam proces proizvodnje. Takođe, razlika između izabranih materijal je što se EPS EPS proizvodi namjenski za termoizolaciju objekata, dok bi se reciklirani tekstil proizvodio kako bi se umanjili štetni efekti na zagađenje životne sredine prouzrokovane tekstilnom industrijom. S obzirom na to da tekstilni izolacioni materijal može imati slične termoizolacione karakteristike kao komercijalni termoizolacioni materijali, posjeduje potencijal da uz dodatna istraživanja i poboljšanja, postane lako dostupan na tržištu po pristupačnim cijenama uz jednostavan proces ugradnje.

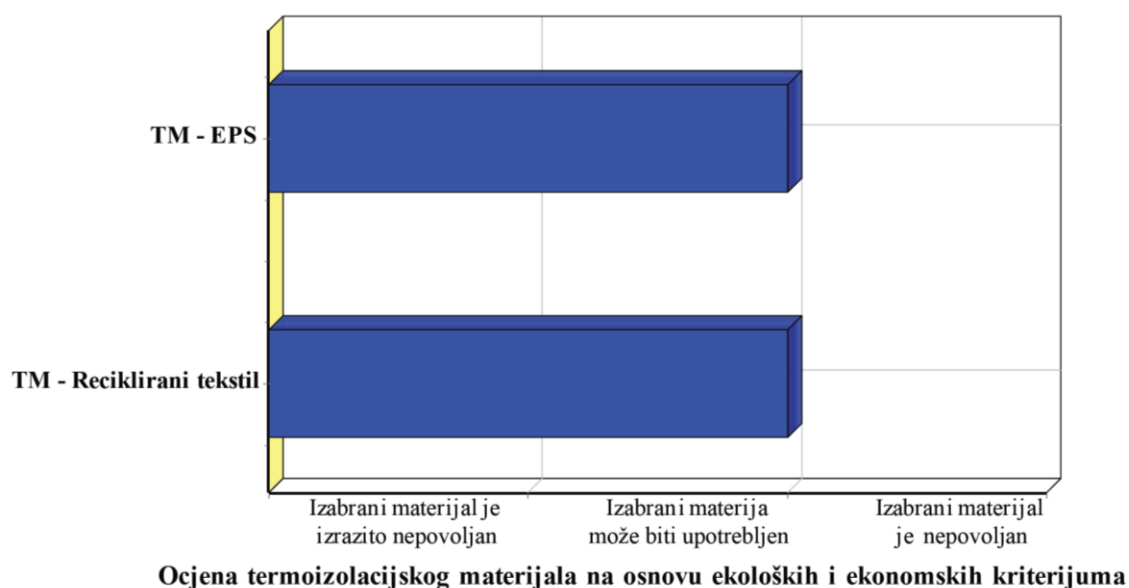


**Slika 33.** Ocjena izabranih termoizolacijskih materijala na osnovu odabranih ekonomskih i ekoloških kriterijuma.  
Izvor: Analiza autora.

Na osnovu dobijenih rezultata ocijenjenih alternativa, kreiran je mogući scenario, kako bi se izjednačila ocjena odabranih materijala (tabela 15). Ukoliko bi se smanjila količina proizvodnje tekstila na godišnjem nivou, a samim tim i povećao postotak reciklaže, te ukoliko bi proizvod postao lako dostupan na tržištu po pristupačnim cijenama i jednostavan za ugradnju, ocjene na osnovu ekonomskih i ekoloških kriterijuma bi se izjednačile (slika 34).

**Tabela 15.** Rezultati vrednovanja alternativa prema scenariju. *Izvor: Analiza autora.*

| ATRIBUTI                                                                                | TM – EPS                                              | TM – Reciklirani tekstil                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| <b>Ocjena termoizolacijskog materijala na osnovu ekoloških i ekonomskih kriterijuma</b> | izabrani materijal može biti upotrijebljen            | izabrani materijal može biti upotrijebljen            |
| <b>Ekološki kriterijumi, globalna proizvodnja i reciklaža na godišnjem nivou</b>        | izabrani materijal je nepovoljan                      | izabrani materijal je nepovoljan                      |
| - Globalna proizvodnja na godišnjem nivou                                               | <i>mala</i>                                           | srednja                                               |
| - Postotak reciklaže na godišnjem nivou                                                 | <b>1 – 25%</b>                                        | <b>25 – 50%</b>                                       |
| <b>Ekološki kriterijumi, potrošnja resursa i energije</b>                               | <i>izabrani materijal je izrazito povoljan</i>        | izabrani materijal je nepovoljan;                     |
| - Emisija CO <sub>2</sub> u procesu proizvodnje                                         | <i>niska emisija CO<sub>2</sub></i>                   | srednja emisija CO <sub>2</sub>                       |
| - Potrošnja vode u procesu proizvodnje                                                  | <i>mala potrošnja vode</i>                            | <b>velika potrošnja vode</b>                          |
| - Potrošnja energije u procesu proizvodnje                                              | srednja potrošnja energije                            | <b>velika potrošnja energije</b>                      |
| <b>Ekonomski kriterijumi</b>                                                            | <i>izabrani materijal je izrazito povolja</i>         | izabrani materijal je nepovoljan                      |
| - Proces ugradnje termoizolacionog materijala                                           | <i>jednostavan proces ugradnje</i>                    | <i>jednostavan proces ugradnje</i>                    |
| - Tržišna cijena termoizolacionog materijala                                            | <i>niska cijena</i>                                   | <i>niska cijena</i>                                   |
| - Dostupnost termoizolacionog materijala na tržištu                                     | <i>izabrani materijal je lako dostupan na tržištu</i> | <i>izabrani materijal je lako dostupan na tržištu</i> |
| - Debljine termoizolacionog materijala                                                  | za izabrani materija je potrebna srednja debljina TM  | za izabrani materija je potrebna srednja debljina TM  |



**Slika 34.** Ocjena izabranih termoizolacijskih materijala prema scenariju na osnovu odabranih ekonomskih i ekoloških kriterijuma. *Izvor: Analiza autora.*

## 5. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazan je pregled toplotno-izolacionih materijala proizvedenih od tekstilnog otpada, učinak odbačenog tekstila na okolinu, te načini da se isti minimizira procesom reciklaže. Takođe je izložen i detaljan pregled transformacije tekstilnog otpada u toplotno-izolacione materijale. Sadašnjim tržištem u potpunosti dominiraju konvencionalni sintetički toplotno-izolacioni materijali, međutim postoji potencijal da se oni zamijene recikliranim tekstilom. U nekim slučajevima toplotno-izolacioni materijali proizvedeni od otpadnog tekstila pokazuju slične rezultate u odnosu na trenutno dostupne i dominantne proizvode na tržištu.

Međutim, istraživanje korištenja tekstilnog otpada kao toplotno-izolacionog materijala još je u početnim fazama iz razloga što većina istraženih materijala nije u potpunosti okarakterisana. Postoje ograničene informacije o nekim drugim važnim faktorima izolacionih materijala: svojstvo negorivosti, otpornost na požar i paropropusnost, otpornost na štetočine, prašinu, gljivice i bakterije.

Na osnovu istraživanja, predstavljeni su odgovori na postavljene hipoteze:

**Hipoteza 1:** Tekstilna (modna) industrija proizvodi velike količine tekstilnog otpada koji se može reciklirati u svrhu dobijanja termoizolacionih materijala i na taj način značajno smanjiti zagađenje životne sredine.

- Procjenjuje se da se godišnje proizvede oko 92 miliona metričkih tona tekstilnog otpada i da će se taj otpad, prema trenutnim procjenama, povećati za oko 60% od 2015. do 2030. godine (GFA, 2017.). Prikupljeni tekstilni otpad se sortira i veliki dio se izvozi za ponovnu upotrebu ili reciklažu uglavnom izvan Evrope, pri čemu je procjena da se samo od 10-30% otpada reciklira. Tekstilni otpad se može koristiti ponovnom upotrebom ili reciklažom u svrhu termoizolacionih materijala jer ima potencijal da se koristi kao ekološki prihvatljiv toplotno-izolacioni materijal, ali postoje ograničenja koja je potrebno riješiti kao što su nedovoljno istražene karakteristike i otpornost materijala na vatru, štetočine, prašinu, gljivice i bakterije. Zbog toga je potrebno sprovesti detaljnija istraživanja kako bi se prevladala uočena ograničenja, odredile nepoznate karakteristike navedenih materijala i proizvodi napravljeni od recikliranog tekstila uspješno komercijalizovali na tržištu.

**Hipoteza 2:** Korištenjem tekstilnog otpada kao termoizolacionog materijala različitim tehnikama reciklaže dobijaju se materijali jednakih ili boljih termoizolacionih svojstava u odnosu na konvencionalne materijale.

- U radu su prikazane tri tehnike reciklaže tekstila: tehnika direktne metode, tehnika netkanog materijala i tehnika kombinovanja sa građevinskim materijalom.
- Na osnovu analize korištenih tehnika na primjeru tipskog individualnog stambenog objekta na području Republike Srpske dobijeni su rezultati koji pokazuju koja je potrebna debljina termoizolacije da bi u skladu sa važećim „*Pravilnikom o minimalnim zahtjevima za energetske karakteristike zgrada*“ bio zadovoljen uslov da je vrijednost koeficijenta prolaza toplote za spoljašnje zidove za pdastrnu klimarsku regiju sjever  $U_{max} \leq 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ .
- Rezultati su pokazali da je najbolja tehnika netkanog materijala, gdje je usvojen koeficijent toplotne provodljivosti  $\lambda=0,043 \text{ W/mK}$ , a najmanja potrebna debljina izolacije je  $d=12 \text{ cm}$ .
- Rezultat poređenja tehnike netkanog materijala i konvencionalnog materijala (ekspandirani polistiren) u svrhu izolacionih materijala je jeste da je manja potrebna manja debljina termoizolacionog sloja navedenog materijala od EPS-a ( $d=10 \text{ cm}$ ).

**Hipoteza 3:** Sa aspekta ekonomsko-ekoloških kriterijuma termoizolacioni materijali od recikliranog tekstila imaju prednost u odnosu na konvencionalne termoizolacione materijale.

- Na osnovu multi-kriterijumske analize ekonomskih i ekoloških kriterijuma, termoizolacija od ekspandiranog polistirena i termoizolacija od recikliranog tekstila imaju različite karakteristike i prednosti, pa nije uvijek jednostavno uporediti koja je opcija bolja.
- EPS se često koristi u izolaciji objekata zbog svoje dobre toplotno-izolacione sposobnosti, niske cijene i jednostavne instalacije. EPS je takođe otporan na plijesni, štetočine i djelimično na vlagu, što ga čini izdržljivijim. Međutim, proizvodnja EPS-a ima i negativni uticaj na okolinu, jer koristi fosilna goriva i može biti teško razgradiv.
- Sa druge strane, termoizolacija od recikliranog tekstila koristi reciklirane materijale, što može smanjiti otpad i doprinjeti održivosti. Ova vrsta toplotne izolacije ima koeficijent toplotne provodljivosti kao i konvencionalni toplotno-izolacioni materijali, ali može biti osjetljiva na vlagu i plijesan, ako se ne koristi ispravno. Instalacija reciklirane tekstilne toplotne izolacije može biti složenija i skuplja od instalacije EPS-a.
- Na osnovu dobijenih rezultata ocijenjenih alternativa, kreiran je mogući scenario, kako bi se izjednačila ocjena odrabranih materijala. Ukoliko bi se smanjila količina proizvodnje tekstila na godišnjem nivou, a samim tim i povećao postotak reciklaže, te ukoliko bi proizvod postao lako dostupan na tržištu po pristupačnim cijenama i jednostavan za ugradnju, ocjene na osnovu ekonomskih i ekoloških kriterijuma bi se izjednačile.

Zaključno, odluka o tome koja je bolja opcija zavisi o specifičnim zahtjevima projekta i vrijednostima. Ako je održivost ključni prioritet, termoizolacija od recikliranog tekstila je bolji izbor. Međutim, ako se prioriteti postavljaju na toplotnu izolaciju, otpornost na vlagu i trajnost, ekspanzirani polistiren je trenutno bolja opcija.

## Spisak slika

|                                                                                                                                                                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Slika 1. Uticaji sintetičkih i prirodnih vlakana na životnu sredinu. Izvor: EEA and ETC/WMGE. ....                                                                                                                                                                 | 6  |
| Slika 2. Globalna proizvodnja vlakana 2021. godine. Izvor: Textile Exchange (2023.). ....                                                                                                                                                                          | 8  |
| Slika 3. Globalna proizvodnja sintetičkog i prirodnog tekstila, 1975-2030. godina. Izvor: Textile Exchange, (2023.). ....                                                                                                                                          | 8  |
| Slika 4. Potrošnja vode i energije za proizvodnju 1 kg tekstila. Izvor: Sandin i dr., (2019). ....                                                                                                                                                                 | 9  |
| Slika 5. Zagađenje vode prouzrokovano farbanjem tekstila. Izvor: <a href="https://www.planetcustodian.com/dyeing-industry-polluting-asian-rivers/15641/">https://www.planetcustodian.com/dyeing-industry-polluting-asian-rivers/15641/</a> ....                    | 10 |
| Slika 6. Zagađenje vode. Izvor: <a href="https://bpb-us-w2.wpmucdn.com/blog.nus.edu.sg/dist/1/13946/files/2020/09/fashion_pollution_tcp_blog.jpg">https://bpb-us-w2.wpmucdn.com/blog.nus.edu.sg/dist/1/13946/files/2020/09/fashion_pollution_tcp_blog.jpg</a> .... | 11 |
| Slika 7. Emisija CO <sub>2</sub> tokom procesa proizvodnje i korištenja odjeće. Izvor: <a href="https://tradle.ca/blogs/news/a-sustainable-future-for-fashion">https://tradle.ca/blogs/news/a-sustainable-future-for-fashion</a> ....                              | 12 |
| Slika 8. Emisija gasova sa efektom staklene bašte po kilogramu proizvedenog tekstila. Izvor: Sandin i dr., 2019. ....                                                                                                                                              | 12 |
| Slika 9. Emisija gasova staklene bašte za proizvedene globalne godišnje količine u 2018. godini. Izvor: Sandin et al 2019. i Textile Exchange 2019. ....                                                                                                           | 13 |
| Slika 10. Svjetska proizvodnja tekstilnog otpada (a) i tekstilnih vlakana (b) na osnovu podataka iz različitih citiranih izvora. Izvor: del Mar Barbero-Barrera i dr., 2016. ....                                                                                  | 14 |
| Slika 11. Deponija tekstilnog otpada. Izvor: <a href="https://sites.utexas.edu/texasenvironmentallaw/eliminating-pollution-from-fashion/">https://sites.utexas.edu/texasenvironmentallaw/eliminating-pollution-from-fashion/</a> ....                              | 14 |
| Slika 12. Poređenje proizvedenih i recikliranih vlakana. Izvor: Textile Exchange, 2018. ....                                                                                                                                                                       | 18 |
| Slika 13. a) Izgled pripremljenog poliesterskog tekstilnog materijala, b) Pripremljen tekstilni otpad obložen korištenjem 100% polipropilena. Izvor: Trajković i dr., (2017.). ....                                                                                | 19 |
| Slika 14. Vizuelni izgled uzoraka nakon testa Hot Metal Nut. Izvor: Trajković i dr., (2017.). ....                                                                                                                                                                 | 20 |
| Slika 15. Uzorci mješavina korištenih u određivanju toplotne provodljivosti. Izvor: Zach i dr. (2016.a). ....                                                                                                                                                      | 21 |
| Slika 16. Tekstilna otpadna vlakna i proizvedena ploča. Izvor: Adapted from del Mar Barbero-Barrera i dr., 2016. ....                                                                                                                                              | 23 |
| Slika 17. Uticaj temperature i gustine na toplotnu provodljivost poliesterske prostirke. Izvor: Drochytka i dr., 2017. ....                                                                                                                                        | 24 |
| Slika 18. Uticaj temperature na toplotnu provodljivost pri različitim debljinama vunenog vlakna. Izvor: Zach i dr., 2012. ....                                                                                                                                     | 25 |
| Slika 19. Slobodnostojeći objekat jednorodnog stanovanja, period gradnje 1971-1980. Izvor: Arnautović-Aksić i dr., 2016. ....                                                                                                                                      | 29 |
| Slika 20. Grafikon raspodjele temperatura kroz postojeći zid, bez sloja termoizolacije. Izvor: Analiza autora. ....                                                                                                                                                | 30 |
| Slika 21. Grafikon raspodjele temperatura kroz postojeći zid, sa dodatnim slojem termoizolacije primjenom tehnike direktne metode. Izvor: Analiza autora. ....                                                                                                     | 35 |
| Slika 22. Grafikon raspodjele temperatura kroz postojeći zid, sa dodatnim slojem termoizolacije primjenom tehnike netkanog materijala. Izvor: Analiza autora. ....                                                                                                 | 36 |

|                                                                                                                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Slika 23. Grafikon raspodjele temperatura kroz postojeći zid, sa dodatim slojem termoizolacije primjenom tehnike kombinovanja sa građevinskim materijalom. <i>Izvor: Analiza autora.</i>                                      | 37 |
| Slika 24. Grafikon poređenja raspodjele temperatura kroz postojeći zid sa dodatim slojevima termoizolacije kada se koriste sve tri tehnike reciklaže tekstila. <i>Izvor: Analiza autora.</i>                                  | 38 |
| Slika 25. Raspodjela temperature kroz zid objekta sa dodatim slojem konvencionalne termoizolacije. <i>Izvor: Analiza autora.</i>                                                                                              | 39 |
| Slika 26. Grafikon poređenja raspodjele temperatura kroz postojeći zid sa dodatim slojevima termoizolacije od konvencionalnog materijala i recikliranog tekstila (tehnika netkanog materijala). <i>Izvor: Analiza autora.</i> | 40 |
| Slika 27. Postotak reciklaže i obim proizvodnje sirovina izabranih termoizolacijskih materijala na godišnjem nivou. <i>Izvor: Analiza autora.</i>                                                                             | 42 |
| Slika 28. Ekološki kriterijumi, globalna proizvodnja i reciklaža izabranih termoizolacijskih materijala na godišnjem nivou. <i>Izvor: Analiza autora.</i>                                                                     | 42 |
| Slika 29. Potrošnja resursa, energije i emisija CO <sub>2</sub> u procesu proizvodnje izabranih materijala. <i>Izvor: Analiza autora.</i>                                                                                     | 43 |
| Slika 30. Ekološki kriterijumi, potrošnja resursa, energije i emisija CO <sub>2</sub> u procesu proizvodnje izabranih materijala. <i>Izvor: Analiza autora.</i>                                                               | 43 |
| Slika 31. Ekonomski kriterijumi odabranih termoizolacijskih materijala. <i>Izvor: Analiza autora.</i>                                                                                                                         | 44 |
| Slika 32. Poređenje ekonomskih kriterijuma izabranih termoizolacijskih materijala. <i>Izvor: Analiza autora.</i>                                                                                                              | 44 |
| Slika 33. Ocjena izabranih termoizolacijskih materijala na osnovu odabranih ekonomskih i ekoloških kriterijuma. <i>Izvor: Analiza autora.</i>                                                                                 | 45 |
| Slika 34. Ocjena izabranih termoizolacijskih materijala prema scenariju na osnovu odabranih ekonomskih i ekoloških kriterijuma. <i>Izvor: Analiza autora.</i>                                                                 | 46 |

## Spisak tabela

|                                                                                                                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1. Poređenje toplotnih izolacijskih svojstava različitih materijala. <i>Izvor: Analiza autora.</i> .....                                                                                                   | 27 |
| Tabela 2. Slojevi zida predmetnog objekta bez termoizolacije. <i>Izvor: Analiza autora</i> .....                                                                                                                  | 30 |
| Tabela 3. Tehnike reciklaže otpada u izolacione materijale, usvojeni koeficijenti autora. <i>Izvor: Analiza autora</i> .....                                                                                      | 31 |
| Tabela 4. Globalna proizvodnja i reciklaža na godišnjem nivou u 2021. godini. <i>Izvor: Analiza autora.</i> ...                                                                                                   | 31 |
| Tabela 5. Ekološki kriterijumi, potrošnja resursa i energije u procesu proizvodnje. <i>Izvor: Analiza autora.</i> .....                                                                                           | 32 |
| Tabela 6. Ekonomski kriterijumi. <i>Izvor: Analiza autora.</i> .....                                                                                                                                              | 33 |
| Tabela 7. Parametri za odabir težine kriterijuma. <i>Izvor: Analiza autora.</i> .....                                                                                                                             | 34 |
| Tabela 8. Primjena termoizolacionog materijala dobijenog tehnikom direktne metode. <i>Izvor: Analiza autora.</i> .....                                                                                            | 35 |
| Tabela 9. Primjena termoizolacionog materijala dobijenog tehnikom netkanog materijala na postojećem objektu. <i>Izvor: Analiza autora</i> .....                                                                   | 36 |
| Tabela 10. Primjena termoizolacionog materijala dobijenog tehnikom kombinovanja recikliranog tekstila sa građevinskim materijalom. <i>Izvor: Analiza autora.</i> .....                                            | 37 |
| Tabela 11. Poređenje potrebne debljine izolacije i koeficijenta prolaza toplote korištenjem različitih tehnika reciklaže. <i>Izvor: Analiza autora.</i> .....                                                     | 38 |
| Tabela 12. Primjena konvencionalnog materijala na postojećem objektu. <i>Izvor: Analiza autora</i> .....                                                                                                          | 39 |
| Tabela 13. Poređenje dobijenih rezultata potrebne debljine izolacije i koeficijenta prolaza toplote kod konvencionalnog materijala za izolaciju i tehnike netkanog materijala. <i>Izvor: Analiza autora</i> ..... | 40 |
| Tabela 14. Rezultati vrednovanja izabranih alternativa (konvencionalnog termoizolacijskog materijala i tekstilne termoizolacije). <i>Izvor: Analiza autora.</i> .....                                             | 41 |
| Tabela 15. Rezultati vrednovanja alternativa prema scenariju. <i>Izvor: Analiza autora.</i> .....                                                                                                                 | 46 |

## LITERATURA

- Antunović, 2014. Fizika zgrade/ Fizika za studente arhitekture i građevinarstva. 5 - 63.
- Ardente, F., Beccali, M., Cellura, M., Mistretta, M., 2008. Building energy performance: a LCA case study of kenaf - fibres insulation board. *Energy Build.* 40, 1–10
- Arnautović - Aksić, D., 2016. TIPOLOGIJA stambenih zgrada Bosne i Hercegovine. [Elektronski izvor] = Typology of residential buildings in Bosnia and Herzegovina, Sarajevo : Arhitektonski fakultet [etc.] = Faculty of Architecture, 2016
- Asdrubali, F., D'Alessandro, F., Schiavoni, S., 2015. A review of unconventional sustainable building insulation materials. *Sustain. Mater. Technol.* 4, 1–17.
- Bekhta, P., Dobrowolska, E., 2006. Thermal properties of wood - gypsum boards. *Holz Roh Werkst.* 64, 427–428
- Berardi, U., Iannace, G., 2015. Acoustic characterization of natural fibers for sound absorption applications. *Build. Environ.* 94, 840–852.
- Binici, H., Aksogan, O., Bakbak, D., Kaplan, H., Isik, B., 2009a. Sound insulation of fibre reinforced mud brick walls. *Constr. Build. Mater.* 23, 1035–1041
- Binici, H., Aksogan, O., Bodur, M.N., Akca, E., Kapur, S., 2007. Thermal isolation and mechanical properties of fibre reinforced mud bricks as wall materials. *Constr. Build. Mater.* 21, 901–906.
- Binici, H., Aksogan, O., Shah, T., 2005. Investigation of fibre reinforced mud brick as a building material. *Constr. Build. Mater.* 19, 313–318.
- Ciullini, I., Gullotto, A. and Tilli, S. 2012. Enzymatic decolorization of spent textile dyeing baths composed by mixtures of synthetic dyes and additives, *Appl Microbiol Biotechnol* 96: 395–405
- Del Mar Barbero - Barrera, M., Pombo, O., de los Angeles Navacerrada, M., 2016. Textile fibre waste bindered with natural hydraulic lime. *Composites Part B* 94, 26–33.
- Dissanayake, D.G.K., Weerasinghe, D.U., Wijesinghe, K.A.P., Kalpage, K.M.D.M.P., 2018. Developing a compression moulded thermal insulation panel using postindustrial textile waste. *Waste Manag.* 79, 356–361
- Drochytka, R., Dvorakova, M., Hodna, J., 2017. Performance evaluation and research of alternative thermal insulation based on waste polyester fibers. *Procedia Eng.* 195, 236–243.
- ECAP (European Clothing Action Plan) 2015. Mapping clothing impacts in Europe: The environmental cost, <http://www.ecap.eu.com/wp-content/uploads/2018/07/Mapping-climbing-impacts-in-Europe.pdf>
- El Wazna, M., El Fatihi, M., El Bouari, A., Cherkaoui, O., 2017. Thermo physical characterization of sustainable insulation materials made from textile waste. *J. Build. Eng.* 12, 196–201.
- EMF (Ellen MacArthur Foundation). 2017. A New Textiles Economy: Redesigning fashion's future. <https://ellenmacarthurfoundation.org/a-new-textiles-economy>. Posjećeno 14 Mart 2022
- EPRS (European Parliamentary Research Service) 2019. (Environmental impact of the textile and clothing industry)
- Esteve-Turrillas, F.A., de la Guardia, M., 2017. Environmental impact of Recover cotton in textile industry. *Resour. Conserv. Recycl.* 116, 107–115
- GFA (Global Fashion Agenda). 2017. Pulse of the Fashion Industry. Posjećeno 12 Mart 2022 [http://globalfashionagenda.com/wp-content/uploads/2017/05/Pulse-of-the-Fashion-Industry\\_2017.pdf](http://globalfashionagenda.com/wp-content/uploads/2017/05/Pulse-of-the-Fashion-Industry_2017.pdf)
- Hossain, N. 2011. Exports, Equity, and Empowerment: The Effects of Readymade Garments Manufacturing Employment on Gender Equality in Bangladesh. The World Bank Group
- Innotherm, 2019. Product information. <http://www.inno-therm.com/productinformation/>, Posjećeno: 22 Mart 2022.
- Jayasinghe, I.H., Basnayake, B.F.A., Amarathunga, K.S.P., Dissanayake, P.B.R., 2010. Environmental conservation efforts in developing textile waste incorporated cement blocks. *Trop. Agric. Res.* 21, 126–133.
- Jha, M.K., Kumar, V., Maharaj, L., Singh, R.J., 2004. Studies on leaching and recycling of zinc from rayon waste sludge. *Ind. Eng. Chem. Res.* 43, 1284–1295.
- Jordeva, S., Tomovska, E., Trajković, D., Zafirova, K., 2014. Textile waste as a thermal insulation material. *Tekstil: J. Text. Cloth. Tech.* 63, 174–178.
- Korjenić, A., Petranek, V., Zach, J., Hroudova, J., 2011. Development and performance evaluation of natural thermal-insulation materials composed of renewable resources. *Energy Build.* 43, 2518–2523.

- Leblance, R., 2018. The balance small business textile recycling facts and figures. <https://www.thebalancesmb.com/textile-recycling-facts-and-figures-2878122>, Posjećeno: 22 Mart 2022.
- NRDC (Natural Resources Defense Council). 2012. Fiber Selection: Understanding the impact of different fibers is the first step in designing environmentally responsible apparel, Natural Resources Defense Council. <https://www.nrdc.org/sites/default/files/CBD-Fiber-Selection-FS.pdf>
- Nguyen Amy, 2021. Toxic Fashion: What Chemicals Are Used In Clothing? <https://compareethics.com/chemicals-in-clothing/> Posjećeno 10 Mart 2022.
- OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development). 2020. Workshop on Microplastics from Synthetic Textiles: Knowledge, Mitigation, and Policy
- Patnaik, A., Mvubu, M., Muniyasamy, S., Botha, A., Anandjiwala, R.D., 2015. Thermal and sound insulation materials from waste wool and recycled polyester fibers and their biodegradation studies. *Energy Build.* 92, 161–169.
- Rajput, D., Bhagade, S.S., Raut, S.P., Ralegaonkar, R.V., Mandavgane, S.A., 2012. Reuse of cotton and recycle paper mill waste as building material. *Constr. Build. Mater.* 34, 470–475
- Rubino, C., Liuzzi, S., Martellotta, F., Stefanizzi, P., 2018. Textile wastes in building sector: a review. *Modell., Meas. Control, B* 87, 172–179.
- Sandin, G., Peters, G.M., 2018. Environmental impact of textile reuse and recycling—A review. *J. Clean. Prod.* 184, 353–365.
- Sandin, G., Roos, S. and Johansson, M. 2019. Environmental impact of textile fibers – what we know and what we don't know: fiber Bible part 2, MIstra Future Fashion 2019:03 part 2, RISE
- Schindler, W.D., Hauser, P.J., 2004. *Chemical Finishing of Textiles*, first ed. Woodhead Publishing, New York.
- Sedlmajer, M., Zach, J., Hroudova, J., 2015. Possibilities of development of thermal insulating materials based on waste textile fibers. *Adv. Mater. Res.* 1124, 183–188.
- Sherrington, C. 2016. *Plastics in the Marine Environment*, Eunomia, Bristol, UK
- TCC (The Conscioius Challenge). 2019. *Water & Clothing — The Conscious Challenge*. <https://www.theconsciouschallenge.org/ecologicalfootprintbibleoverview/water-clothing>. Posjećeno 14 Mart 2022
- Textile Exchange, 2018. Preferred fiber & materials market report 2018. <https://textileexchange.org/wp-content/uploads/2018/11/2018-Preferred-Fiber-MaterialsMarket-Report.pdf>, Posjećeno: 10 Jun 2022.
- Textile Exchange. 2019. Preferred Fiber and Materials. Market report 2019
- Textile Exchange. 2023. <https://textileexchange.org/materials-dashboard/>, 28.02.2023. godine,
- Trajković, D., Jordeva, S., Tomovska, E., Zafirova, K., 2017. Polyester apparel cutting waste as insulation material. *J. Text. Inst.* 108, 1238–1245.
- UNEP (United Nations Environment Programme). 2018. *Putting The Brakes On Fast Fashion*. <https://www.unenvironment.org/news-and-stories/story/putting-brakes-fast-fashion>. Posjećeno 14 Mart 2022
- Vojinović Đ. 2022. Razvoj scenarija održivog razvoja procesne industrije u smislu odgovora na klimatske promjene na primjeru Bosne i Hercegovine.
- Watson, D., Trzepacz, S., Lander Svendsen, N., Wittus Skottfelt, S., Kiørboe, N., Elander, M. and Ljungkvist Nordin, H. 2020. Towards 2025: Separate collection and treatment of textiles in six EU countries, Miljøstyrelsen
- Wazna, M.E., Gounni, A., Bouari, A.E., Alami, M.E., Cherkaoui, O., 2018. Development, characterization and thermal performance of insulating nonwoven fabrics made from textile waste. *J. Ind. Text.* 48, 1167–1183.
- Zach, J., Hroudova, J., Korjenic, A., 2016a. Environmentally efficient thermal and acoustic insulation based on natural and waste fibers. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 91, 2156–2161.
- Zach, J., Korjenic, A., Petranek, V., Hroudova, J., Bednar, T., 2012. Performance evaluation and research of alternative thermal insulations based on sheep wool. *Energy Build.* 49, 246–253.

## **PRILOZI**

Attribute tree

| Attribute                                                                        | Description                                                                                       |
|----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ocjena termoizolacijskog materijala na osnovu ekoloških i ekonomskih kriterijuma | MCDA analiza poređenja uticaja na životnu sredinu termoizolacionih matrijala u procesu prizvodnje |
| Ekoloski kriterijumi_globalna proizvodnja i reciklaža na godišnjem nivou         |                                                                                                   |
| Globalna proizvodnja na godišnjem nivou                                          | Podaci se odnose na 2021. godinu                                                                  |
| Postotak reciklaže na godišnjem nivou                                            |                                                                                                   |
| Ekoloski kriterijumi_potrošnja resursa i energije                                | Ukupna potrošnja vode i energije u procesu proizvodnje termoizolacionog materijala                |
| Emisija CO2 u procesu proizvodnje                                                |                                                                                                   |
| Potrosnja vode u procesu proizvodnje                                             |                                                                                                   |
| Potrosnja energije u procesu proizvodnje                                         |                                                                                                   |
| Ekonomski kriterijumi                                                            |                                                                                                   |
| Porces ugradnje termoizolacionog materijala                                      | Stepen težine ugradnje termoizolacionog materijala na objketu                                     |
| Tržisna cijena termoizolacionog materijala                                       |                                                                                                   |
| Dostupnost termoizolacionog materijala na tržištu                                |                                                                                                   |
| Debljine termoizolacionog materijala                                             | Potrebna debljina TM pod istim klimatskim uslovima i površini objekta                             |

Scales

| Attribute                                                                        | Scale                                                                                                                                                                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ocjena termoizolacijskog materijala na osnovu ekoloških i ekonomskih kriterijuma | <b>izabrani materijal je nepovoljan</b> ; izabrani materijal moze biti upotrebljen; <i>izabrani materija je povoljan</i>                                                                  |
| Ekoloski kriterijumi_globalna proizvodnja i reciklaža na godišnjem nivou         | <b>izabrani materijal je izrazito nepovoljan</b> ; izabrani materijal je nepovoljan; <i>izabrani materija je povoljan; izabrani materijal je izrazito povoljan</i>                        |
| Globalna proizvodnja na godišnjem nivou                                          | <b>velika</b> ; srednja; <i>mala</i>                                                                                                                                                      |
| Postotak reciklaže na godišnjem nivou                                            | <b>1-25%</b> ; 25-50%; <i>50-75%; 75-100%</i>                                                                                                                                             |
| Ekoloski kriterijumi_potrošnja resursa i energije                                | <b>izabrani materijal je izrazito nepovoljan</b> ; Izabrani materijal je nepovoljan; <i>izabrani materija je povoljan; izabrani materijal je izrazito povoljan</i>                        |
| Emisija CO2 u procesu proizvodnje                                                | <b>visoka emisija CO2</b> ; sredja emisija CO2; <i>niska emisija CO2</i>                                                                                                                  |
| Potrosnja vode u procesu proizvodnje                                             | <b>velika potrošnja vode</b> ; prosječna potrošnja vode; <i>mala potrošnja vode</i>                                                                                                       |
| Potrosnja energije u procesu proizvodnje                                         | <b>velika potrošnja energije</b> ; srednja potrošnja energije; <i>mala potrošnja energije</i>                                                                                             |
| Ekonomski kriterijumi                                                            | <b>izabrani materijal je izrazito nepovoljan</b> ; izabrani materijal je nepovoljan; <i>izabrani materija je povoljan; izabrani materijal je izrazito povoljan</i>                        |
| Porces ugradnje termoizolacionog materijala                                      | <b>komplikovan proces ugranje</b> ; standardni proces ugradnje; <i>jednostavan proces ugradnje</i>                                                                                        |
| Tržisna cijena termoizolacionog materijala                                       | <b>visoka cijena</b> ; prosječna cijena; <i>niska cijena</i>                                                                                                                              |
| Dostupnost termoizolacionog materijala na tržištu                                | <b>izabrani materija je teško dostupan na tržištu</b> ; <i>izabrani materijal je lako dostupan na tržištu</i>                                                                             |
| Debljine termoizolacionog materijala                                             | <b>za izabrani materijal je potrebna veća debljina TM sloja</b> ; za izabrani materija je potrebna srednja debljina TM ; <i>za izabrani materijal je potrebna manja debljina TM sloja</i> |

Ocjena termoizolacijskog materijala na osnovu ekoloških i ekonomskih kriterijuma

MCDA analiza poređenja uticaja na životnu sredinu termoizolacionih matrijala u procesu prizvodnje

1.

**izabrani materijal je nepovoljan**

Ekološki i ekonomski kriterijumi su nepovoljni
2.

izabrani materijal moze biti upotrebljen
3.

*izabrani materija je povoljan*

Ekonomski i ekološki kriterijumi su povoljni

Ekoloski kriterijumi\_globalna proizvodnja i reciklaža na godišnjem nivou

1.

**izabrani materijal je izrazito nepovoljan**
2.

izabrani materijal je nepovoljan
3.

*izabrani materija je povoljan*
4.

*izabrani materijal je izrazito povoljan*

Globalna proizvodnja na godišnjem nivou

Podaci se odnose na 2021. godinu

1.

**velika**

od 80 do 120 miliona tona na godišnjem nivou
2.

srednja

od 40 do 80 miliona tona na godišnjem nivou
3.

*mala*

do 40 miliona tona na godišnjem nivou

Postotak reciklaže na godišnjem nivou

1.

**1-25%**
2.

25-50%
3.

*50-75%*
4.

*75-100%*

Ekoloski kriterijumi\_potrošnja resursa i energije

Ukupna potrošnja vode i energije u procesu proizvodnje termoizolacionog materijala

- 1. **izabrani materijal je izrazito nepovoljan**
- 2. Izabrani materijal je nepovoljan
- 3. *izabrani materija je povoljan*
- 4. *izabrani materijal je izrazito povoljan*

Emisija CO2 u procesu proizvodnje

- 1. **visoka emisija CO2** od 7 do 10 kg
- 2. sredja emisija CO2 od 3 do 7 kg
- 3. *niska emisija CO2* od 0 do 3 kg

Potrosnja vode u procesu proizvodnje

- 1. **velika potrošnja vode** od 350 do 500l po 1kg
- 2. prosječna potrošnja vode od 150 do 350l po 1kg
- 3. *mala potrošnja vode* do 150l po 1kg

Potrosnja energije u procesu proizvodnje

- 1. **velika potrošnja energije** od 150 do 200MJ po 1kg
- 2. srednja potrošnja energije od 75 do 150MJ po 1kg
- 3. *mala potrošnja energije* do 75MJ po 1kg

Ekonomski kriterijumi

- 1. **izabrani materijal je izrazito nepovoljan**
- 2. izabrani materijal je nepovoljan
- 3. *izabrani materija je povoljan*
- 4. *izabrani materijal je izrazito povoljan*

Porces ugradnje termoizolacionog materijala

Stepen težine ugradnje termoizolacionog materijala na objketu

- 1. **komplikovan proces ugranje** Proces ugradnje izabranog termoizolacionog sloja
- 2. standardni proces ugradnje
- 3. *jednostavan proces ugradnje*

Tržisna cijena termoizolacionog materijala

- 1. **visoka cijena**
- 2. prosječna cijena
- 3. *niska cijena*

Dostupnost termoizolacionog materijala na tržištu

- 1. **izabrani materija je teško dostupan na tržištu**
- 2. *izabrani materijal je lako dostupan na tržištu*

Debljine termoizolacionog materijala

Potrebna debljina TM pod istim klimatskim uslovima i površini objekta

- 1. **za izabrani materijal je potrebna veća debljina TM sloja** Za izabrani TM je potrebna veća debljina termoizolacionog sloja u odnosu na konvencionali TM pod istim klimatskim uslovima i površini omotačai objekta
- 2. za izabrani materija je potrebna srednja debljina TM Za izabrani TM je potrebna ista debljina termoizolacionog sloja u odnosu na konvencionali TM pod istim klimatskim uslovima i površini omotačai objekta
- 3. *za izabrani materijal je potrebna manja debljina TM sloja* Za izabrani TM je potrebna manja debljina termoizolacionog sloja u odnosu na konvencionali TM pod istim klimatskim uslovima i površini omotačai objekta

Functions

| Attribute                                                                        | Rules Defined |        |         | Determined                                                                                                                                                  | Values |
|----------------------------------------------------------------------------------|---------------|--------|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Ocjena termoizolacijskog materijala na osnovu ekoloških i ekonomskih kriterijuma | 12/64         | 18.75% | 100.00% | izabrani materijal je nepovoljan:25,izabrani materijal moze biti upotrebljen:28,izabrani materija je povoljan:11                                            |        |
| Ekoloski kriterijumi_globalna proizvodnja i reciklaža na godišnjem nivou         | 10/12         | 83.33% | 100.00% | izabrani materijal je izrazito nepovoljan:2,izabrani materijal je nepovoljan:3,izabrani materija je povoljan:4,izabrani materijal je izrazito povoljan:3    |        |
| Globalna proizvodnja na godišnjem nivou                                          |               |        |         |                                                                                                                                                             |        |
| Postotak reciklaže na godišnjem nivou                                            |               |        |         |                                                                                                                                                             |        |
| Ekoloski kriterijumi_potrošnja resursa i energije                                | 14/27         | 51.85% | 100.00% | izabrani materijal je izrazito nepovoljan:2,Izabrani materijal je nepovoljan:8,izabrani materija je povoljan:14,izabrani materijal je izrazito povoljan:3   |        |
| Emisija CO2 u procesu proizvodnje                                                |               |        |         |                                                                                                                                                             |        |
| Potrosnja vode u procesu proizvodnje                                             |               |        |         |                                                                                                                                                             |        |
| Potrosnja energije u procesu proizvodnje                                         |               |        |         |                                                                                                                                                             |        |
| Ekonomski kriterijumi                                                            | 4/54          | 7.41%  | 100.00% | izabrani materijal je izrazito nepovoljan:8,izabrani materijal je nepovoljan:16,izabrani materija je povoljan:19,izabrani materijal je izrazito povoljan:11 |        |
| Porces ugradnje termoizolacionog materijala                                      |               |        |         |                                                                                                                                                             |        |
| Tržisna cijena termoizolacionog materijala                                       |               |        |         |                                                                                                                                                             |        |
| Dostupnost termoizolacionog materijala na tržištu                                |               |        |         |                                                                                                                                                             |        |
| Debljine termoizolacionog materijala                                             |               |        |         |                                                                                                                                                             |        |

Tables

| Ekoloski kriterijumi_globalna proizvodnja i reciklaža na godišnjem nivou  | Ekoloski kriterijumi_potrošnja resursa i energije                      | Ekonomski kriterijumi                                                  | Ocjena termoizolacijskog materijala na osnovu ekoloških i ekonomskih kri |
|---------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| 33%                                                                       | 44%                                                                    | 23%                                                                    |                                                                          |
| 1 izabrani materijal je izrazito nepovoljan                               | <=Izabrani materijal je nepovoljan                                     | *                                                                      | izabrani materijal je nepovoljan                                         |
| 2 izabrani materijal je izrazito nepovoljan                               | <= <i>izabrani materija je povoljan</i>                                | <=izabrani materijal je nepovoljan                                     | izabrani materijal je nepovoljan                                         |
| 3 izabrani materijal je izrazito nepovoljan                               | *                                                                      | izabrani materijal je izrazito nepovoljan                              | izabrani materijal je nepovoljan                                         |
| 4 <=izabrani materijal je nepovoljan                                      | izabrani materijal je izrazito nepovoljan                              | *                                                                      | izabrani materijal je nepovoljan                                         |
| 5 <=izabrani materijal je nepovoljan                                      | <=Izabrani materijal je nepovoljan                                     | <= <i>izabrani materija je povoljan</i>                                | izabrani materijal je nepovoljan                                         |
| 6 <=izabrani materijal je nepovoljan                                      | <= <i>izabrani materija je povoljan</i>                                | izabrani materijal je izrazito nepovoljan                              | izabrani materijal je nepovoljan                                         |
| 7 <= <i>izabrani materija je povoljan</i>                                 | izabrani materijal je izrazito nepovoljan                              | <= <i>izabrani materija je povoljan</i>                                | izabrani materijal je nepovoljan                                         |
| 8 <= <i>izabrani materija je povoljan</i>                                 | <=Izabrani materijal je nepovoljan                                     | izabrani materijal je izrazito nepovoljan                              | izabrani materijal je nepovoljan                                         |
| 9 *                                                                       | izabrani materijal je izrazito nepovoljan                              | <=izabrani materijal je nepovoljan                                     | izabrani materijal je nepovoljan                                         |
| 10 izabrani materijal je izrazito nepovoljan                              | >= <i>izabrani materija je povoljan</i>                                | >= <i>izabrani materija je povoljan</i>                                | izabrani materijal moze biti upotrebljen                                 |
| 11 <=izabrani materijal je nepovoljan                                     | izabrani materija je povoljan                                          | >= <i>izabrani materija je povoljan</i>                                | izabrani materijal moze biti upotrebljen                                 |
| 12 <=izabrani materijal je nepovoljan                                     | >= <i>izabrani materija je povoljan</i>                                | izabrani materija je povoljan                                          | izabrani materijal moze biti upotrebljen                                 |
| 13 <= <i>izabrani materija je povoljan</i>                                | izabrani materija je povoljan                                          | izabrani materija je povoljan                                          | izabrani materijal moze biti upotrebljen                                 |
| 14 izabrani materijal je izrazito nepovoljan                              | izabrani materijal je izrazito povoljan                                | >=izabrani materijal je nepovoljan                                     | izabrani materijal moze biti upotrebljen                                 |
| 15 <=izabrani materijal je nepovoljan                                     | izabrani materijal je izrazito povoljan                                | izabrani materijal je nepovoljan: <i>izabrani materija je povoljan</i> | izabrani materijal moze biti upotrebljen                                 |
| 16 izabrani materijal je nepovoljan                                       | Izabrani materijal je nepovoljan: <i>izabrani materija je povoljan</i> | izabrani materijal je izrazito povoljan                                | izabrani materijal moze biti upotrebljen                                 |
| 17 >=izabrani materijal je nepovoljan                                     | Izabrani materijal je nepovoljan                                       | izabrani materijal je nepovoljan                                       | izabrani materijal moze biti upotrebljen                                 |
| 18 izabrani materijal je nepovoljan                                       | izabrani materija je povoljan                                          | >=izabrani materijal je nepovoljan                                     | izabrani materijal moze biti upotrebljen                                 |
| 19 izabrani materijal je nepovoljan                                       | >= <i>izabrani materija je povoljan</i>                                | izabrani materijal je nepovoljan: <i>izabrani materija je povoljan</i> | izabrani materijal moze biti upotrebljen                                 |
| 20 izabrani materijal je nepovoljan: <i>izabrani materija je povoljan</i> | izabrani materija je povoljan                                          | izabrani materijal je nepovoljan: <i>izabrani materija je povoljan</i> | izabrani materijal moze biti upotrebljen                                 |
| 21 >=izabrani materijal je nepovoljan                                     | izabrani materija je povoljan                                          | izabrani materijal je nepovoljan                                       | izabrani materijal moze biti upotrebljen                                 |
| 22 izabrani materijal je nepovoljan                                       | izabrani materijal je izrazito povoljan                                | <= <i>izabrani materija je povoljan</i>                                | izabrani materijal moze biti upotrebljen                                 |
| 23 izabrani materijal je nepovoljan: <i>izabrani materija je povoljan</i> | izabrani materijal je izrazito povoljan                                | izabrani materijal je izrazito nepovoljan                              | izabrani materijal moze biti upotrebljen                                 |
| 24 >= <i>izabrani materija je povoljan</i>                                | <=Izabrani materijal je nepovoljan                                     | izabrani materijal je izrazito povoljan                                | izabrani materijal moze biti upotrebljen                                 |
| 25 <i>izabrani materija je povoljan</i>                                   | Izabrani materijal je nepovoljan: <i>izabrani materija je povoljan</i> | izabrani materijal je nepovoljan: <i>izabrani materija je povoljan</i> | izabrani materijal moze biti upotrebljen                                 |
| 26 >= <i>izabrani materija je povoljan</i>                                | Izabrani materijal je nepovoljan                                       | >=izabrani materijal je nepovoljan                                     | izabrani materijal moze biti upotrebljen                                 |
| 27 >= <i>izabrani materija je povoljan</i>                                | Izabrani materijal je nepovoljan: <i>izabrani materija je povoljan</i> | izabrani materijal je nepovoljan                                       | izabrani materijal moze biti upotrebljen                                 |
| 28 <i>izabrani materija je povoljan</i>                                   | izabrani materija je povoljan                                          | <= <i>izabrani materija je povoljan</i>                                | izabrani materijal moze biti upotrebljen                                 |
| 29 <i>izabrani materija je povoljan</i>                                   | >= <i>izabrani materija je povoljan</i>                                | izabrani materijal je izrazito nepovoljan                              | izabrani materijal moze biti upotrebljen                                 |
| 30 >= <i>izabrani materija je povoljan</i>                                | izabrani materija je povoljan                                          | <=izabrani materijal je nepovoljan                                     | izabrani materijal moze biti upotrebljen                                 |
| 31 <i>izabrani materijal je izrazito povoljan</i>                         | <=Izabrani materijal je nepovoljan                                     | >= <i>izabrani materija je povoljan</i>                                | izabrani materijal moze biti upotrebljen                                 |
| 32 <i>izabrani materijal je izrazito povoljan</i>                         | Izabrani materijal je nepovoljan                                       | *                                                                      | izabrani materijal moze biti upotrebljen                                 |
| 33 <i>izabrani materijal je izrazito povoljan</i>                         | Izabrani materijal je nepovoljan: <i>izabrani materija je povoljan</i> | <=izabrani materijal je nepovoljan                                     | izabrani materijal moze biti upotrebljen                                 |
| 34 >=izabrani materijal je nepovoljan                                     | <i>izabrani materijal je izrazito povoljan</i>                         | <i>izabrani materijal je izrazito povoljan</i>                         | <i>izabrani materija je povoljan</i>                                     |
| 35 >= <i>izabrani materija je povoljan</i>                                | >= <i>izabrani materija je povoljan</i>                                | <i>izabrani materijal je izrazito povoljan</i>                         | <i>izabrani materija je povoljan</i>                                     |
| 36 >= <i>izabrani materija je povoljan</i>                                | izabrani materijal je izrazito povoljan                                | >=izabrani materijal je nepovoljan                                     | <i>izabrani materija je povoljan</i>                                     |
| 37 <i>izabrani materijal je izrazito povoljan</i>                         | >= <i>izabrani materija je povoljan</i>                                | >= <i>izabrani materija je povoljan</i>                                | <i>izabrani materija je povoljan</i>                                     |
| 38 <i>izabrani materijal je izrazito povoljan</i>                         | <i>izabrani materijal je izrazito povoljan</i>                         | *                                                                      | <i>izabrani materija je povoljan</i>                                     |

| Globalna proizvodnja na godišnjem nivou | Postotak reciklaže na godišnjem nivou | Ekoloski kriterijumi                             | globalna proizvodnja i reciklaža na godišnjem nivou |
|-----------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 46%                                     | 54%                                   |                                                  |                                                     |
| 1 <b>velika</b>                         | <=25-50%                              | <b>izabrani materijal je izrazito nepovoljan</b> |                                                     |
| 2 srednja                               | <=25-50%                              | izabrani materijal je nepovoljan                 |                                                     |
| 3 >=srednja                             | <b>1-25%</b>                          | izabrani materijal je nepovoljan                 |                                                     |
| 4 <b>velika</b>                         | >= <b>50-75%</b>                      | <b>izabrani materija je povoljan</b>             |                                                     |
| 5 <=srednja                             | <b>50-75%</b>                         | <b>izabrani materija je povoljan</b>             |                                                     |
| 6 <b>mala</b>                           | 25-50%                                | <b>izabrani materija je povoljan</b>             |                                                     |
| 7 >=srednja                             | <b>75-100%</b>                        | <b>izabrani materijal je izrazito povoljan</b>   |                                                     |
| 8 <b>mala</b>                           | >= <b>50-75%</b>                      | <b>izabrani materijal je izrazito povoljan</b>   |                                                     |

| Emisija CO2 u procesu proizvodnje | Potrosnja vode u procesu proizvodnje | Potrosnja energije u procesu proizvodnje | Ekoloski kriterijumi                             | potrošnja resursa i energije |
|-----------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------|
| 27%                               | 31%                                  | 42%                                      |                                                  |                              |
| 1 <b>visoka emisija CO2</b>       | <=prosječna potrošnja vode           | <b>velika potrošnja energije</b>         | <b>izabrani materijal je izrazito nepovoljan</b> |                              |
| 2 <b>visoka emisija CO2</b>       | <b>velika potrošnja vode</b>         | >=srednja potrošnja energije             | Izabrani materijal je nepovoljan                 |                              |
| 3 <=sredja emisija CO2            | <b>velika potrošnja vode</b>         | srednja potrošnja energije               | Izabrani materijal je nepovoljan                 |                              |
| 4 <b>visoka emisija CO2</b>       | <b>mala potrošnja vode</b>           | <b>velika potrošnja energije</b>         | Izabrani materijal je nepovoljan                 |                              |
| 5 sredja emisija CO2              | <b>velika potrošnja vode</b>         | <=srednja potrošnja energije             | Izabrani materijal je nepovoljan                 |                              |
| 6 >=sredja emisija CO2            | <=prosječna potrošnja vode           | <b>velika potrošnja energije</b>         | Izabrani materijal je nepovoljan                 |                              |
| 7 <b>visoka emisija CO2</b>       | >=prosječna potrošnja vode           | >=srednja potrošnja energije             | <b>izabrani materija je povoljan</b>             |                              |
| 8 <=sredja emisija CO2            | prosječna potrošnja vode             | >=srednja potrošnja energije             | <b>izabrani materija je povoljan</b>             |                              |
| 9 *                               | >=prosječna potrošnja vode           | srednja potrošnja energije               | <b>izabrani materija je povoljan</b>             |                              |
| 10 sredja emisija CO2             | <=prosječna potrošnja vode           | <b>mala potrošnja energije</b>           | <b>izabrani materija je povoljan</b>             |                              |
| 11 >=sredja emisija CO2           | <b>velika potrošnja vode</b>         | <b>mala potrošnja energije</b>           | <b>izabrani materija je povoljan</b>             |                              |
| 12 >=sredja emisija CO2           | <b>mala potrošnja vode</b>           | <=srednja potrošnja energije             | <b>izabrani materija je povoljan</b>             |                              |
| 13 <b>niska emisija CO2</b>       | <b>velika potrošnja vode</b>         | >=srednja potrošnja energije             | <b>izabrani materija je povoljan</b>             |                              |
| 14 <b>niska emisija CO2</b>       | *                                    | srednja potrošnja energije               | <b>izabrani materija je povoljan</b>             |                              |
| 15 >=sredja emisija CO2           | <b>mala potrošnja vode</b>           | <b>mala potrošnja energije</b>           | <b>izabrani materijal je izrazito povoljan</b>   |                              |
| 16 <b>niska emisija CO2</b>       | >=prosječna potrošnja vode           | <b>mala potrošnja energije</b>           | <b>izabrani materijal je izrazito povoljan</b>   |                              |

| Porces ugradnje termoizolacionog materijala | Tržisna cijena termoizolacionog materijala | Dostupnost termoizolacionog materijala na tržištu     | Debljine termoizolacionog materijala                             | Ekonomski kriterijumi                            |
|---------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 16%                                         | 26%                                        | 33%                                                   | 24%                                                              |                                                  |
| 1 <b>komplikovan proces ugradnje</b>        | <b>visoka cijena</b>                       | *                                                     | <b>za izabrani materijal je potrebna veća debljina TM sloja</b>  | <b>izabrani materijal je izrazito nepovoljan</b> |
| 2 <=standardni proces ugradnje              | <b>visoka cijena</b>                       | <b>izabrani materija je teško dostupan na tržištu</b> | <=za izabrani materija je potrebna srednja debljina TM           | <b>izabrani materijal je izrazito nepovoljan</b> |
| 3 <=standardni proces ugradnje              | <=prosječna cijena                         | <b>izabrani materija je teško dostupan na tržištu</b> | <b>za izabrani materijal je potrebna veća debljina TM sloja</b>  | <b>izabrani materijal je izrazito nepovoljan</b> |
| 4 *                                         | <b>visoka cijena</b>                       | <b>izabrani materija je teško dostupan na tržištu</b> | <b>za izabrani materijal je potrebna veća debljina TM sloja</b>  | <b>izabrani materijal je izrazito nepovoljan</b> |
| 5 <b>komplikovan proces ugradnje</b>        | <=prosječna cijena                         | <b>izabrani materija je teško dostupan na tržištu</b> | <b>za izabrani materijal je potrebna manja debljina TM sloja</b> | izabrani materijal je nepovoljan                 |
| 6 <=standardni proces ugradnje              | <b>visoka cijena</b>                       | <b>izabrani materija je teško dostupan na tržištu</b> | <b>za izabrani materijal je potrebna manja debljina TM sloja</b> | izabrani materijal je nepovoljan                 |
| 7 <=standardni proces ugradnje              | <b>visoka cijena</b>                       | <b>izabrani materijal je lako dostupan na tržištu</b> | za izabrani materija je potrebna srednja debljina TM             | izabrani materijal je nepovoljan                 |
| 8 <b>komplikovan proces ugradnje</b>        | prosječna cijena                           | <b>izabrani materija je teško dostupan na tržištu</b> | >=za izabrani materija je potrebna srednja debljina TM           | izabrani materijal je nepovoljan                 |
| 9 <b>komplikovan proces ugradnje</b>        | >=prosječna cijena                         | <b>izabrani materija je teško dostupan na tržištu</b> | za izabrani materija je potrebna srednja debljina TM             | izabrani materijal je nepovoljan                 |
| 10 <=standardni proces ugradnje             | prosječna cijena                           | <b>izabrani materija je teško dostupan na tržištu</b> | za izabrani materija je potrebna srednja debljina TM             | izabrani materijal je nepovoljan                 |
| 11 <=standardni proces ugradnje             | prosječna cijena                           | <b>izabrani materijal je lako dostupan na tržištu</b> | <b>za izabrani materijal je potrebna veća debljina TM sloja</b>  | izabrani materijal je nepovoljan                 |
| 12 <b>komplikovan proces ugradnje</b>       | <b>niska cijena</b>                        | <b>izabrani materija je teško dostupan na tržištu</b> | <=za izabrani materija je potrebna srednja debljina TM           | izabrani materijal je nepovoljan                 |
| 13 <=standardni proces ugradnje             | <b>niska cijena</b>                        | <b>izabrani materija je teško dostupan na tržištu</b> | <b>za izabrani materijal je potrebna veća debljina TM sloja</b>  | izabrani materijal je nepovoljan                 |
| 14 standardni proces ugradnje               | <b>visoka cijena</b>                       | <b>izabrani materijal je lako dostupan na tržištu</b> | <=za izabrani materija je potrebna srednja debljina TM           | izabrani materijal je nepovoljan                 |
| 15 standardni proces ugradnje               | <=prosječna cijena                         | <b>izabrani materijal je lako dostupan na tržištu</b> | <b>za izabrani materijal je potrebna veća debljina TM sloja</b>  | izabrani materijal je nepovoljan                 |
| 16 >=standardni proces ugradnje             | <b>visoka cijena</b>                       | <b>izabrani materijal je lako dostupan na tržištu</b> | <b>za izabrani materijal je potrebna veća debljina TM sloja</b>  | izabrani materijal je nepovoljan                 |
| 17 <b>jednostavan proces ugradnje</b>       | <b>visoka cijena</b>                       | <b>izabrani materija je teško dostupan na tržištu</b> | za izabrani materija je potrebna srednja debljina TM             | izabrani materijal je nepovoljan                 |
| 18 <b>jednostavan proces ugradnje</b>       | prosječna cijena                           | <b>izabrani materija je teško dostupan na tržištu</b> | <b>za izabrani materijal je potrebna veća debljina TM sloja</b>  | izabrani materijal je nepovoljan                 |
| 19 <b>komplikovan proces ugradnje</b>       | <=prosječna cijena                         | <b>izabrani materijal je lako dostupan na tržištu</b> | <b>za izabrani materijal je potrebna manja debljina TM sloja</b> | <b>izabrani materija je povoljan</b>             |
| 20 *                                        | <b>visoka cijena</b>                       | <b>izabrani materijal je lako dostupan na tržištu</b> | <b>za izabrani materijal je potrebna manja debljina TM sloja</b> | <b>izabrani materija je povoljan</b>             |
| 21 <b>komplikovan proces ugradnje</b>       | prosječna cijena                           | <b>izabrani materijal je lako dostupan na tržištu</b> | >=za izabrani materija je potrebna srednja debljina TM           | <b>izabrani materija je povoljan</b>             |
| 22 <b>komplikovan proces ugradnje</b>       | >=prosječna cijena                         | <b>izabrani materijal je lako dostupan na tržištu</b> | za izabrani materija je potrebna srednja debljina TM             | <b>izabrani materija je povoljan</b>             |
| 23 <=standardni proces ugradnje             | prosječna cijena                           | <b>izabrani materijal je lako dostupan na tržištu</b> | za izabrani materija je potrebna srednja debljina TM             | <b>izabrani materija je povoljan</b>             |
| 24 <b>komplikovan proces ugradnje</b>       | <b>niska cijena</b>                        | <b>izabrani materija je teško dostupan na tržištu</b> | <b>za izabrani materijal je potrebna manja debljina TM sloja</b> | <b>izabrani materija je povoljan</b>             |
| 25 <b>komplikovan proces ugradnje</b>       | <b>niska cijena</b>                        | <b>izabrani materijal je lako dostupan na tržištu</b> | <=za izabrani materija je potrebna srednja debljina TM           | <b>izabrani materija je povoljan</b>             |
| 26 <=standardni proces ugradnje             | <b>niska cijena</b>                        | <b>izabrani materijal je lako dostupan na tržištu</b> | <b>za izabrani materijal je potrebna veća debljina TM sloja</b>  | <b>izabrani materija je povoljan</b>             |
| 27 >=standardni proces ugradnje             | prosječna cijena                           | <b>izabrani materija je teško dostupan na tržištu</b> | <b>za izabrani materijal je potrebna manja debljina TM sloja</b> | <b>izabrani materija je povoljan</b>             |
| 28 >=standardni proces ugradnje             | <b>niska cijena</b>                        | <b>izabrani materija je teško dostupan na tržištu</b> | za izabrani materija je potrebna srednja debljina TM             | <b>izabrani materija je povoljan</b>             |
| 29 <b>jednostavan proces ugradnje</b>       | <b>visoka cijena</b>                       | *                                                     | <b>za izabrani materijal je potrebna manja debljina TM sloja</b> | <b>izabrani materija je povoljan</b>             |
| 30 <b>jednostavan proces ugradnje</b>       | <=prosječna cijena                         | <b>izabrani materija je teško dostupan na tržištu</b> | <b>za izabrani materijal je potrebna manja debljina TM sloja</b> | <b>izabrani materija je povoljan</b>             |
| 31 <b>jednostavan proces ugradnje</b>       | <b>visoka cijena</b>                       | <b>izabrani materijal je lako dostupan na tržištu</b> | >=za izabrani materija je potrebna srednja debljina TM           | <b>izabrani materija je povoljan</b>             |
| 32 <b>jednostavan proces ugradnje</b>       | prosječna cijena                           | <b>izabrani materija je teško dostupan na tržištu</b> | >=za izabrani materija je potrebna srednja debljina TM           | <b>izabrani materija je povoljan</b>             |
| 33 <b>jednostavan proces ugradnje</b>       | >=prosječna cijena                         | <b>izabrani materija je teško dostupan na tržištu</b> | za izabrani materija je potrebna srednja debljina TM             | <b>izabrani materija je povoljan</b>             |
| 34 <b>jednostavan proces ugradnje</b>       | prosječna cijena                           | <b>izabrani materijal je lako dostupan na tržištu</b> | <b>za izabrani materijal je potrebna veća debljina TM sloja</b>  | <b>izabrani materija je povoljan</b>             |
| 35 <b>jednostavan proces ugradnje</b>       | <b>niska cijena</b>                        | <b>izabrani materija je teško dostupan na tržištu</b> | <=za izabrani materija je potrebna srednja debljina TM           | <b>izabrani materija je povoljan</b>             |
| 36 *                                        | <b>niska cijena</b>                        | <b>izabrani materijal je lako dostupan na tržištu</b> | <b>za izabrani materijal je potrebna manja debljina TM sloja</b> | <b>izabrani materijal je izrazito povoljan</b>   |
| 37 >=standardni proces ugradnje             | >=prosječna cijena                         | <b>izabrani materijal je lako dostupan na tržištu</b> | <b>za izabrani materijal je potrebna manja debljina TM sloja</b> | <b>izabrani materijal je izrazito povoljan</b>   |
| 38 >=standardni proces ugradnje             | <b>niska cijena</b>                        | *                                                     | <b>za izabrani materijal je potrebna manja debljina TM sloja</b> | <b>izabrani materijal je izrazito povoljan</b>   |
| 39 >=standardni proces ugradnje             | <b>niska cijena</b>                        | <b>izabrani materijal je lako dostupan na tržištu</b> | >=za izabrani materija je potrebna srednja debljina TM           | <b>izabrani materijal je izrazito povoljan</b>   |
| 40 <b>jednostavan proces ugradnje</b>       | >=prosječna cijena                         | <b>izabrani materijal je lako dostupan na tržištu</b> | >=za izabrani materija je potrebna srednja debljina TM           | <b>izabrani materijal je izrazito povoljan</b>   |
| 41 <b>jednostavan proces ugradnje</b>       | <b>niska cijena</b>                        | <b>izabrani materijal je lako dostupan na tržištu</b> | *                                                                | <b>izabrani materijal je izrazito povoljan</b>   |

Average weights

| Attribute                                                                        | Local | Global | Loc.norm. | Glob.norm. |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------|--------|-----------|------------|
| Ocjena termoizolacijskog materijala na osnovu ekoloških i ekonomskih kriterijuma |       |        |           |            |
| —Ekoloski kriterijumi_globalna proizvodnja i reciklaža na godišnjem nivou        | 33    | 33     | 33        | 33         |
| Globalna proizvodnja na godišnjem nivou                                          | 46    | 15     | 36        | 12         |
| Postotak reciklaže na godišnjem nivou                                            | 54    | 18     | 64        | 21         |
| —Ekoloski kriterijumi_potrošnja resursa i energije                               | 44    | 44     | 44        | 44         |
| Emisija CO2 u procesu proizvodnje                                                | 27    | 12     | 27        | 12         |
| Potrošnja vode u procesu proizvodnje                                             | 31    | 13     | 31        | 13         |
| Potrošnja energije u procesu proizvodnje                                         | 42    | 18     | 42        | 18         |
| —Ekonomski kriterijumi                                                           | 23    | 23     | 23        | 23         |
| Porces ugradnje termoizolacionog materijala                                      | 16    | 4      | 20        | 5          |
| Tržisna cijena termoizolacionog materijala                                       | 26    | 6      | 31        | 7          |
| Dostupnost termoizolacionog materijala na tržištu                                | 33    | 8      | 20        | 5          |
| Debljine termoizolacionog materijala                                             | 24    | 6      | 29        | 7          |

Evaluation results

| Attribute                                                                        | TM-EPS-Stiropor                                      | TM-Reciklirani tekstil                               |
|----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Ocjena termoizolacijskog materijala na osnovu ekoloških i ekonomskih kriterijuma | izabrani materijal može biti upotrebljen             |                                                      |
| Ekoloski kriterijumi_globalna proizvodnja i reciklaža na godišnjem nivou         | izabrani materijal je nepovoljan                     | izabrani materijal je nepovoljan                     |
| Globalna proizvodnja na godišnjem nivou                                          | mala                                                 | izabrani materijal je izrazito nepovoljan            |
| Postotak reciklaže na godišnjem nivou                                            | 1-25%                                                | velika                                               |
| Ekoloski kriterijumi_potrošnja resursa i energije                                |                                                      | 1-25%                                                |
| Emisija CO2 u procesu proizvodnje                                                | izabrani materija je povoljan                        | Izabrani materijal je nepovoljan                     |
| Potrosnja vode u procesu proizvodnje                                             | niska emisija CO2                                    | sredja emisija CO2                                   |
| Potrosnja energije u procesu proizvodnje                                         | mala potrošnja vode                                  | velika potrošnja vode                                |
| Ekonomski kriterijumi                                                            | srednja potrošnja energije                           | velika potrošnja energije                            |
| Porces ugradnje termoizolacionog materijala                                      | izabrani materijal je izrazito povoljan              | izabrani materijal je nepovoljan                     |
| Tržisna cijena termoizolacionog materijala                                       | jednostavan proces ugradnje                          | standardni proces ugradnje                           |
| Dostupnost termoizolacionog materijala na tržištu                                | niska cijena                                         | prosječna cijena                                     |
| Debljine termoizolacionog materijala                                             | izabrani materijal je lako dostupan na tržištu       | izabrani materija je teško dostupan na tržištu       |
|                                                                                  | za izabrani materija je potrebna srednja debljina TM | za izabrani materija je potrebna srednja debljina TM |

## *Zahvalnica i biografija*

*“Obrazovanje je najmoćnije oružje koje možete koristiti da promijenite svijet.”*

– Nelson Mandela

Zahvalnost, na prvom mjestu, dugujem mentoru, prof. dr. Petru Gveri i komentoru prof. dr. Biljani Antunović, na povjerenju i podršci tokom izrade magistarskog rada. Vaše stručno znanje, posvećenost i savjeti bili su od neprocjenjive vrijednosti tokom istraživačkog procesa. Vaša stručnost i angažman u pogledu istraživanja doprinijeli su razvoju i kvalitetu rada. Vaša podrška i konstruktivni komentari su mi mnogo značili i pružili su mi suštinske smjernice tokom izrade magistarskog rada.

Želim se zahvaliti i doc dr. Đorđu Vojinoviću na njegovoj pomoći u modeliranju višekriterijskih odluka. Vaše stručno znanje i savjeti bili su ključni za razumijevanje i primjenu ovog kompleksnog područja istraživanja. Vaša podrška mi je omogućila da pravilno analiziram i donesem relevantne zaključke u svom radu. Također, najljepše se zahvaljujem i članovima komisije za ocjenu magistarskog rada prof. dr Gordani Broćeta i prof. dr Dariji Gajić.

Zahvalnost dugujem, Vasiliju Trifkoviću. Hvala ti što si uvijek bio tu za mene, tvoja podrška i prisutnost su mi bili neophodni da održim fokus i ostvarim svoje ciljeve. Takođe, želim da se zahvalim šefu, pukovniku Ninoslavu Jeliću, na razumijevanju i pruženom vremenu za izradu rada, što mi je omogućilo da se posvetim istraživanju i pisanju na najbolji mogući način.

Na kraju, želim se zahvaliti svojoj porodici. Hvala vam na podršci i razumijevanju koje ste mi pružili tokom ovog intenzivnog perioda. Vaša podrška i ohrabrenje bili su neprocjenjivi, dajući mi motivaciju da istrajem u ostvarenju svog cilja.

*Ana Jojić*

| Opšti podaci       |                                                                                                                                                                       |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ime i Prezime:     | Ana Jojić                                                                                                                                                             |
| Datum rođenja:     | 07.05.1991. godine                                                                                                                                                    |
| Mjesto rođenja:    | Bihać                                                                                                                                                                 |
| Adresa stanovanja: | Cara Dušana 6, Trn, Laktaši                                                                                                                                           |
| e-mail:            | <i>ana.jojic@student.aggf.unibl.org</i>                                                                                                                               |
| Obrazovanje        |                                                                                                                                                                       |
| 2019.              | Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet Banja Luka<br>Kombinovani drugi ciklus studija - Energetska efikasnost u zgradarstvu;                                    |
| 01-12. 2017.       | Osnovna oficirska obuka;                                                                                                                                              |
| 2010. - 2016.      | Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet Banja Luka<br>Odsjek Arhitektura, I ciklus studija;<br>stečeno zvanje: diplomirani inženjer arhitekture, 240 ECTS bodova |
| 2006. - 2010.      | Srednja Ekonomska škola Banja Luka, smjer Poslovno pravni tehničar;                                                                                                   |
| Radno iskustvo     |                                                                                                                                                                       |
| 06.12.2017.        | Zaposlena u činu potporučnika kao komandir voda/Četa za Infrastrukturu/Građevinska služba- MO OS BiH, Sarajevo;                                                       |
| 01.04.2020.        | Zaposlena u činu poručnika kao komandir voda/Četa za Infrastrukturu/Građevinska služba- MO OS BiH, Banjaluka;                                                         |
| Reference          |                                                                                                                                                                       |
| 2018.              | Međunarodni kongres „Održiva arhitektura – energetska efikasnost”, Beograd;                                                                                           |
| 2020-2021.         | Projekat “Uspostavljanje ambulanti na vojnim lokacijama”, izrada idejnog rješenja i nadzor nad izvođenjem radova;                                                     |
| 03.08.2021.        | Položen stručni ispit iz oblasti arhitektura i urbanizam, na temu „Planirani poslovni objekat “;                                                                      |
| 30.09.2021.        | Stekla Licencu za izradu tehničke dokumentacije, arhitektonska faza i nadzor;                                                                                         |
| 2021-2023.         | Projekat “Plan razvoja perspektivnih lokacija, objekata i infrastrukture MO i OS BiH”, izrada idejnog rješenja i nadzor nad izvođenjem radova;                        |
| April 2023.        | Učestvovala sam na simpozijumu Energetske efikasnosti u zgradarstvu „ENEF“, sa temom „Termoizolacija od recikliranog tekstila za omotač zgrada“;                      |

ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ

Изјављујем да је  
мастер/магистарски рад

Наслов рада: „Употреба рециклираног текстилног отпада као термоизолационог материјала са циљем смањења загађења животне средине“

Наслов рада на енглеском језику: „*The utilization of recycled textile waste as a thermal insulation material for the purpose of mitigating environmental pollution*“

- ☒ резултат сопственог истраживачког рада,
- ☒ да мастер/магистарски рад, у цјелини или у дијеловима, није био предложен за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- ☒ да су резултати коректно наведени и
- ☒ да нисам кршио/ла ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

У Бањој Луци 20. 06. 2023.

Потпис кандидата

Amirget

**Изјава којом се овлашћује Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет  
Универзитета у Бањој Луци да мастер/магистарски рад учини јавно доступним**

Овлашћујем Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет Универзитета у Бањој Луци да мој мастер/магистарски рад, под насловом

**„УПОТРЕБА РЕЦИКЛИРАНОГ ТЕКСТИЛНОГ ОТПАДА КАО ТЕРМОИЗОЛАЦИОНОГ  
МАТЕРИЈАЛА СА ЦИЉЕМ СМАЊЕЊА ЗАГАЂЕЊА ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ“**

који је моје ауторско дјело, учини јавно доступним.

Мастер/магистарски рад са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату, погодном за трајно архивирање.

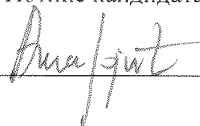
Мој мастер/магистарски рад, похрањен у д и г и т а л н и р е п о з и т о р и ј у м Универзитетау Бањој Луци, могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (*Creative Commons*), за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство
2. Ауторство - некомерцијално
- ☒ 3. Ауторство - некомерцијално - без прераде
4. Ауторство - некомерцијално - дијелити под истим условима
5. Ауторство - без прераде
6. Ауторство - дијелити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је на полеђини листа).

У Бањој Луци 29.06.2023.

Потпис кандидата



**Изјава о идентичности штампане и електронске верзије  
мастер/магистарског рада**

Име и презиме аутора: Ана Јојић

Наслов рада: „Употреба рециклираног текстилног отпада као термоизолационог материјала са  
циљем смањења загађења животне средине“

Ментор: проф. др Петар Гверо  
проф. др Биљана Антуновић

Изјављујем да је штампана верзија мог мастер/магистарског рада идентична електронској  
верзији коју сам предао/ла за дигитални репозиторијум Универзитета у Бањој Луци.

У Бањој Луци 20.06.2023.

Потпис кандидата

Ana Jost

**УНИВЕРЗИТЕТУ У БАЊОЈ ЛУЦИ**  
**ПОДАЦИ О АУТОРУ ОДБРАЊЕНОГ МАСТЕР РАДА**

Име и презиме аутора мастер рада: Ана Јојић

Датум, мјесто и држава рођења аутора: 07.05.1991., Бихаћ, Босна и Херцеговина

Назив завршеног факултета аутора и година дипломирања: Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет, УНИБЛ, 2016.

Датум одбране завршног рада аутора : 26.08.2016.

Наслов завршног рада аутора: „Кориштење мјешане реалности у отвореним јавним градским просторима Бањалуке“

Академско звање коју је аутор стекао одбраном завршног рада: Дипломирани инжењер архитектуре – 240 ECTS

Академско звање које је аутор стекао одбраном мастер рада: Мастер архитектуре и грађевинарства-300 ECTS-Енергетска ефикасност у зградарству

Назив факултета на коме је мастер рад одбрањен: Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет и Машински факултет Универзитета у Бањој Луци (Комбиновани студијски програм Енергетске ефикасности у зградарству)

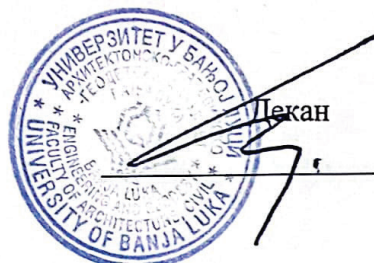
Наслов мастер рада и датум одбране: „Употреба рециклираног текстилног отпада као термоизолационог материјала са циљем смањења загађења животне средине“

Научна област мастер рада према CERIF шифрарнику:

Имена ментора и чланова комисије за одбрану мастер рада:

1. проф. др Гордана Броћета, Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет, предсједник и члан комисије;
2. проф. др Петар Гверо, Машински факултет, ментор и члан комисије;
3. проф. др Биљана Антуновић, Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет, коментор и члан комисије;
4. проф. др Дарија Гајић, Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет, члан комисије;
5. доц. др Ђорђе Војиновић, Технолошки факултет, члан комисије

У Бањој Луци, дана 28.06.2023.



**НАСТАВНО - НАУЧНОМ ВИЈЕЋУ  
КОМБИНОВАНОГ СТУДИЈСКОГ ПРОГРАМА II ЦИКЛУСА  
ЕНЕРГЕТСКА ЕФИКАСНОСТ У ЗГРАДАРСТВУ  
УНИВЕРЗИТЕТА У БАЊОЈ ЛУЦИ**

**Предмет:** Извјештај комисије о прегледу и оцјени Завршног рада II циклуса Комбинованог студијског програма „Енергетска ефикасност у зградарству“, под називом: *„Употреба рециклираног текстилног отпада као термоизолационог материјала са циљем смањења загађења животне средине“*, кандидаткиње Ане Јојић, дипл.инж.арх.

На основу члана 54. Статута Универзитета у Бањој Луци и Одлуке Вијећа Комбинованог студијског програма II циклуса Енергетска ефикасност у зградарству и Научно-наставног вијећа Архитектонско-грађевинско-геодетског факултета, Научно-наставно вијеће Архитектонско-грађевинско-геодетског факултета на 8. сједници, одржаној 17.03.2023. године донијело је Одлуку (број: 14/3.360/23 од 17.03.2023. године) о именовању Комисије за преглед и оцјену завршног рада за II циклус комбинованог студијског програма Енергетска ефикасност у зградарству, кандидаткиње **Ане Јојић** дипл.инж.арх., под називом:

**„УПОТРЕБА РЕЦИКЛИРАНОГ ТЕКСТИЛНОГ ОТПАДА КАО  
ТЕРМОИЗОЛАЦИОНОГ МАТЕРИЈАЛА СА ЦИЉЕМ СМАЊЕЊА ЗАГАЂЕЊА  
ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ“**

Именована је комисија у следећем саставу:

1. Проф. др Гордана Броћета, Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет, Универзитет у Бањој Луци, ужа научна област Грађевински материјали и конструкције, предсједник комисије, члан;
2. Проф. др Петар Гверо, Машински факултет, Универзитет у Бањој Луци, ужа научна област Термотехника, ментор, члан;
3. Проф. др Биљана Антуновић, Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет, Универзитет у Бањој Луци, ужа научна област Општа физика, коментор, члан;
4. Проф. др Дарија Гајић, Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет, Универзитет у Бањој Луци, ужа научна област Архитектонске технологије, члан;
5. Доц. др Ђорђе Војиновић, Технолошки факултет, Универзитет у Бањој Луци, ужа научна област Процесно инжењерство, члан.

Комисија је детаљно прегледала и анализирала завршни рад и установила да је кандидаткиња Ана Јојић, број индекса 04МЕЕЗ/19, испунила све формалне услове, и предала текст завршног рада за II циклус у прописаној форми, те Научно-наставном вијећу подноси следећи:

## ИЗВЈЕШТАЈ О ПРЕГЛЕДУ И ОЦЈЕНИ ЗАВРШНОГ РАДА

### I БИОГРАФСКИ ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

Кандидат Ана Јојић рођена је 07.05.1991. године у Бихаћу. Средњу Економску школу завршила је 2010. године у Бањој Луци. Студије архитектуре завршила је 2016. године на Архитектонско - грађевинско - геодетском факултету Универзитета у Бањој Луци, чиме је стекла звање дипломирани инжењер архитектуре (први циклус студија - 240 ЕЦТС бодова), усмјерење – архитектонске конструкције. На комбиноване мастер студије Архитектонско-грађевинско-геодетског и Машинског факултета Универзитета у Бањој Луци „Енергетска ефикасност у зградарству“ уписана је школске 2019/20 године. У августу 2021. године положила је стручни испит из области архитектура и урбанизам, на тему „Планирани пословни објекат“, а у септембру 2021. године стекла Лиценцу за израду техничке документације, архитектонска фаза и надзор.

У периоду, јануар 2017. – децембар 2017. служила је војни рок и завршила основну официрску обуку, након чега је у периоду децембар 2017. - јун 2020. била запослена у чину потпоручника као командир вода у Грађевинској служби, касарна „Рајловас“, Сарајево. У јуну 2020. године унапријеђена је у чин поручника. Од маја 2023. запослена је у чину капетана као командир вода у касарни „Козара“, Бања Лука.

Течно говори енглески језик. Посједује одлично познавање: *Archicad-a*, *Autocad-a*, *Sketchup-a*, *3DMax-a*, *Lumion-a*, *Zbrush-a*, користи *Office* и *Adobe*.

Учестововала је у пројектима: „Успостављање амбуланти на војним локацијама“, „План развоја перспективних локација, објеката и инфраструктуре МО и ОС БиХ“, израда идејног рјешења и надзор над извођењем радова.

У априлу 2023. године, учествовала је на симпозијуму „Енергетска ефикасност - ЕНЕФ“ и изложила рад на тему „Термоизолација од рециклираног текстила за омотач зграда“.

### II ПОДАЦИ И ЗАВРШНОМ РАДУ

Мастер рад садржи двије основне цјелине: истраживачки и примјењени дио рада. У првом, истраживачком дијелу рада, представљен је проблем текстилне индустрије и њен утицај на загађење животне средине у свим фазама производње текстила.

У другом дијелу рада анализира се могућност поновне употребе текстилног отпада у термоизолационе материјале кроз технике метода рециклаже: технику директне методе, технику нетканог материјала и технику комбиновања са грађевинским материјалом. Након анализе метода рециклаже, термоизолациони материјали од рециклираног текстила су примјењени на типски слободностојећи стамбени објекат на подручју Републике Српске, након тога је анализиран ефекат примјене рециклираних у односу на конвенционалне термоизолационе материјале. Кроз програмски алат „*DEXi*“ који се бави мултикритеријском анализом, на основу економских и еколошких критеријума извршена је мултикритеријска анализа употребе конвенционалног термоизолационог материјала у односу на употребу термоизолационог материјала од рециклираног текстила. На основу добијених резултата оцијењених алтернатива, креиран је могући сценарио, како би се изједначила оцјена одрабраних материјала.

Рад обухвата 57 страна текста и 7 страна прилога (изворна мултикритеријска анализа из „*DEXi*“ програмског алата). Кориштена су 48 референтна извора података, 35 фотографије и 15 табела.

Садржај завршног рада структуриран је према горенаведеним цјелинама на сљедећи начин:

*Резиме*

*Садржај*

|                                                                                                                       |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>УВОД</b>                                                                                                           | <b>1</b>  |
| <b>ПРОБЛЕМ ИСТРАЖИВАЊА</b>                                                                                            | <b>4</b>  |
| Текстилна индустрија                                                                                                  | 4         |
| Политика Европске уније                                                                                               | 5         |
| Еколошки трошак текстилне индустрије                                                                                  | 5         |
| <i>Производња и промет синтетичких и природних влакана</i>                                                            | 6         |
| <i>Употреба ресурса и енергије</i>                                                                                    | 8         |
| <i>Загађење и потрошња воде</i>                                                                                       | 9         |
| <i>Гасови стаклене баште</i>                                                                                          | 11        |
| <i>Текстилни отпад</i>                                                                                                | 13        |
| <b>МЕТОДЕ</b>                                                                                                         | <b>15</b> |
| Употреба текстилног отпада у сврху термоизолацијских материјала                                                       | 15        |
| <i>Улога термоизолације и коефицијента пролаза топлоте (<math>U</math> – вриједност)</i>                              | 15        |
| <i>Поновна употреба или рециклажа текстилног отпада у изолационе материјале</i>                                       | 17        |
| Топлотне карактеристике текстилног отпада и конвенционалне термоизолације                                             | 23        |
| <i>Синтетички текстилни отпад</i>                                                                                     | 23        |
| <i>Отпад од природних текстилних материјала</i>                                                                       | 25        |
| <i>Отпад од природних текстилних материјала</i>                                                                       | 25        |
| <i>Термичке карактеристике конвенционалног материјала</i>                                                             | 26        |
| <i>Поређење термичких карактеристика рециклираног текстилног отпада и конвенционалног термоизолационог материјала</i> | 26        |
| <i>Отпорност текстилних термоизолацијских материјала на влагу и топлоту</i>                                           | 27        |
| Поређење термоизолацијских својстава материјала добијених на основу 3 технике рециклаже                               | 28        |
| <i>Опис типског објекта једнопородичног становања</i>                                                                 | 28        |
| <i>Прорачуни дебљине термоизолационог слоја и типови метода рециклажа текстилног материјала</i>                       | 29        |
| Анализа економских и еколошких критеријума изабраних термоизолацијских материјала                                     | 31        |

|                                                                                                                              |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>РЕЗУЛТАТИ</b>                                                                                                             | <b>35</b> |
| Примјена термоизолационог материјала на типском објекту добијеног на основу различитих техника рециклаже                     | 35        |
| <i>Примјена термоизолационог материјала добијеног техником директне методе</i>                                               | 35        |
| <i>Примјена термоизолационог материјала добијеног техником нетканог материјала</i>                                           | 36        |
| <i>Примјена термоизолационог материјала добијеног техником комбиновања рециклираног текстила са грађевинским материјалом</i> | 37        |
| Поређење термоизолацијских материјала на основу резултата техника метода рециклаже                                           | 38        |
| Термоизолација објекта конвенционалним материјалом                                                                           | 39        |
| Поређење термоизолација добијене техником нетканог материјала и конвенционалног термоизолационог материјала                  | 40        |
| Резултати мултикритеријске анализе изабраних термоизолацијских материјала на основу задатих критеријума                      | 41        |
| <b>ЗАКЉУЧАК</b>                                                                                                              | <b>47</b> |
| <b>ЛИТЕРАТУРА</b>                                                                                                            | <b>53</b> |
| <b>ПРИЛОЗИ</b>                                                                                                               | <b>55</b> |
| <i>Захвалница и биографија</i>                                                                                               | 56        |

### III ПРИКАЗ И АНАЛИЗА ЗАВРШНОГ РАДА

У овом раду је приказана анализа утицаја текстилне индустрије на загађење животне средине и емисију гасова са ефектом стаклене баште. Један од приоритетних проблема загађења текстилне индустрије је одлагање текстилног отпада. Употреба текстилног отпада у сврху термоизолационих материјала је анализирана кроз методе техника рециклаже текстилног отпада. Након анализе, извршена је примјена термоизолационих материјала добијених различитим техникама рециклаже текстилног материјала на примјеру типског индивидуалног стамбеног објекта на подручју Републике Српске.

За све методе рециклаже текстилног материјала израчуната је најмања потребна дебљина термоизолационог слоја према усвојеним параметрима у складу са важећим „Правилником о минималним захтјевима за енергетске карактеристике зграда“. Затим је извршено поређење најбољег термоизолационог материјала добијеног техником рециклаже текстилног отпада са конвенционалним термоизолационим материјалом.

Кроз програмски алат „DEXi“, урађена је мултикритеријска анализа употребе конвенционалног термоизолационог материјала и термоизолационих материјала добијених различитим техникама рециклаже текстилног материјала кроз економске и еколошке критеријуме.

## 1. Образложење назива рада

Назив мастер рада је „Употреба рециклираног текстилног отпада као термоизолационог материјала са циљем смањења загађења животне средине“.

У раду је представљен проблем текстилне индустрије која негативно утиче на ресурсе наше планете, биодиверзитет и становништво у огромним размјерама. Потрошња одјеће и текстилних производа убрзано расте због повећања свјетске популације, куповне моћи потрошача и промјена у потрошњи и модним обрасцима. Ова промјенљива понашања потрошње стварају огромну количину текстилног отпада. Процјењује се да се годишње произведе око 92 милиона метричких тона текстилног отпада и да ће се тај отпад вјероватно повећати за око 60% до 2030. године.

У данашње вријеме расте свијест о кориштењу еколошки прихватљивих и здравих материјала. Оваква схватања мотивисала су људе да користе природне и рециклиране материјале. Због тога се постепено повећава потреба за кориштењем грађевинских изолационих материјала од безопасних природних материјала и рециклираних производа. Као рјешење, односно смањење текстилног отпада, намеће се употреба рециклираног текстилног материјала у сврху термоизолационог материјала.

## 2. Предмет истраживања

Предмет истраживања рада је употреба рециклираног текстилног отпада у сврхе термоизолације са циљем смањења загађења животне средине текстилним отпадом. У раду су анализирани и упоређени карактеристике термоизолационих материјала насталих рециклажом текстилног отпада различитим методама, у односу на конвенционалне термоизолационе материјале. На примјеру типског слободностојећег стамбеног објекта у Републици Српској анализиран је ефекат примјене рециклираних у односу на конвенционалне термоизолационе материјале.

У последњем дијелу рада, на основу економских и еколошких критеријума, кроз програмски алат „DEXi“, урађена је мултикритеријска анализа поређења рециклираног текстилног и конвенционалног термоизолационог материјала.

## 3. Хипотезе

У раду су провјерене сљедеће хипотезе:

**Хипотеза 1: Текстилна (модна) индустрија производи велике количине текстилног отпада који се може рециклирати у сврху добијања термоизолационих материјала и на тај начин значајно смањити загађење животне средине.**

- Процјењује се да се годишње произведе око 92 милиона метричких тона текстилног отпада и да ће се тај отпад, према тренутним процјенама, повећати за око 60% од 2015. до 2030. године (ГФА, 2017). Прикупљени текстилни отпад се сортира и велики дио се извози за поновну употребу или рециклажу углавном изван Европе, при чему је процјена да се само од 10-30% отпада рециклира. Текстилни отпад се може користити поновном употребом или рециклажом у сврху производње термоизолационих материјала, јер има потенцијал да се користи као еколошки прихватљив топлотно-изолациони материјал. У том процесу постоје ограничења која је потребно ријешити,

као што су недовољно истражене карактеристике и отпорност материјала на ватру, штеточине, прашину, гљивице и бактерије. Због тога је накнадно потребно обавити детаљнија истраживања, како би се превладала уочена ограничења, одредиле непознате карактеристике наведених материјала и производи направљени од рециклираног текстила успјешно комерцијализовали на тржишту.

**Хипотеза 2: Кориштењем текстилног отпада као термоизолационог материјала различитим техникама рециклаже добијају се материјали једнаких или бољих термоизолационих својстава у односу на конвенционалне материјале.**

- У раду су приказане три технике рециклаже текстила: техника директне методе, техника нетканог материјала и техника комбиновања са грађевинским материјалом.
- На основу анализе кориштених техника, на примјеру типског индивидуалног стамбеног објекта на подручју Републике Српске, добијени су резултати који показују која је потребна дебљина термоизолације да би у складу са важећим *„Правилником о минималним захтјевима за енергетске карактеристике зграда“* био задовољен услов да је вриједност коефицијента пролаза топлоте за спољашње зидове, за одабрану климатску регију сјевер,  $U_{max} \leq 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ .
- Резултати су показали да је најбоља техника нетканог материјала, за који је усвојен коефицијент топлотне проводљивости  $\lambda=0,043 \text{ W/mK}$ , а најмања потребна дебљина изолације је  $d=12 \text{ cm}$ .
- Резултат поређења технике нетканог материјала и конвенционалног материјала (ЕПС-а) у сврху термоизолационих материјала јесте да је потребна мања дебљина термоизолационог слоја наведеног материјала од ЕПС-а ( $d=10 \text{ cm}$ ).

**Хипотеза 3: Са аспекта економско-еколошких критеријума термоизолациони материјали од рециклираног текстила имају предност у односу на конвенционалне термоизолационе материјале.**

- На основу мултикритеријумске анализе економских и еколошких критеријума, термоизолација од експандираног полистирена (ЕПС) и термоизолација од рециклираног текстила имају различите карактеристике и предности, па није увијек једноставно направити поређење и дефинисати која је опција боља.
- ЕПС се често користи у изолацији објеката због своје добре топлотно-изолационе способности, ниске цијене и једноставне инсталације. ЕПС је такође отпоран на плијесни и штеточине, што га чини издржљивијим. Међутим, производња ЕПС-а има и негативни утицај на околину, јер користи фосилна горива и може бити тешко разградив.
- Са друге стране, термоизолација од рециклираног текстила користи рециклиране материјале, што може смањити количину отпада за одлагање и допринијети одрживости. Ова врста топлотне изолације има коефицијент топлотне проводљивости као и конвенционални топлотно-изолациони материјали, али може бити осјетљива на влагу и плијесан, ако се не користи исправно. Инсталација рециклиране текстилне топлотне изолације може бити сложенија и скупља од инсталације ЕПС-а.
- На основу добијених резултата оцијењених алтернатива, креиран је могући сценарио, како би се изједначила оцјена одрабраних материјала. Уколико би се смањила количина производње текстила на годишњем нивоу, а самим тим и повећао постотак рециклаже, те уколико би производ постао лако доступан на тржишту по приступачним цијенама и једноставан за уградњу, оцјене на основу економских и еколошких критеријума би се изједначиле.

#### 4. Циљеви истраживања

Циљеви истраживања овог рада су, прије свега, анализа утицаја текстилне индустрије на загађење животне средине и емисију гасова са ефектом стаклене баште, а затим анализа и поређење својства материјала добијених различитим техникама рециклаже текстилног материјала у односу на конвенционалне термоизолационе материјале са аспекта термоизолационих својстава, али и еколошких и економских бенефита.

#### 5. Методе истраживања

**Метода за 1. хипотезу:** Кроз наведену методу је анализирана доступна литература и извори који се баве темом рада или блиским темама, те је формиран теоријски став. На основу досадашњих истраживања, доступне и проучене литературе представљени су главни еколошки трошкови текстилне индустрије и њихов утицај на загађење животне средине.

**Метода за 2. хипотезу:** На бази истраживања других аутора описани су и анализирани материјали произведени различитим техникама рециклаже: техника директне методе, техника нетканог материјала и техника комбиновања са грађевинским материјалом, те усвојени параметри за прорачун потребне дебљине термоизолационог слоја. Урађен је и прорачун потребне дебљине наведених термоизолационих материјала на одабраном типском индивидуалном стамбеном објекту на подручју Републике Српске те поређење најбољег термоизолационог материјала добијеног техником рециклаже текстилног отпада са конвенционалним термоизолационим материјалом.

**Метода за 3. хипотезу:** Кроз мултикритеријски програм “*DEXi*” коритећи еколошко-економске критеријуме извршена је анализа поређења изабране технике рециклаже текстилног материјала и конвенционалног термоизолационог материјала.

#### 6. Допринос истраживања

Допринос истраживања изложеног у овом мастеру прожима се кроз неколико аспеката:

- Производња и потрошња текстила имају значајан утицај на животну средину, укључујући: емисију гасова са ефектом стаклене баште, повећану потрошњу воде, црпљење природних ресурса, уништавање земљишта, прекомјерну потрошњу енергије, употребу штетних хемикалија, ослобађање микропластике, утицај на здравље људи и многе друге. Рециклажа текстилног отпада у сврху израде термоизолационих материјала може имати значајан допринос у смањењу негативног утицаја текстилне индустрије на животну средину. Овај процес укључује скупљање и сортирање различитих врста текстилног отпада, као што су: неупотребљиви остаци тканина, стари одјевни предмети, постељина, пешкири, као и други текстилни производи. Ови отпадни материјали се затим процесуирају како би се добили термоизолациони материјали.
- Термоизолациони материјали добијени од рециклираног текстилног отпада су еколошки прихватљивији од других изолационих материјала јер се смањује количина отпада која завршава на депонијама.

- Ови материјали такође смањују потребу за коришћењем других термоизолационих материјала који могу бити штетни по околину и људско здравље, попут стаклене вуне или полиуретана.
- Практичан допринос истраживања је рециклажа текстилног отпада у сврху израде термоизолационих материјала који могу допринијети одрживијој и еколошки прихватљивијој индустрији и смањењу негативног утицаја текстилне индустрије на животну средину смањењем количине текстилног отпада.

## 7. Очекивани резултати

Очекивани резултати истраживања су вишеструки. Прије свега, очекивани резултат је да се кроз ово истраживање пробуди свијест о утицају употребе текстилних материјала на животну средину, промишљање при њиховој употреби и одбацивању и неопходности рециклаже текстилних материјала у ширем смислу. Резултати овог истраживања показују да се примјеном рециклираних термоизолационих материјала од текстилног отпада може утицати на смањење негативног утицаја текстилне индустрије на загађење животне средине и емисију CO<sub>2</sub>. Такође, овај рад представља основу за нова истраживања када су у питању мастер и научни радови на тему рециклаже текстилног материјала, али и других врста материјала у сврху поновне употребе у области грађевинарства у складу са економским, али што је још важније, еколошким критеријумима и заштити животне средине.

### Матичност предложене теме

Предложена тема припада ужим научним областима: Архитектонске технологије, Архитектонско пројектовање, Грађевински материјали и конструкције и Термотехника за које су матични Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет и Машински факултет Универзитета у Бањој Луци.

## IV ЗАКЉУЧНО МИШЉЕЊЕ

Мастер рад кандидаткиње Ане Јојић, дип.инж.арх. *„Употреба рециклираног текстилног отпада као термоизолационог материјала са циљем смањења загађења животне средине“* пружа веома опсежну анализу и детаљан преглед доступних научних података на бази значајног број референци и досадашњих истраживања на тему текстилних материјала и њиховог неповољног утицаја на животну средину. У оквиру истраживања анализирани су три технике рециклаже у сврху топлотне изолације, направљена је упоредба са конвенционалним топлотно-изолационим материјалима, али и предочени недостаци и ограничења када је у питању употреба топлотно-изолационих материјала од рециклираног текстила са еколошко-економских аспеката кориштењем мултикритеријумске анализе.

Дио истраживања спроведених у оквиру мастер рада на тему *„Термоизолација од рециклираног текстила за омотач зграда“* кандидаткиња је објавила у Зборнику радова и изложила на Научно-стручном симпозијуму *„Енергетска ефикасност – ЕНЕФ 2023“*.

Оригиналност мастер рада са становишта кориштења и навођења извора је провјерена и потврђена кориштењем софтверског програма – *Urkund* и утврђено је да је рад оригиналан.

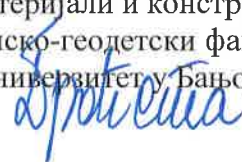
На основу свега наведеног Комисија констатује да кандидаткиња Ана Јојић, дипл. инж. арх. испуњава све потребне услове и предлаже Научно-наставном вијећу Комбинованог студијског програма другог циклуса студија Архитектонско-грађевинско-геодетског и

Машинског факултета Универзитета у Бањој Луци „Енергетска ефикасност у зградарству“ да кандидаткињи одобри јавну одбрану завршног рада II циклуса студија под називом: „Употреба рециклираног текстилног отпада као термоизолационог материјала са циљем смањења загађења животне средине“.

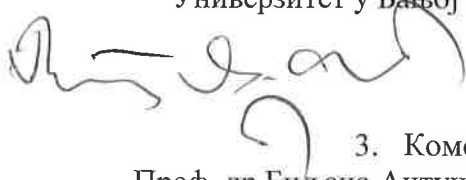
Бања Лука, 06.06.2023. године

Чланови комисије:

1. Предсједник комисије  
Проф. др Гордана Броћета,  
ужа научна област Грађевински материјали и конструкције,  
Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет,  
Универзитет у Бањој Луци



2. Ментор  
Проф. др Петар Гверо,  
ужа научна област Термотехника,  
Машински факултет,  
Универзитет у Бањој Луци



3. Коментор  
Проф. др Биљана Антуновић,  
ужа научна област Општа физика,  
Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет,  
Универзитет у Бањој Луци



4. Члан комисије  
Проф. др Дарија Гајић,  
ужа научна област Архитектонске технологије,  
Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет,  
Универзитет у Бањој Луци



5. Члан комисије  
Доц. др Ђорђе Војиновић,  
ужа научна област Процесно инжењерство,  
Технолошки факултет,  
Универзитет у Бањој Луци

