

Termoizolacija od recikliranog tekstila za omotač zgrada

Ana Jojić¹, Biljana Antunović²

¹ Ministarstvo odbrane i Oružane snage Bosne i Hercegovine,

² Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, Banja Luka, Republika Srpska
ana_jojic@hotmail.com, biljana.antunovic@aggf.unibl.org

Sažetak — U ovom radu predstavljen je opšti osvrt uticaja tekstilne industrije na zagađenje životne sredine. Analiziran je efekat tekstilnog otpada na životnu sredinu i mogućnost korištenja recikliranog tekstila kao materijala za termoizolaciju objekata. Predstavljene su tri metode reciklaže: tehnika direktne metode, tehnika netkanog materijala i tehnika kombinovanja sa građevinskim materijalom. Na primjeru tipskog objekta izgrađenog u Bosni i Hercegovini, rezultati su pokazali da je najbolja metoda reciklaže tekstilnog materijala „Tehnika netkanog materijala“.

Gljučne riječi — tekstilna industrija, zagađenje životne sredine, reciklaža, termoizolacija

I. 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, proizvođači visoku modu jeftino i brzo. Jedan od najvećih izazova 21. vijeka je osigurati održivost na svim nivoima energetske resursa i ekološkog konteksta. U energetskom sektoru primjetna je neravnoteža između potrošnje i ograničenih resursa energije, dok je u sektoru zaštite životne sredine, zabrinutost uzrokovana brzim porastom svjetske populacije i povećanjem tendencije odlaganja tekstilnog materijala na deponiju kao otpada prije isteka životnog vijeka proizvoda [1]. Građevinski sektor se smatra jednim od glavnih potrošača globalne energije. Procjenjuje se da zgrade troše oko 40% svjetske globalne energije, 25% vode i 40% globalnih resursa [2]. Termoizolacija u građevinskim materijalima može igrati vitalnu ulogu u smanjenju potrošnje energije. Korišćenjem efikasnih termoizolacionih materijala, a time i minimiziranjem gubitaka toplote tokom grijanja i dobivanja toplote tokom hlađenja zgrade, može se ostvariti značajna ušteda energije. Postoji više načina za smanjenje emisije CO₂ 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 obnovljivih izvora energije, smanjenje potrošnje električne energije korištenjem efikasnijih instrumenata, opreme i rasvjete. Trenutno su najčešće upotrebljavani građevinski izolacioni materijali koji se proizvode od sintetičkih materijala uključujući: staklena vlakna, mineralnu vunu i plastiku. U današnje vrijeme raste svijest o korištenju ekološki prihvatljivih

i zdravih materijala. Ovakva shvatanja motivisala su ljude da koriste prirodne i reciklirane materijale. Zbog toga se postepeno povećava potreba 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.

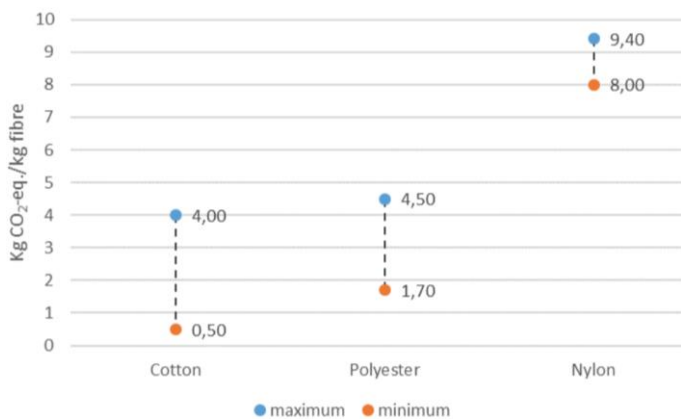
II. UTICAJ TEKSTILNOG OTPADA NA ŽIVOTNU SREDINU

Modna industrija je druga industrija u svijetu koja najviše zagađuje okolinu, nakon nafte. 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 (Sl. 1), oslobađanje mikroplastike, uticaj na zdravlje ljudi i mnoge druge. Uzgoj sirovina, proizvodnja, transport, marketing, prodaja, reciklaža i upravljanje otpadom, zahtijeva ogromne količine energije i oslobađa štetne materija u okolinu. Važno je shvatiti da svaki korak u ovom procesu ima ogromne efekte na životnu sredinu.



Sl. 1. Zagađenje vode prouzrokovano farbanjem tekstila [3]

Prema UN-ovom savezu za održivu modu, modna industrija je odgovorna za 8-10% svjetske emisije plinova sa efektom staklene bašte i 20% zagađenja industrijskih otpadnih voda širom svijeta koje se pripisuje farbanju tekstila [3]. Sl. 2 prikazuje emisije gasova staklene bašte vezane za proizvodnju po kilogramu različitih vrsta vlakana. Budući da različiti izvori pokazuju značajne varijacije u procjenama klimatskih promjena, brojke pokazuju minimalne i maksimalne vrijednosti [4].



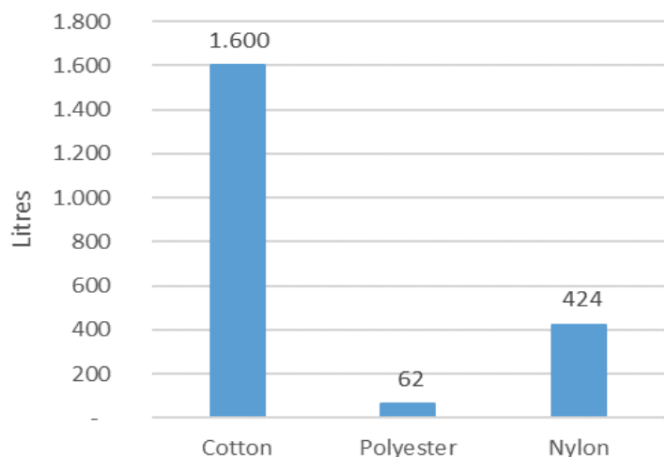
Sl. 2. Emisija gasova sa efektom staklene bašte po kilogramu proizvedenog tekstila [4]

Kada se fokusiramo na korištenje resursa, sintetička vlakna se obično povezuju sa velikim uticajima zagađenja jer potiču od fosilnih derivata. Procjenjuje se da je za proizvodnju plastičnih vlakana za tekstil godišnje potrebno više od 54 milijarde litara nafte [5].

Modna industrija je druga najveća potrošačka industrija vode. Za proizvodnju obične pamučne majice potrebno je oko 2.700 litara vode i oko 7.570 litara vode za farmerke [6]. Na slici (Sl. 3) prikazana je potrošnja vode prilikom proizvodnje pamučnih, poliesterskih i nailonskih vlakana po 1 kg tekstila [4].

Hemijski dodaci se koriste u svim fazama proizvodnje vlakana i tekstila, širom svijeta više od 10.000 različitih boja i pigmenata se koriste samo u tekstilnoj i štamparskoj industriji. Većina se koristi kao završni tretman za vodootpornost, odbijanje mrlja, protivpožarna svojstva kao i antistatička svojstva.

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 životinjskog porijekla, procjenjuje se da između 0,2 i 0,5 miliona tona mikroplastike iz tekstila ulazi u morski ekosistem svake godine [5].



Sl. 3. Potrošnja vode za proizvodnju 1 kg tekstila [4]

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 [7].

III. IZVOR I RECIKLAŽA TEKSTILNI OG OTPADA

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%. Procjenjuje se da se godišnje proizvede oko 92 miliona metričkih tona (mt) (Sl. 4) tekstilnog otpada i da će se taj otpad vjerovatno povećati za oko 60% od 2015. do 2030. godine [8]. Prikupljeni tekstilni otpad se odvojeno 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 [9]. Ogromna količina otpada nastaje u tekstilnoj industriji tokom procesa proizvodnje. Ovaj otpad se sastoji od kratkih vlakana, prediva, niti, otpada od rezanja, ostataka tkanine i odbačenih tkanina u odjeljcima za kontrolu kvaliteta [10].

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 [11].

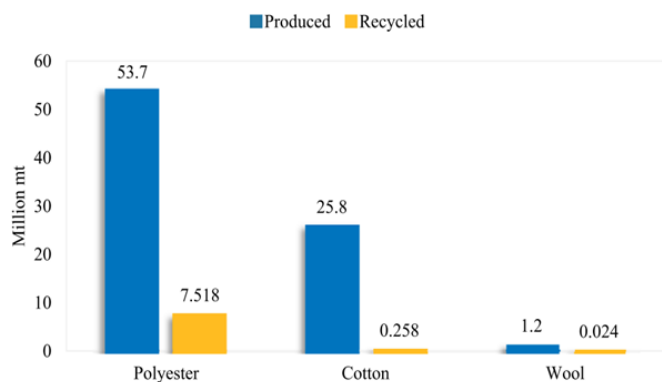


Sl. 4. Deponija tekstilnog otpada [8]

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 [12]. Procjenjuje se da u procesu proizvodnje otpada ukupno 10-20% tekstila [9]. 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.

Tekstilni otpad se može koristiti u različite svrhe ponovnom upotrebom ili reciklažom (Sl. 5). 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 (tekstilne ili netekstilne) proizvode sa ili bez oštećenja prethodnog. Reciklaža tekstilnog otpada može biti: mehanička, hemijska, termička ili njihova kombinacija. 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 [12]. Tekstilni otpad varira u zavisnosti od: boja, vrsta, sastava i svojstava, što otežava pronalazjenje odgovarajuće tehnike reciklaže [13]. 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, djevičanske vlaknaste materijale, gasove staklene bašte, zagađenje, može uštedjeti naftu, gorivo i prirodne resurse i poboljšati kvalitet životne sredine.



Sl. 5. Poređenje proizvedenih i recikliranih vlakana [14]

IV. KARAKTERISTIKE IZOLACIONIH MATERIJALA OD RECIKLIRANOG TEKSTILA

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 vlakana [15].

A. 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 poliesteru mogu se istopiti zbog toplote koja nastaje primjenom mehaničke sile tokom pretvaranja tkanina u vlakna. Osim toga, ponekad reciklaža vlakana možda neće biti ekonomski isplativa zbog većeg potrebnog vremena i energije. U tim slučajevima, tkanine se direktno koriste za izradu izolacionih materijala [16]. Trajković i saradnici su tri različita tipa korištene poliesterske odjeće isjekli na sitne komade približnih dimenzija i nakon toga, obložili ih korištenjem 100% polipropilena te na taj način pripremili izolacioni materijal. Primjenom ove metode postignuta su veoma dobra toplotna svojstva sa toplotnom provodljivošću u rasponu od 0,052 do 0,060 W/mK. Takođe su utvrdili da njihovi izolacijski materijali imaju dobru otpornost na vatru i da su manje razgrađivi u vlažnom stanju [16].

B. Tehnika netkanog materijala

Netkani materijali su idealna metoda za proizvodnju izolacionih materijala zbog svoje jedinstvene orijentacije vlakana i porozne strukture [17]. 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, gustoću, debljinu i željena svojstva krajnje upotrebe proizvedenog netkanog materijala. Zach i saradnici su proizveli termo-izolacijske materijale koristeći reciklirana pamučna, poliesterska i lanena vlakna. Nakon formiranja slojeva vlakana u obliku mreže, vezivanje se vršilo postupkom vrućeg zraka ili mehaničkim spajanjem. Prosječna toplotna provodljivost njihovih materijala bila je 0,037– 0,049 W/mK [18].

C. Kombinovanje sa građevinskim materijalom

Tekstilni otpad se decenijama koristi sa građevinskim materijalima (kreč, cement i dr.). Pretvaranje tekstilnog otpada u materijale za toplotnu izolaciju je vrlo jednostavno kada se koristi sa građevinskim materijalima na način da se tekstilni otpad pomiješa u odgovarajućem omjeru sa cementom, vodom, ciglom i drugim građevinskim materijalima. Del Mar Barbero-Barrera i ostali koristili su otpad od tekstilnih vlakana sa prirodnim hidrauličnim krečom za proizvodnju ploča sa većim svojstvima toplotne izolacije. Prvobitno je tekstilni otpad (uglavnom pamuk) prikupljan iz industrije, a bez dalje obrade, ovaj otpad je pomiješan sa prirodnim hidrauličnim krečom i vodom. Nakon nekoliko dana očvršćavanja i sušenja uzorak je testiran. Utvrdili su da je najbolja toplotna provodljivost od 0,14 W/mK [10].

Uz dobra toplotna svojstva, komercijalno uspješan termoizolacioni materijal trebao bi imati i neka druga važna svojstva, uključujući otpornost na vatru i vodu. Svojstva otpornosti na vatru izolacionih materijala mogu se ocijeniti pomoću nekoliko parametara uključujući povećanje temperature, brzinu gubitka mase, oslobađanje toplote i proizvodnju dima. 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. Termoplastična vlakna se skupljaju prilikom sagorjevanja, tope se i kapaju u dodiru sa plamenom zbog čega vlakna prestaju da sagorijevaju. Poželjno je da izolacijski materijali posjeduju odgovarajuću otpornost na vlagu. Termoizolacijski 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. Kako sintetička vlakna imaju veću otpornost na vlagu, miješanjem recikliranih sintetičkih i prirodnih vlakana kako bi se smanjila apsorpcija vlage može imati veću korist za okolinu umjesto tretiranja toksičnim hemikalijama.

V. POREĐENJE TOPLOTNIH KARAKTERISTIKA FASADNOG ZIDA ZA TRI TEHNIKE DOBIJANJA IZOLACIJE OD RECIKLIRANOG TEKSTILA

Analiza primjene termoizolacionih materijala od recikliranog tekstila je urađena na osnovu postojećeg stanja termičkih karakteristika odabranog tipskog objekta (Sl. 6) na području Bosne i Hercegovine.



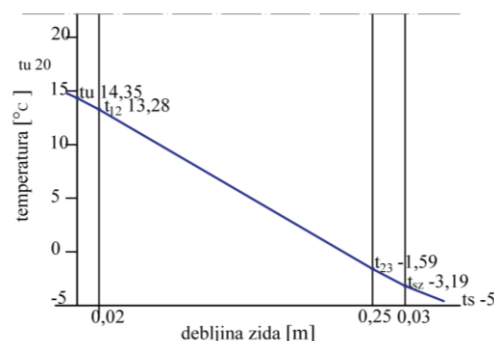
Sl. 6. Slobodnostojeći objekat jednoporodičnog stanovanja, period gradnje 1971-1980 [20]

Usvojeni parametri za proračun potrebne debljine izolacionog sloja su korišteni iz već postojećih istraživanja autora i njihovih tehnika: tehnika direktne metode [16], tehnika netkanog materijala [18] i tehnika kombinovanja sa građevinskim materijalom [10].

U Tabeli I su prikazani ulazni podaci debljine d [m] (Sl. 7) i toplotne provodljivosti zida λ [W/mK], neophodni za proračun potrebne debljine izolacije kako bi se zadovoljio uslov u skladu sa važećim „Pravilnikom o minimalnim zahtjevima za energetske karakteristike zgrada“ [19] da je najveća dozvoljena vrijednost koeficijenta prolaza toplote za spoljašnje zidove $U_{max} \leq 0,30$ W/m²K. Za unutrašnju temperaturu vazduha uzeta je vrijednost od 20 °C, a za spoljašnju -5 °C, koeficijent prelaza toplote sa unutrašnjeg vazduha na zid α_u iznosi 8 W/m²K, dok koeficijent prelaza toplote sa zida na spoljašnji vazduh α_s iznosi 25 W/m²K. Pri ovim uslovima, dobijen je koeficijent prolaza toplote $U=1,809$ W/m²K i gustina toplotnog fluksa $q=45,227$ W/m².

TABELA I. Slojevi zida predmetnog objekta bez termoizolacije [20].

Materijal	d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
			0,125
produžni krečni malter	0,02	0,850	0,024
zid od opeke	0,25	0,760	0,329
produžni krečni malter	0,03	0,850	0,035
			0,040
	$\Sigma d=$ 0,30		$\Sigma R=$ 0,553
			U [W/m ² K]= 1,809



Sl. 7. Grafikon raspodjele temperatura kroz postojeći zid, bez sloja termoizolacije [20]

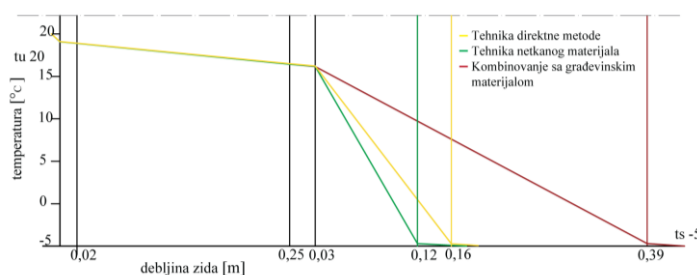
Prilikom poređenja metoda reciklaže tekstila u svrhu izolacionih materijala na primjeru tipskog objekta na području Bosne i Hercegovine, rezultati su pokazali da je najbolja metoda „Tehnika netkanog materijala“, gdje je usvojen koeficijent toplotne provodljivosti $\lambda=0,043$ W/mK i najmanja potrebna debljina izolacije $d=12$ cm, a da je pri tome zadovoljen uslov koeficijenta prolaza toplote $U_{min} \leq 0,30$ W/m²K, (Tabela II). U Tabeli II prikazani su rezultati svih metoda kao i postojeće stanje objekta bez sloja termoizolacije radi lakšeg poređenja. Uočavamo da su U-vrijednosti kod svih tehnika približne kao i otpornost (R), dok je primjetna drastična razlika u potrebnoj debljini izolacije (d) od recikliranog tekstila.

Na Sl. 8 su prikazane raspodjele temperature kroz postojeći zid tipskog objekta, na kojem se vidi da je najmanja debljina izolacije $d=12$ cm potrebna kod tehnike netkanog materijala a najveća $d=39$ cm kod tehnike kombinovanja sa građevinskim materijalom pri usvojenom koeficijentu prolaza toplote $U_{max} \leq 0,30$ W/m²K.

LITERATURA

TABELA II. Poređenje potrebne debljine izolacije i koeficijenta prolaza toplote za različite reciklirane materijale [20].

Predmetni objekat	Potrebna debljina izolacije d [m]	λ_r [W/mK]	q [W/m ²]	R [m ² K/W]	U [W/m ² K]
Objekat bez sloja termoizolacije			45,227	0,553	1,809
Objekat sa dodatnim slojem termoizolacije					
Tehnika direktne metode	0,16	0,056	7,348	3,402	0,294
Tehnika netkanog materijala	0,12	0,043	7,477	3,343	0,299
Kombinovanje sa građevinskim materijalom	0,39	0,140	7,488	3,338	0,300



Sl. 8. Grafikon raspodjele temperatura kroz postojeći zid, sa dodatnim slojem termoizolacije [20]

VI. ZAKLJUČAK

Iako sadašnjim tržištem u potpunosti dominiraju konvencionalni sintetički izolacioni materijali, postoji potencijal da se konvencionalni materijali zamijene recikliranim tekstilom. Istraživanje korištenja tekstilnog otpada kao izolacionog materijala još je u početnim fazama. Većina istraženih materijala nije u potpunosti okarakterisana i uglavnom su istraživanja rađena samo na nekim uobičajenim vlaknima. Struktura termoizolacionih materijala može uticati na svojstva izolacije. Postoje ograničene informacije o nekim drugim važnim faktorima termoizolacionih materijala kao što su: otpornost na vatru, otpornost na vodu, otpornost na štetocine, prašinu, gljivice i bakterije.

U radu su prikazane tri tehnike reciklaže tekstila: tehnika direktne metode, tehnika netkanog materijala i tehnika kombinovanja sa građevinskim materijalom.

Rezultati su pokazali da je najbolja tehnika netkanog materijala, gdje je dobijen koeficijent toplotne provodljivosti $\lambda=0,043$ W/mK, a najmanja potrebna debljina izolacije je $d=12$ cm, što zadovoljava minimalne uslove $U_{max} \leq 0,30$ W/m²K.

Tekstilni otpad ima potencijal da se koristi kao ekološki prihvatljiv izolacijski materijal, međutim neophodno je fokusirano istraživanje kako bi se prevladala postojeća ograničenja i uspješno komercijalizovali proizvodi napravljeni od recikliranog tekstila na tržištu.

- [1] J. C. Bergstrom, A. Randall, "Resource Economics: an Economic Approach to Natural Resource and Environmental Policy", fourth ed. Edward Elgar Publishing, Northampton, 2016
- [2] F. Asdrubali, F. D'Alessandro, S. Schiavoni, "A review of unconventional sustainable building insulation materials", Sustain. Mater. Technol, 4, str. 1–17, 2015.
- [3] A. Nguyen, "Toxic Fashion: What Chemicals Are Used In Clothing?" 2021, <https://compareethics.com/chemicals-in-clothing/>
- [4] G. Sandin, G. M. Peters, "Environmental impact of textile reuse and recycling", J. Clean. Prod. 184, str. 353–365, 2018.
- [5] Ellen MacArthur Foundation, "A New Textiles Economy: Redesigning fashion's future", 2017.
- [6] <https://venuszine.com/why-does-it-take-so-much-water-to-make-jeans/>
- [7] OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development). "Workshop on Microplastics from Synthetic Textiles: Knowledge, Mitigation, and Policy", 2020.
- [8] GFA, "Pulse of the fashion industry", 2017, <https://www.globalfashionagenda.com/>
- [9] D. Watson, S. Trzepacz, N. Lander Svendsen, S. Wittus Skottfelt, N. Kiorboe, M. Elander and H. Ljungkvist Nordin, "Towards 2025: Separate collection and treatment of textiles in six EU countries", Miljøstyrelsen, 2020.
- [10] M. Del Mar Barbero-Barrera, O. Pombo, M. de los Angeles Navacerrada, "Textile fibre waste bindered", 2016.
- [11] A. Serra, Q. Tarrés, J. Claramunt, P. Mutjé, M. Ardanuy, F. X. Espinach, "Behavior of the interphase of dyed cotton residue flocks reinforced polypropylene composites", Composites Part B 128, str. 200–207, 2017.
- [12] C. Rubino, S. Liuzzi, F. Martellotta, P. Stefanizzi, "Textile wastes in building sector: a review", Modell., Meas. Control, 87, str. 172–179, 2018.
- [13] A. Briga-Sa, D. Nascimento, N. Teixeira, J. Pinto, F. Caldeira, H. Varum, A. Paiva, "Textile waste as an alternative thermal insulation building material solution", Constr. Build. Mater. 38, str. 155–160, 2013.
- [14] <https://textileexchange.org/wp-content/uploads/2018/11/2018-Preferred-Fiber-MaterialsMarket/>
- [15] F. A. Esteve-Turrillas, M. de la Guardia, "Environmental impact of Recover cotton in textile industry", Resour. Conserv. Recycl. 116, str. 107–115, 2017.
- [16] D. Trajković, S. Jordeva, E. Tomovska, K. Zafirova, "Polyester apparel cutting waste as insulation material", J. Text. Inst. 108, str. 1238–1245, 2017.
- [17] M. E. Wazna, A. Gounni, A. E. Bouari, M. E. Alami, O. Cherkaoui, "Development, characterization and thermal performance of insulating nonwoven fabrics made from textile waste", J. Ind. Text. 48, str. 1167–1183, 2018.
- [18] J. Zach, J. Hroudova, A. Korjenic, "Environmentally efficient thermal and acoustic insulation based on natural and waste fibers", J. Chem. Technol. Biotechnol. 91, str. 2156–2161, 2016a.
- [19] Pravilnik o minimalnim zahtjevima za energetske karakteristike zgrada Republike Srpske, Sl. gl. RS br. 30/15.
- [20] A. Jojić, Termoizolacija objekata od recikliranog tekstilnog materijala, primjer tipskog objekta na području BiH, "Elementi energetske efikasnosti u zgradarstvu", saminarski rad, 2022.

ABSTRACT

In this paper we presented a general overview of the impact of textile industry on the environmental pollution. We analyzed effect of textile waste on the environment and the possibility of using recycled textiles as materials for thermal insulation for buildings. Three methods of recycling are presented: the direct method, the nonwoven material technique and the technique of combining with construction material. On the example of a typical building built in Bosnia and Herzegovina, the results

showed that the best recycling method is the "nonwoven material technique".

**THERMAL INSULATION FROM RECYCLED TEXTILE FOR
BUILDING ENVELOPE**

Ana Jojić, Biljana Antunović