

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА

Наименование	18. X117615		
Код	Б		
Дата	04	27/12/11	- 1 -

UNIVERZITET U NIŠU
TEHNOLOŠKI FAKULTET U LESKOVCU

**NOVI TERMOIZOLACIONI MATERIJALI OD RECIKLIRANOG OTPADA
ODEVNE INDUSTRIJE**



(Tehničko rešenje, Bitno poboljššan postojeći proizvod M84)

Leskovac, 2015.

UNIVERZITET U NIŠU TEHNOLOŠKI FAKULTET U LESKOVCU	Naziv dokumenta: Tehničko rešenje Novi termoizolacioni materijali od recikliranog otpada odevne industrije
------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Novi termoizolacioni materijali od recikliranog otpada odevne industrije, evidencioni broj TR-34020, rukovodilac projekta dr Dušan Trajković, vanredni profesor	
Autori: dr Dušan Trajković, mr Sonja Jordeva, dr Koleta Zafirova, dr Jovan Stepanović, dr Elena Tomovska	
U Leskovcu, 18.12.2015. godine	Prodekan za nauku Prof. dr Miodrag Lazić

POTVRDA
o tehničkom rešenju

Evidencioni broj	TR-34020 (projekat)
Institucija	Tehnološki fakultet
Adresa	Bulevar oslobođenja 124, 16000 Leskovac
Tehničko rešenje	Novi termoizolacioni materijali od recikliranog otpada odevne industrije
Autori	dr Dušan Trajković, mr Sonja Jordeva, dr Koleta Zafirova, dr Jovan Stepanović, dr Elena Tomovska
Opis	Primena tekstilnog otpada od PES tkanina za izradu izolacionog materijala nosi ekonomski i ekološki benefit, zato što je materijal lako dostupan i jeftin, proizvodni proces jednostavan, proizvod ima tržišnu održivost i kompetitivnu cenu, ali je upotreba ograničena na unutrašnje zidove i krovne konstrukcije. Analiza dobijenih rezultata u ekperimentalnom delu pokazuje da se može koristiti konfekcijski otpad od PES tkanina sa različitom debljinom i površinskom masom. Što je veći stepen usitnjavanja konfekcijskog otpada, to je struktura homogenija i ima bolju toplotnu izolaciju. Dodatak otpada u delimično vlaknastom stanju ima pozitivan uticaj na stabilnost i homogenost izolacione strukture.
Primena	Termoizolacioni materijali od recikliranog otpada odevne industrije, za primenu u nekim segmentima građevinarstva (izolaciju pregradnih zidova i krovova u objektima).
Napomena	-
Odgovorno lice za tehničko rešenje	dr Dušan Trajković, vanredni profesor 
Odgovorno lice	Prodekan za nauku Prof. dr Miodrag Lazić 
Klasifikacija Tehničkog rešenja	Bitno poboljšan postojeći proizvod M84



Bitno poboljšan termoizolacioni materijal je rezultat istraživanja u okviru projekta „**Razvoj novih i unapređenje postojećih postupaka proizvodnje tehničkih tekstilnih materijala**”, Tehnološki razvoj, MNTR R. Srbije, Tehnološki fakultet, Leskovac, 2011-2014., *evidencioni broj TR-34020*. Rukovodilac projekta dr Dušan Trajković, vanredni profesor. Projekat finansira Ministarstvo prosvete nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

U realizaciji istraživanja učestvovali su: dr Dušan Trajković, mr Sonja Jordeva, dr Koleta Zafirova, dr Jovan Stepanović, dr Elena Tomovska.

SADRŽAJ

1. IZVOD	4
2. UVOD	4
3. TEORIJSKA RAZMATRANJA	4
4. NOVA IZOLACIONA STRUKTURA OD KONFEKCIJSKOG OTPADA	5
4.1. Korišćeni materijali	5
4.2. Dizajniranje uzoraka za merenje toplotne provodljivosti	7
5. TOPLOTNA IZOLACIJA NOVE IZOLACIONE STRUKTURE	10
5.1. Metod merenja toplotne provodljivosti	10
5.2. Rezultati merenja toplotne provodljivosti i diskusija	11
6. ZAKLJUČAK	15
7. LITERATURA	16

1. IZVOD

Ovaj rad predlaže alternativni način za efikasniju upotrebu konfekcijskog otpada u novom proizvodu za toplotnu i zvučnu izolaciju zgrada. Kao materijal za izradu nove izolacione strukture korišćen je otpad od krojenja poliesterskih tkanina sa velikim razlikama u vrednostima strukturnih karakteristika sa ciljem da se utvrdi njihov uticaj na vrednost toplotne izolacije.

Uzorak od mehanički reciklirane poliesterske pletenine delimično u stanju vlakana korišćen je za poređenje. Pri projektovanju nove strukture polazi se od komercijalnih debljina Tervol[®]-a (50, 70 i 100 mm) i gustine (115 kg/m³) koji se uobičajeno koristi za unutrašnju izolaciju u građevini. Tehnologija proizvodnje nove strukture je jednostavna: sečenje otpadaka na mašini sa kružnim ili vertikalnim nožem i stabilizovanje strukture šivenjem. Kod uzoraka su izvršena ispitivanja toplotne provodljivosti po standardima: ASTM C518, ISO 8301.

2. UVOD

Stambeni i poslovni objekti su jedan od najvećih potrošača energije. Toplotna izolacija smanjuje toplotne gubitke zimi, pregrevanje ljeti, te štiti noseću konstrukciju od spoljašnjih uslova i naglih temperaturnih promena. Toplotno izolovan objekat je ugodniji, sa produženim vekom trajanja, doprinosi zaštiti okoline i smanjuje godišnje troškove za obezbeđivanje toplotnog komfora [1,2].

Efekat toplotne izolacije zgrada zavisi od dizajna, debljine izolacionog sloja i koeficijenta toplotne provodljivosti primenjenog izolacionog materijala. Ponuda izolacionih materijala je raznovrsna, ali na evropskom tržištu dominiraju konvencionalni izolacioni materijali: mineralna vuna (staklena i kamena) i polistiren (stiropor). U poslednjih nekoliko godina, mnoga istraživanja su urađena na iritirajuće toksično, čak i kancerogeno dejstvo kamene i staklene vune što je glavni razlog u traženju alternativnih "prijateljskijih" materijala po životnu sredinu, odnosno, primenu ekoloških proizvoda za izolaciju građevinskih objekata.

Tekstilni otpad, iako nije najveći po obimu, ipak je jedan od zagađivača životne sredine kada završi na deponijama, tako da sve faze njegove rekonstrukcije u novom proizvodu doprinose zaštiti životne sredine i sprečavaju gubitak vrednog resursa. Iako reciklaža tekstilnog otpada ima ekološku i ekonomsku komponentu u stvarnosti se suočava sa mnogim izazovima. Najvažniji među njima su dostupnost i kontinuirano snabdevanje sa tekstilnim otpadom u potrebnoj količini, stanje na tržištu i interes za kupovinu recikliranih materijala [3].

Od krajnjih korisnika dobijene su pozitivne ocene o termo-izolacionim materijalima izrađenim od recikliranih tekstilnih otpadaka što predstavlja osnovu za daljni rad u ovom području, naročito u smeru smanjivanja troškova u procesu mehaničkog recikliranja i poboljšanja karakteristika proizvoda.

3. TEORIJSKA RAZMATRANJA

Jedna od najinteresantijih primena recikliranih tekstilnih vlakana je termička i zvučna izolacija zgrada. Na tržištu već postoje komercijalni izolacioni materijali od recikliranog tekstila u obliku panela ili rolne sa različitim debljinama, koji se mogu koristiti za izolaciju zidova, plafona i krovova. Najveći deo ovih proizvoda su od recikliranog tekstila na bazi pamučnih vlakana [4].

Tabela 1 prikazuje sumarno glavne barijere i benefit novih proizvoda od recikliranog tekstila.

Dizajniranje i proizvodnja novog proizvoda za izolaciju građevinskih objekata od tekstilnog materijala je kompleksan problem koji zahteva interdisciplinarni pristup.

Prvi uslov za njegovo rešavanje, sa jedne strane je detaljno poznavanje strukturnih i fizičkih karakteristika tekstilnih materijala i poznavanje fizičkih karakteristika klasičnih izolacionih materijala sa druge strane.

Zatim treba rešiti problem tehnologije proizvodnje novog proizvoda. Preduslov je poznavanje mehanizma prenosa toplote i zvuka kroz tekstilne materijale i strukture izrađene od njih.

Tabela 1. Barijere u proizvodnji i benefit novih proizvoda od recikliranog tekstila [4]

Proizvod	Barijere	Benefit
Tekstilna vlakna za pojačanje betona	Više odgovara postindustrijski otpad nego patosnice Primenjuju se samo polipropilenska i najlonska vlakna	Betonske strukture su dugotrajne
Tekstilna vlakna za pojačanje zemljišta	U nekim zemljama standardi dozvoljavaju primenu proizvoda od tekstilnog otpada u geotekstilu	Može se upotrebiti otpad od patosnica i tepiha Iseckani otpad može se mešati zemljištem standardnim metodama
Filtracijski sistemi	Samo jeftiniji proizvodi su prihvatljivi	Mogu se koristiti strukture netkanog tekstila
Toplotna i zvučna izolacija u automobilske industriji	Granulacija PVC proizvoda	Veliki obim tržišta
Toplotna i zvučna izolacija zgrada	Kontinuirani izvor materijala za reciklažu	Postoje na evropskim tržištima Jednostavan proces ugradnje Nema potrebe za zaštitnom opremom kod instalacije

Ako novi proizvod zadovoljava osnovne standarde za izolacione materijale u pogledu toplotne i zvučne izolacije na kraju se mora oceniti njegov uticaj na okolinu i zdravlje ljudi. Takođe, neophodan preduslov je poznavanje mehanizma prenosa toplote i zvuka kroz tekstilne materijale i strukture izrađene od njih [5,6].

4. NOVA IZOLACIONA STRUKTURA OD KONFEKCIJSKOG OTPADA

4.1. Korišćeni materijali

Kao materijal za izradu nove izolacione strukture korišćen je konfekcijski otpad tj. otpad od krojenja tkanina. Sirovinski sastav tkanina je PES, a izabrane tkanine imaju različitu površinsku masu i različitu strukturu. Za poređenje su uzeti otpaci mehanički reciklirane poliesterske pletenine, koja je prošla proces seckanja i delimičnog raščupavanja do vlakana.

Tri vrste korišćene PES tkanine označene su sa A, C i D, a mehanički reciklirana poliesterska pletenina tj. delimično raščupana sa B. Tkanina D razlikuje se u odnosu na A i C tkanine i prema sirovinskom sastavu, jer sadrži 5% Lycra® vlakana. Među tkaninama A, C i D postoji velika razlika u vrednostima strukturnih karakteristika. Ovaj odabir tkanina je sa ciljem utvrđivanja doprinosa osnovnih strukturnih karakteristika upotrebljenih otpadaka na vrednost toplotnih i akustičnih karakteristika strukture, kao i na otpornost gorenja.

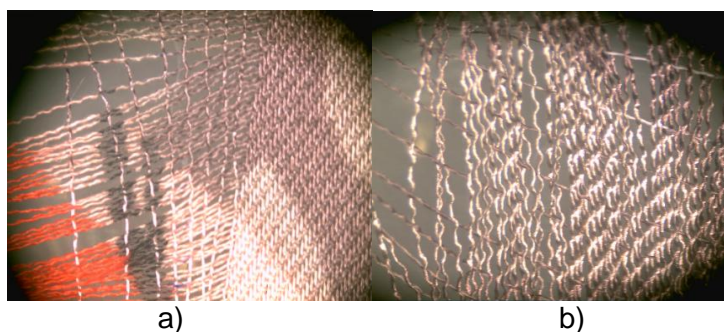
Tabela 2. Strukturne karakteristike tkanina

Tkanina	A	C	D
h_t (mm)	0.16	1.2	1.6
CV (%)	2.17	1.80	1.38
m (g/m ²)	92	245	272
CV (%)	3.13	1.16	1.38
g_o (cm ⁻¹)	74	37	44
g_p (cm ⁻¹)	45	25	28
T_{to} (tex)	7.4	36	36
T_{tp} (tex)	7.4	36	36
Prepletaj tkanine	keper 3/2Z	keper 3/2Z	keper 2/1S

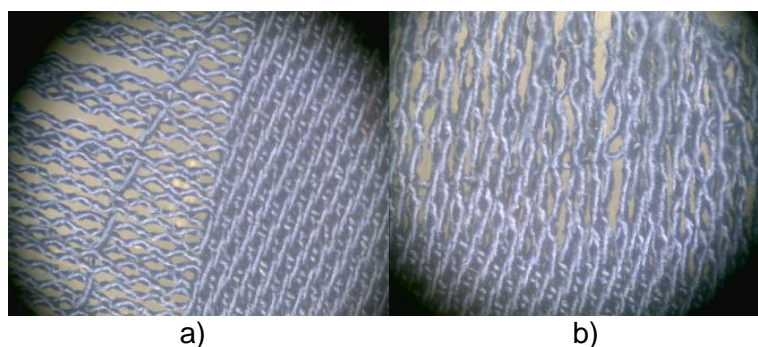
Ispitivanje osnovnih strukturnih karakteristika tkanina (tabela 17) izvedeno je primenom metoda koje su opisane standardima:

- EN ISO 5084 za debljinu tkanine – h_t (mm) [7],
- ISO 3081 za površinsku masu koja predstavlja masu tkanine na jedinici površine – m (g/m²) [8],
- ISO 7211-5 za podužnu masu pređe (finoće) iz uzoraka tkanine, za osnovu – T_{to} i za potku – T_{tp} (tex) [9],
- BS EN 1049-2 za gustinu osnove – g_o i potke – g_p (cm⁻¹) tj. broj žica na 1 cm širine odnosno dužine tkanine [10].

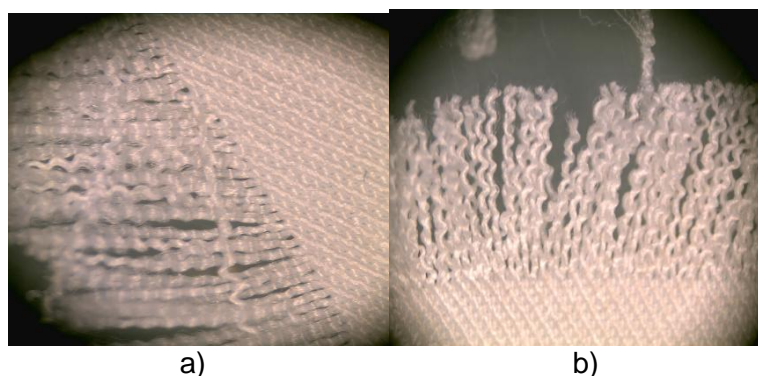
Na slikama 1, 2 i 3 (a - u pravcu osnove, b - u pravcu potke) je prikazan način povezivanja osnovinih i potkinih žica, odnosno određivanje prepletaja tkanina A, C i D. Prilikom određivanja prepletaja tkanina korišćen je instrument "binakular", a slike su načinjene sa uvećanjem od 50 puta.



Slika 1. Povezivanje osnove i potke u tkanini A



Slika 2. Povezivanje osnove i potke u tkanini C



Slika 3. Povezivanje osnove i potke u tkanini D

Izgled mehanički reciklirane pletenine delimično u vlaknastom stanju (rašćupane pletenine) B prikazan je naslici 4.



Slika 4. Izgled delimično raščupane pletenine B

4.2. Dizajniranje uzoraka za merenje toplotne provodljivosti

Za ispitivanje toplotne provodljivosti nove izolacione strukture pripremljeno je 10 uzoraka od konfekcijskog otpada tkanina A, C i D i mehanički reciklirane pletenine B. Faza pripreme konfekcijskog otpada sastoji se od sečenja u komadima sa pravilnim ili nepravilnim oblikom ili se ostavlja u njegovom izvornom obliku.



a) sa rotacionim noževima

b) sa vertikalnim nožem

Slika 5. Mašine za sečenje konfekcijskog otpada

Sečenje u komade nepravilnog oblika vrši se na mašini za sečenje sa rotacionim noževima (slika 5a), a sečanje u komade sa tačno određenim dimenzijama izvedeno je mašinom za krojenje sa vertikalnim nožem (slika 5b). Izgled iseckanog otpada za tri uzorka prikazan je na slici 6.



a) za uzorak A1

b) za uzorak C₁

v) za uzorak D

Slika 6. Izgled iseckanog otpada

Oznake uzoraka, vrsta otpada, sirovinski sastav i način pripreme otpada, prikazani su u tabeli 3. Sa ovako pripremljenim otpadom pune se "navlake" od netkanog tekstila koji ima ulogu noseće folije za stabilizaciju uzorka. Netkani tekstilni materijal je izrađen od 100% polipropilenskih vlakana sa površinskom masom $m = 50 \text{ g/m}^2$.

Dimenzije navlake, dužina, a (mm) i širina, b (mm), tj. uzorka određene su prema zahtevima standarda za merenje toplotne provodljivosti za izolacione materijale i obe iznose 600 mm.

Pri projektovanju strukture korišćene su komercijalne debljine od $h = 50, 70$ i 100 mm Tervol[®]-a, koje se koriste za unutrašnju izolaciju u građevinarstvu. Iz istog razloga, kao početna (projektovana) zapreminska masa izabrana je $\rho_p = 115 \text{ kg/m}^3$.

Navlake se pune pripremljenim otpadom tkanina A, C i D i raščupanom pleteninom do vlakana B, ili njihovom kombinacijom, u količini koja odgovara projektovanoj zapremskoj masi. Polazi se od raspoložive zapremine navlake od netkanog tekstila – V_p (m³) koja je proračunata kao proizvod dužine, a (mm), širine, b (mm), i visine odnosno debljine h_p (mm), prema jednačini:

$$V_p = a \cdot b \cdot h_p \text{ (m}^3\text{)}$$

Prema ovoj zapremini meri se tačno određena količina otpada da bi se postigla projektovana zapreminska masa uzorka.

Zapremina dobivenog uzorka posle prošivanja V proračunava se prema jednačini:

$$V = a \cdot b \cdot h \text{ (m}^3\text{)}$$

gde je:

h – debljina uzorka posle prošivanja.

Tabela 3. Vrsta i način pripreme otpada

Red.broj	Oznaka uzorka	Vrsta otpada	Sirovinski sastav (%)	Priprema otpada
1	A ₁	konfekcijski otpad	100 PES	delimično seckan, komadi nepravilnog oblika
2	A ₂	konfekcijski otpad	100 PES	sitno seckan, komadi nepravilnog oblika
3	A ₃	konfekcijski otpad	100 PES	u izvornom obliku, bez seckanja
4	A ₄	konfekcijski otpad	100 PES	u izvornom obliku, bez seckanja
5	B	delimično raščupana pletenina	70/25/5 PES/pamuk/ Lycra [®]	mehanički recikliran
6	C ₁	konfekcijski otpad	100 PES	seckan, komadi srednjih dimenzija 6x4cm
7	C ₂	konfekcijski otpad	100 PES	seckan, komadi srednjih dimenzija 8x4cm
8	D	konfekcijski otpad	95/5 PES/ Lycra [®]	seckan, komadi srednjih dimenzija 8x4cm
9	ABC	konfekcijski otpad- tkanina A delimično raščupana pletenina B konfekcijski otpad- tkanina C		A-seckan, komadi nepravilnog oblika B-delimično raščupana pletenina C-seckan, komadi srednjih dimenzija 6x4cm
10	ABD	konfekcijski otpad- tkanina A delimično raščupana pletenina B konfekcijski otpad- tkanina D		A-seckan, komadi nepravilnog oblika B-delimično raščupana pletenina D-seckan, komadi srednjih dimenzija 8x4cm

Zapreminska masa (gustina), pre i posle prošivanja (ρ_p ili ρ) preračunava se kao odnos mase m_o i odgovarajuće zapremine uzorka (V_p ili V) prema jednačini:

$$\rho_p = \frac{m_o}{V_p}; \rho = \frac{m_o}{V} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

Uzorci izrađeni od otpada iste tkanine, A_1 , A_2 , A_3 i A_4 razlikuju se međusobno po načinu pripreme otpada, odnosno prema dimenzijama komadića. U uzorku A_1 stavlja se delimično iseckan materijal od konfekcijskog otpada PES tkanine A sa nepravilnim oblikom komadića. U uzorku A_2 stavlja se sitno seckan materijal od konfekcijskog otpada PES tkanine A sa nepravilnim oblikom komadića. Dimenzije navlake od netkanog tekstila za uzorke A_1 i A_2 su $a = 600 \text{ mm}$, $b = 600 \text{ mm}$, $h = 50 \text{ mm}$. Uzorak A_3 priprema se od otpada PES tkanine A u njegovom originalnom obliku (bez seckanja) i sa njim se puni navlaka sa dimenzijama $a = 600 \text{ mm}$, $b = 600 \text{ mm}$, $h = 70 \text{ mm}$. Uzorak A_4 priprema se od otpada PES tkanine A u njegovom originalnom obliku (bez seckanja) i sa njim se puni navlaka sa dimenzijama $a = 600 \text{ mm}$, $b = 600 \text{ mm}$, $h = 50 \text{ mm}$. U uzorku B stavlja se materijal dobijen mehaničkom reciklažom poliesterne pletenine sa sirovinskim sastavom 70/25/5 PES/pamuk/Lycra[®]. Uzorci C_1 i C_2 pripremaju se od konfekcijskog otpada PES tkanine C i razlikuju se međusobno samo u stepenu seckanja komadića (kod C_1 je otpad iseckan u komadiće pravougaone forme srednjih dimenzija od 6x4 cm, dok je kod C_2 otpad iseckan u komadiće pravougaone forme srednjih dimenzija od 8x4cm. Uzorak D pripremljen je od sitno seckanog otpada tkanine D u komadićima sa dimenzijama 8x4 cm. Uzorak ABC pripremljen je kao kombinacija sa jednakim masenim udelom krojnog otpada od tkanina A i C i reciklirane pletenine B. Uzorak ABD pripremljen je kao kombinacija sa jednakim masenim udelom konfekcijskog otpada od tkanina A i D i reciklirane pletenine B. Dimenzije navlake za uzorke B, C_1 , C_2 , D, ABC i ABD su iste, $a = 600 \text{ mm}$, $b = 600 \text{ mm}$, $h = 50 \text{ mm}$.

U sledećem koraku izvršena je stabilizacija, odnosno fiksiranje nove strukture prošivanjem.



Slika 7. Mašina za prošivanje (štepanje) uzoraka

Uzorci se prošivaju sa 4 štepa po dužini i širini na rastojanju od 15 cm. Prošivanje uzoraka izvršeno je na mašini prikazanoj na slici 7. Gotovi uzorci izgledaju kao "jastuk", jedan od njih prikazan je na slici 8.



a - izgled gotovog uzorka

b - zumirani deo uzorka

Slika 8. Uzorak za merenje toplotne provodljivosti

Strukturne karakteristike uzoraka za merenje toplotne provodljivosti pre i posle prošivanja dati su u tabeli 4, gde je:

- h_p – početna raspoloživa debljina, tj. visina navlake od netkanog tekstila (mm),
 V_p – početna raspoloživa zapremina, tj. volumen navlake od netkanog tekstila (m^3),
 ρ_p – projektovana zapreminska masa (kg/m^3),
 m_o – masa uzorka od tekstilnog otpada (kg),
 h – debljina uzorka posle prošivanja (mm),
 V – zapremina uzorka posle prošivanja (m^3),
 ρ – zapreminska masa uzorka posle prošivanja (kg/m^3).

Tabela 4. Strukturne karakteristike uzoraka za merenje toplotne provodljivosti

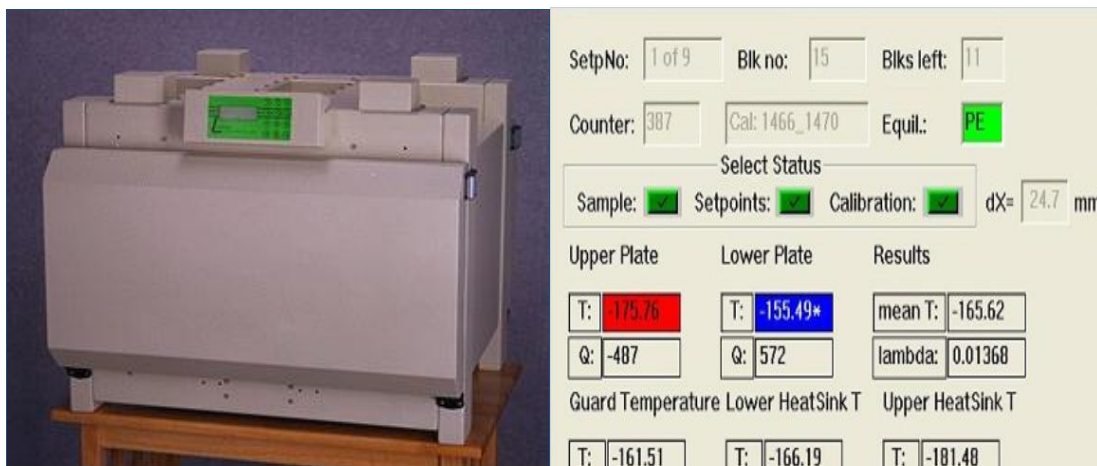
Red. broj	Uzorak	h_p (mm)	V_p (m^3)	ρ_p (kg/m^3)	m_o (kg)	h (mm)	V (m^3)	ρ (kg/m^3)
1	A ₁	50	0.0180	115	2.070	26.562	0.0096	215.62
2	A ₂	50	0.0180	115	2.070	27.635	0.0099	209.09
3	A ₃	70	0.0252	115	2.898	35.541	0.0128	226.58
4	A ₄	100	0.0360	115	4.140	45.999	0.0166	249.40
5	B	50	0.0180	115	2.070	45.237	0.0163	126.90
6	C ₁	50	0.0180	115	2.070	22.955	0.0083	249.39
7	C ₂	50	0.0180	115	2.070	21.615	0.0078	266.02
8	D	50	0.0180	115	2.070	33.064	0.0119	173.95
9	ABC	50	0.0180	115	2.070	34.944	0.0126	164.28
10	ABD	50	0.0180	115	2.070	35.300	0.0127	164.32

5. TOPLOTNA IZOLACIJA NOVE IZOLACIONE STRUKTURE

5.1. Metod merenja toplotne provodljivosti

Merenje toplotne provodljivosti uzorka izvršeno je aparatom Heat flow meter FOX600 (slika 9 a), proizvod firme Lasercomp. Aparat radi po standardima ASTM C518, ISO 8301 i koristi softver WinTherm 32 Version 2.30.21 (slika 9 b).

Potrebne dimenzije uzorka za ispitivanje na ovom aparatu su $a \cdot b = 610 \times 610$ mm, a maksimalna debljina uzorka je do $h = 8$ " (cola) odnosno 203 mm. Generalni princip rada Heat flow meter-a FOX600 temelji se na jednodimenzionalnom zakonu Furie-a. Uzorak se postavlja između dve ploče sa različitim temperaturama i čeka se stabilizacija temperaturnog polja, odnosno uspostavljanje ravnoteže što znači da je temperatura ista u svakoj tački uzorka. Na početku merenja, posle spuštanja gornje ploče, instrument automatski meri debljinu uzorka - h .



a – aparat Heat flow meter FOX600

b – softver WinTherm32 Version 2.30.21

Slika 9. Aparat i softver za merenje toplotne provodljivosti

Temperaturni gradijent se određuje razlikom između temperature tople T_t i hladne ploče T_h tj. $\Delta T = T_t - T_h$ i debljine uzorka Δh . Srednji temperaturni gradijent (dT/dx) jednak je ($\Delta T/\Delta h$). Pre početka merenja instrument se kalibrira sa uzorkom koji ima poznatu toplotnu provodljivost.

Električni signal iz transduktora (pretvarača) Q (μV) je proporcionalan sa toplotnim fluksom q :

$$q = \frac{\lambda_{cal}(T_{cal})\Delta T_{cal}}{\Delta x_{cal}} = S_{cal}(T_{cal})Q$$

Fizička svojstva transduktora menjaju se sa temperaturom, te je zbog toga neophodno izvršiti kalibraciju instrumenta, čime se dobija faktor kalibracije S_{cal} . Dimenzije ovog faktora su $Wm^{-2}\mu V^{-1}$ ili $Wm^{-2}mV^{-1}$. Svaki od ova dva transduktora ima vlastitu temperaturu i zbog toga se javljaju dva kalibraciona faktora, S_{cal} i T_{cal} . Kalibracioni faktori su karakteristike samog instrumenta. Oni se koriste za proračun toplotne provodljivosti λ dok traje merenje:

$$\lambda_{test} = \frac{S_{cal}(T_{test})Q\Delta x}{\Delta T_{test}}$$

Svaka ploča ima svoju temperaturu. Kalibracione faktore treba proračunati za zadate temperature i time se dobijaju dve vrednosti za λ . Srednja vrednost od ove dve vrednosti λ je krajnji rezultat testa [11].

5.2. Rezultati merenja toplotne provodljivosti i diskusija

Istraživanje u ovom delu je vođeno u nekoliko smerova. Osnovni cilj je utvrditi kakva je toplotna izolacija nove strukture i uporediti je sa standardnim vrednostima kod konvencionalnih izolacionih materijala (od neorganskih vlakana i penaste strukture), kao i sa izolacijom komercijalnih izolacionih proizvoda od tekstila u obliku vlakana. Dalje, istraživan je uticaj stepena sitnjenja tkanine, njene strukture i prisustvo Lycre® vlakana tj. elastina na toplotnu izolaciju.

U tabeli 5 su prikazani rezultati merenja toplotne provodljivosti λ (W/mK). Vrednosti toplotne otpornosti izolacije R (m^2/WK) proračunate su prema jednačini:

$$R = \frac{1}{II} = \frac{h}{\lambda} (m^2 K/W)$$

Tabela 5. Toplotna provodljivost - λ i toplotna izolacija - R i R^*

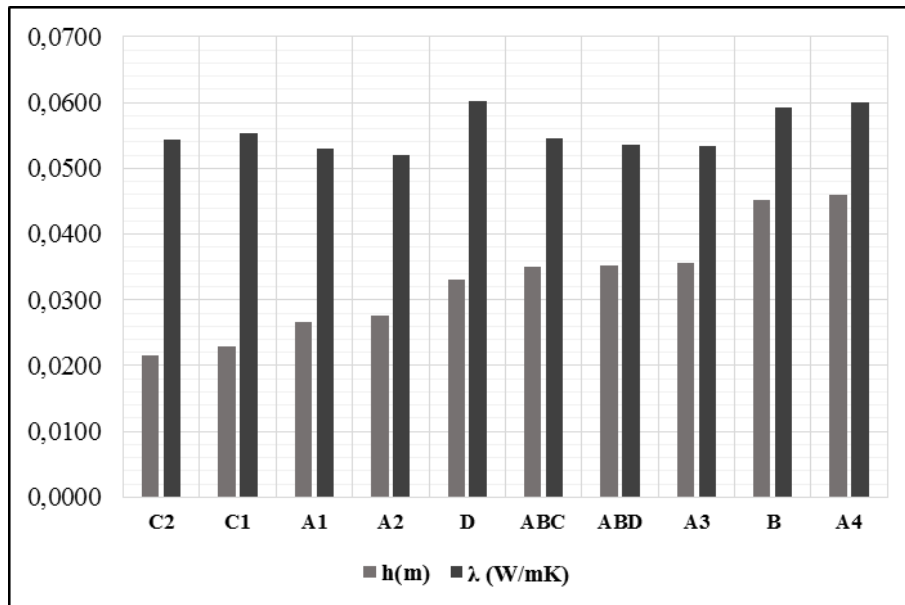
Red. broj	Uzorak	λ (W/mK)	R (m^2/WK)	R^* (m^2/WK)
1	A ₁	0.0529	0.5017	1.889
2	A ₂	0.0520	0.5317	1.924
3	A ₃	0.0546	0.6505	1.830
4	A ₄	0.0601	0.7660	1.664
5	B	0.0592	0.7639	1.689
6	C ₁	0.0553	0.4154	1.808
7	C ₂	0.0543	0.3980	1.842
8	D	0.0603	0.5481	1.658
9	ABC	0.0536	0.6519	1.866
10	ABD	0.0533	0.6625	1.876

Izmerene vrednosti koeficijenta toplotne provodljivosti λ su u granicama od **0.0520 W/mK** kod uzorka A₂ do **0.0603 W/mK** kod uzorka D. Dobijene vrednosti su bliske vrednostima toplotne provodljivosti kod standardnih izolacionih materijala $\lambda = 0.030 - 0.045 W/mK$, kao i vrednostima toplotne provodljivosti komercijalnih izolacionih

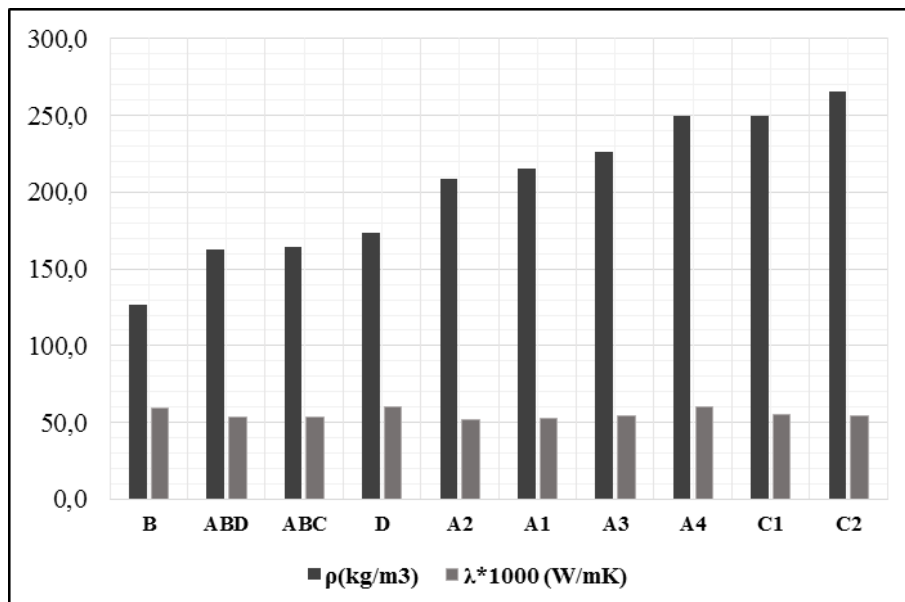
struktura od tekstilnog otpada u vlaknastom stanju, gde je najčešće $\lambda = 0.039 - 0.041 \text{ W/mK}$.

Izmerene vrednosti toplotne provodljivosti ispitivanih uzoraka su najbliže vrednostima toplotne provodljivosti kod izolacionih poliesterskih panela dobijenih termičkim recikliranjem, kod kojih je $\lambda = 0.041 - 0.053 \text{ W/mK}$ (neki od ispitivanih uzoraka čak imaju i manji koeficijent toplotne provodljivosti).

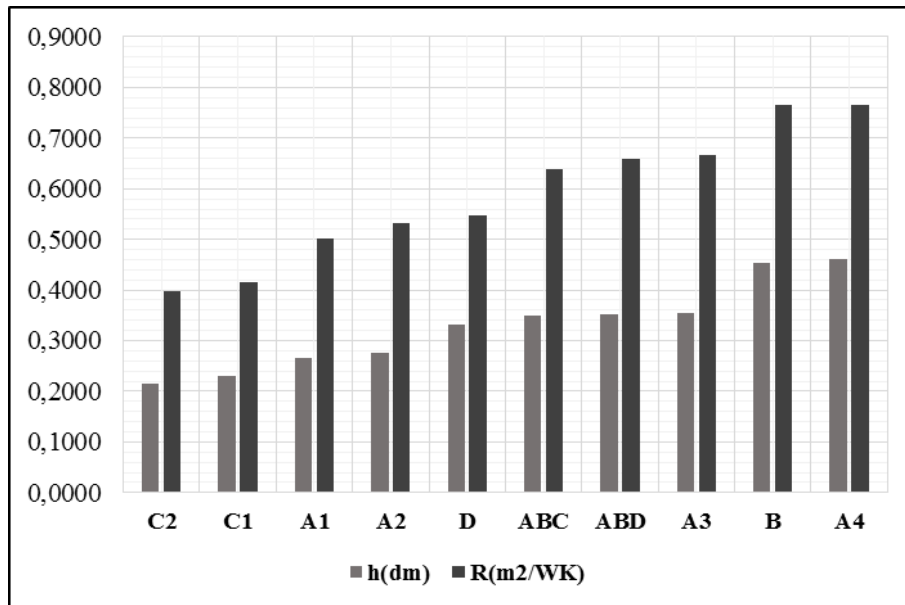
Na slici 10 prikazane su vrednosti toplotne provodljivosti λ zajedno sa vrednostima debljine uzoraka h , dok na slici 11, pored toplotne provodljivosti λ uzoraka, mogu se videti vrednosti gustine tj. zapreminske mase ρ



Slika 10. Debljina h i toplotna provodljivost λ



Slika 11. Zapreminska masa ρ i toplotna provodljivost λ

Slika 12. Toplotna izolacija – R i debljina – h

Između debljine uzoraka h i toplotne izolacije R (slike 12 i 13) primećuje se jasno izražena korelacija, tj. linearna zavisnost. Koeficijent korelacije između debljine i toplotne izolacije iznosi $r = 0.98$, a koeficijent determinacije $R^2 = 0.96$ (slika 13). Zbog direktne zavisnosti toplotne izolacije od debljine mora se obratiti pažnja na promenu debljine uzoraka posle prošivanja koja prouzrokuje i promenu zapreminske mase. Za vrednosti debljine h , koeficijent varijacije je $CV = 25.54\%$, a za zapreminsku masu ρ , $CV = 25.25\%$. Koeficijent korelacije između ove dve veličine, debljine i zapreminske mase, iznosi $r = 0.98$.

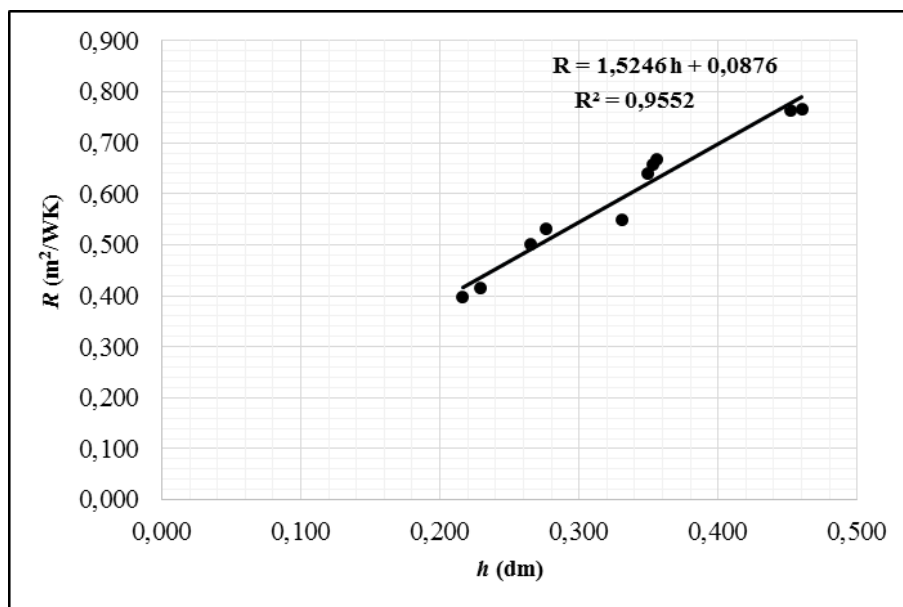
Slika 13. Zavisnost toplotne izolacije - R i debljine - h

Tabela 6 prikazuje promenu debljine – Δh (%) i zapreminske mase – $\Delta \rho$ (%) uzoraka u odnosu na početne vrednosti ovih veličina. Promena debljine je u granicama od 9.526% do 56.770%, a zapreminske mase od 10.435%, do 130.783%. Ovako velike razlike javljaju se kao rezultat velikih razlika u površinskoj masi tkanina A, C i D, i strukturi delimično raščupane pletenine B, kao i različitih dimenzija komadića tj. različitog načina pripreme otpada pre punjenja navlaka.

Tabela 6. Promena debljine – Δh i zapreminske mase – $\Delta \rho$

Red. broj	Uzorak	Δh (%)	$\Delta \rho$ (%)
1	A ₁	46.876	87.478
2	A ₂	44.730	81.826
3	A ₃	49.227	96.870
4	A ₄	54.001	116.870
5	B	9.526	10.435
6	C ₁	54.090	116.870
7	C ₂	56.770	130.783
8	D	33.872	51.217
9	ABC	30.120	42.870
10	ABD	29.400	41.739

Najmanju promenu debljine i zapreminske mase ima uzorak B ($\Delta h = 9.526\%$ i $\Delta \rho = 10.435\%$), a zatim slede druga dva uzorka ABD ($\Delta h = 29.400\%$ i $\Delta \rho = 41.739\%$) i ABC ($\Delta \rho = 30.120\%$ i $\Delta \rho = 42.870\%$) koji, takođe, sadrže B komponentu.

Ako procenat promene debljine razmatramo kao faktor otpora prema mehaničkim deformacijama u toku prošivanja, onda su uzorci koji sadrže vlaknastu komponentu otporniji u odnosu na ostale uzorke napravljene samo od komadića konfekcijskog otpada, odnosno, prisustvo vlaknaste komponente povećava homogenost i stabilnost uzoraka. Što je veći stepen usitnjenosti konfekcijskog otpada, to je veći i otpor na mehaničku deformaciju tokom prošivanja. Ovaj zaključak izvodi se na osnovu toga što kod uzoraka od tkanine A procenat promene debljine i zapreminske mase je manji kod uzoraka sa seckanim otpadom (A₂ i A₁) u odnosu na uzorke kod kojih je otpad ostao u njegovom originalnom obliku (A₃ i A₄). Ista diskusija važi i za uzorke od tkanine C, gde uzorak za sitnijim komadićima C₁ ima manju deformaciju tokom prošivanja u odnosu na uzorak C₂. Mora se naglasiti da je procentualna promena debljine i zapreminske mase relativna jer se računa u odnosu na početnu raspoloživu debljinu uzoraka od 50, 70 ili 100 mm. Ne može se tačno odrediti debljina uzorka posle punjenja navlake, a pre prošivanja, zbog toga što on nije stabilizovan.

Stabilnost uzoraka za ispitivanje toplotne provodljivosti (kao i faktori koji na nju utiču) je bitan momenat koji treba imati u obzir u procesu proizvodnje nove izolacione strukture, jer tokom primene, kao izolacija kod pregradnih zidova, nova izolaciona struktura treba da stoji u vertikalnom položaju i nesme dolaziti do klizanja i smicanja materijala.

Da bi mogli ocenjivati uticaj stepena usitnjetosti otpada, površinske mase tkanine i sadržaj Lycre® vlakana na toplotnu izolaciju, ispitivani uzorci treba da imaju istu debljinu. Zbog direktne proporcionalnosti toplotne izolacije i debljine, debljina svih uzoraka svodi se na 100 mm. Proračunava se toplotna izolacija uzorka za debljinu od 100 mm i označava se sa R^* (tabela 7). Njene vrednosti su u granicama od $R^* = 1.664 \text{ m}^2\text{W/K}$ kod uzorka A₄ do $R^* = 1.924 \text{ m}^2\text{W/K}$ kod uzorka A₂. Uzorci oznake A za koje je upotrebljena tkanina najmanje površinske mase pokazuju neznatno bolju toplotnu izolaciju u odnosu na uzorke C i D gde je upotrebljena tkanina veće površinske mase. Razlike u vrednostima toplotne izolacije R^* nisu toliko velike ako uzmemo u obzir velike razlike u površinskim masama kod tkanina A, C, D (92, 245 i 272 g/m² respektivno). Generalno, sa povećanjem površinske mase tkanine smanjuje se toplotna izolacija. (Ovo je generalno zapažanje jer postoji razlika u sirovinskom sastavu između A i C tkanina sa jedne strane i D tkanine sa druge strane). Primećuje se da kod uzoraka napravljenih od iste vrste tkanine tj. njenog otpada od krojenja A, najveću izolaciju ima uzorak od najsitnijih komada A₂, a najmanju A₄ pripremljen od neseckanog otpada tkanine A. U stvari, uzorci A₁ i A₂ pripremljeni od sitnijih komadića, imaju bolju toplotnu otpornost nego A₃ i A₄ pripremljeni od neseckanog otpada tkanine A. S obzirom na činjenicu da oba uzorka sa sitnijim komadićima imaju bolju toplotnu otpornost tj. veću izolaciju znači da veći stepen usitnjenosti tkanine utiče na toplotnu izolaciju, odnosno, omogućava veću toplotnu izolaciju.

U ovom razmatranju ne sme se zanemariti zapreminska masa. Uzorci A₁ i A₂ imaju manju zapreminsku masu ($\rho = 215.6 \text{ kg/m}^3$ i $\rho = 209.1 \text{ kg/m}^3$) u odnosu na A₃ i A₄, ($\rho = 226.4 \text{ kg/m}^3$; $\rho = 249.4 \text{ kg/m}^3$ respektivno). Veća zapreminska masa povećava koeficijent toplotne provodljivosti smanjujući time toplotnu izolaciju. Kod veće zapreminske

mase na jedinici zapremine imamo veću količinu tkanine, a manje vazduha, tako da će konduktivni toplotni transfer biti veći. Koeficijent korelacije između zapreminske mase i toplotne izolacije kod uzoraka od tkanine A iznosi $r = -0.99$.

Od uzoraka koji su načinjeni samo od otpadaka tkanina $A_1, A_2, A_3, A_4, C_1, C_2$ i D najmanju toplotnu izolaciju ima uzorak D gde je $R^* = 1.658 \text{ m}^2\text{W/K}$, što je, uostalom, i najmanja vrednost toplotne izolacije svih uzoraka. Ovo nas navodi na mišljenje da prisustvo Lycra® vlakana (5%) smanjuje toplotnu izolaciju.

Kombinovani uzorci ABC i ABD imaju veoma bliske vrednosti toplotne izolacije ($R^* = 1.866 \text{ m}^2\text{W/K}$ i $R^* = 1.876 \text{ m}^2\text{W/K}$ respektivno) što znači da prisustvo jedne trećine različite komponente nije pokazalo znatan uticaj na vrednost toplotne izolacije.

Gornja analiza je na osnovu malih razlika u vrednostima toplotne izolacije R^* . U realnom fizičkom smislu, tj. sa strane ljudske percepcije, toplotne razlike u toplotnoj izolaciji R^* (a i prema vrednosti koeficijenta varijacije $CV = 5.44\%$) su neznčajne. To bi značilo da se nova izolaciona struktura može praviti od iseckanog konfekcijskog otpada od PES tkanina sa različitim strukturnim karakteristikama ili kao kombinacija sa materijalom delimično u stanju vlakna. Od ove diskusije najvažnije je zapažanje da je toplotna izolacija novog izolacionog proizvoda uporediva sa komercijalnim proizvodima. Za poređenje dobijenih vrednosti toplotne izolacije ispitivanih uzoraka tj. nove tekstilne strukture, poslužiće podaci iz table 7.

Tabela 7. Poređenje toplotne izolacije novog izolacionog proizvoda sa komercijalnim proizvodima

Izolacioni proizvod	ρ (kg/m^3)	h (mm)	R^* (m^2/KW)
Noviproizvod	126.90 - 266.02	100	1.664-1.924
Mettiseizolacija	120	100	2.38
	50	50	1.25
	50	100	2.50
Eurothermizolacija	15-18	70	1.89

Prema tabeli 7 može se zaključiti da nova izolaciona struktura od PES seckanog konfekcijskog otpada ima veću zapreminsku masu i manju toplotnu izolaciju u odnosu na Mettise izolaciju pri istoj debljini. Pri ovom upoređivanju treba imati u obzir da je Mettise izolacija dobijena recikliranjem tkanina do vlakana, a kod nove izolacione strukture (kod 7 od 10 uzoraka) ovaj proces nije uopšte primenjen. Novi proizvod ima veoma blisku vrednost toplotne izolacije sa Eurotherm-om (ekspandiran polistiren) ali je u ovom slučaju drastično veća razlika u zapreminskoj masi kao i različita debljina. Mali dodatak vlaknaste strukture u novi izolacioni proizvod i veći stepen usitnjenosti konfekcijskog otpada smanjiće zapreminsku masu, a povećati toplotnu izolaciju i stabilnost strukture.

Značajno povećana zapreminska masa nije problem koji bi povećao cenu koštanja ovog izolacionog proizvoda, jer je ulazni materijal PES otpad, koji ima simboličnu cenu, sa jedne strane, a sa druge je vrlo težak za raščupavanje.

6. ZAKLJUČAK

Konfekcijska industrija ostavlja iza sebe značajnu količinu konfekcijskog otpada po stanovniku na godišnjem nivou. Iako je ovaj tekstilni otpad vredan resurs zato što je nov, čist, zadržanih fizičko-mehaničkih svojstava i ne traži nikakav tretman pre reciklaže, najveći deo konfekcijskih kompanija bacaju ga i zajedno sa ostalim komunalnim otpadom on završava na deponijama.

Barijere za njegovu reciklažu su objektivne i subjektivne prirode. Objektivno, veći deo konfekcijskih kompanija su malog i srednjeg obima (29.7% i 51.4% respektivno) sa nedovoljno sredstava za individualne investicije u reciklaži. Dodatno, veći deo otpada su tkanine koje sadrže Lycru® vlakana što otežava proces reciklaže.

Kako je reciklaža relativno energetski zahtevan proces koji ponovo stvara otpadke, umesto na tržište za reciklažu, bolja alternativa trenutno je iskoristiti konfekcijski otpad PES tkanina za proizvodnju izolacionih materijala za krovove i pregradne zidove u zgradama.

Tehnološka linija za izradu izolacionih materijala je sasvim jednostavna: seckanje otpada i stabilizacija strukture šivenjem. Dobijena struktura na ovaj način je jeftina, ima dobru toplotnu izolaciju. Koeficijent toplotne provodljivosti λ je u granicama od 0.0520W/mK do 0.0603W/mK , a toplotne izolacije R^* od $1.664\text{ m}^2\text{W/K}$ do $1.924\text{ m}^2\text{W/K}$.

Vrednosti ovih karakteristika su uporedive sa komercijalnim izolacionim materijalima, kako sa konvencionalnim (mineralna vuna i polistiren), tako i sa izolacionim proizvodima od recikliranog tekstila u obliku vlakana, sa tom razlikom, što za istu vrednost toplotne izolacije, kod nove izolacione strukture od konfekcijskog otpada poliesterskih tkanina, potrebna je veća zapreminska masa, odnosno, veća količina tkanina. Imajući u vidu da se kao sirovina koriste otpaci, ovo ne predstavlja problem već odličnu mogućnost da se smanji zagađenje okoline i da se dobije jeftina i ekološki čista izolacija. Ovo je naročito važno za otpad od PES tkanina jer su one biološki nerazgradive (prema dobijenim rezultatima gubitak mase je u granicama od 0-3%), tako da ostaju veoma dugo na deponijama.

7. LITERATURA

- [1] Al-Homoud, S.M. (2004) The Effectiveness of Thermal Insulation in Different Types of Buildings in Hot Climates, *Journal of Thermal Envelope and Building Science*, 27 (3),235-247.
- [2] Wikipedia, Thermal conduction, http://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_conduction, [Pristup: 13.04.2012].
- [3] Fibre2fashion.com.B2B Marketplace for Textile, Apparel & Fashion Industry - Fibre2Fashion,<http://www.fibre2fashion.com/industry-article/28/2726/textile-waste-recycling1.asp>, [Pristup: 12.2.2012].
- [4] Tammemagi, H., *Waste Crisis*, Oxford University Press, 2000, pp.19 -34, 51-53.
- [5] Tremier, A. et al. (2014) Global Assessment for Organic Resources and Waste Mangement ORBIT 2012, *Waste and Biomass Valorization*, 5(3), 429-431
- [6] Božić, L.A.& Kušić. H., *Upravljanje Otpadom*, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, 2012, pp.1-3,8-13.
- [7] Maximizing Reuse and Recycling of UK Clothing and Textiles, Department For Environment, Food and Rural Affairsby Oakdene Hollins -Defra, *Research report*, 2009.
- [8] EN ISO 5084, Textiles - Determination of Thickness of Textiles and Textile Products,1996.
- [130] ISO 3801, Textiles - Woven fabrics - Determination of Mass per Unit Length and Mass per Unit Area, 1977.
- [9] ISO 7211-5, Textiles - Woven fabrics -Construction -Methods of Analysis - Part 5: Determination of Linear Density of Yarn Removed From Fabric, 1984.
- [10] BS EN 1049-2,Textiles - Woven fabrics - Construction-Methods of analysis - Determination of Number of Threads per Unit Length, 1994.
- [11]Lasercomp.com.<http://www.lasercomp.com/Tech%20Papers/Methods/Heatlow%20Meter%20Theory%20of%20test%20%20method.pdf>, [Pristup: 07.11.2013].