



УНИВЕРЗИТЕТ У НИШУ
ТЕХНОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ
У ЛЕСКОВЦУ



Соња Н. Јордева
ИСТРАЖИВАЊЕ И РАЗВОЈ ТЕРМОИЗОЛАЦИОНОГ
МАТЕРИЈАЛА ОД РЕЦИКЛИРАНОГ ОТПАДА ОДЕВНЕ
ИНДУСТРИЈЕ
докторска дисертација

Лесковац, 2016.



UNIVERSITY OF NIŠ
FACULTY OF TECHNOLOGY
LESKOVAC



Sonja N. Jordeva
**RESEARCH AND DEVELOPMENT OF THERMAL
INSULATION MATERIAL FROM RECYCLED APPAREL
WASTE**
PhD Thesis

Leskovac, 2016.

Подаци о ментору и члановима комисије

Ментор:

Др Душан Трајковић, ванред. проф,
Универзитет у Нишу, Технолошки факултет - Лесковац,

Чланови комисије:

Проф. др Јован Степановић, председник
Универзитет у Нишу, Технолошки факултет - Лесковац,

Проф. др Колета Зафирова, члан
Универзитет „Св. Кирил и Методиј” у Скопљу, Технолошко - металуршки факултет -
Скопље

Проф. др Миодраг Стаменковић, члан
Универзитет у Нишу, Технолошки факултет - Лесковац

Проф. др Станиша Стојиљковић, члан
Универзитет у Нишу, Технолошки факултет - Лесковац,

Датум одбране: _____

Желим да изразим своју најискренију захвалност свима који су на свој начин помогли у изради овог рада:

*Мом ментору, Др Душану Трајковићу на разумевању и стрпљивости,
Др Колети Зафировој и Др Елени Томовској на подршци и несебичној помоћи.*

Менаџерском тиму и свим дивним људима у фабрици Кнауф у Сурдулици за могућност коришћења њихове лабораторије за испитивања.

Члановима комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на указаним сугестијама.

Истраживање и развој термоизолационог материјала од рециклираног отпада одевне индустрије

Резиме

Текстилни отпад се ствара у индустријској производњи текстила и одеће, од потрошача, комерцијалне и услужне делатности. Због структуре текстилне индустрије у Р. Македонији, текстилни отпад се углавном састоји од отпадака из конфекцијске производње, тј. кројења. Прелиминарна анализа показује да у земљи на годишњем нивоу остаје 1.7 kg конфекцијског отпада по становнику.

У раду је направљена карактеризација конфекцијског отпада, утврђен је текући начин менаџирања отпадом и детерминисани су ставови македонског топ менаџмента према менаџирању отпада. Подаци у истраживању добијени су из анкетног упитника дистрибуираног до 120 топ менаџера текстилних компанија. Анализа резултата направљена је помоћу стандардних статистичких метода (Statistics SPSS програм).

Резултати показују да у конфекцијском отпаду доминирају остаци чистих памучних тканина и тканина од памучних мешавина са присуством Лусга® влакана што додатно компликује процес рециклаже. Количина отпада није довољна за континуитет процеса рециклаже јер се конфекцијска индустрија претежно састоји од компанија малог и средњег обима са недовољно средстава за индивидуално инвестирање у капацитете за рециклирање. Македонски топ менаџмент конфекцијских компанија показао је негативан став према сортирању и припреми конфекцијског отпада за даље процесирање. Највећи део произвођача (94.19%) одлажу конфекцијски отпад на депоније, што проузрокује еколошке проблеме, а нарочити проблем представља биолошки неразградив отпад.

Овај рад предлаже алтернативни начин за ефикаснију употребу конфекцијског отпада у новом производу за топлотну и звучну изолацију зграда. Као материјал за израду нове изолационе структуре коришћен је отпад од кројења полиестерских тканина са великим разликама у вредностима структурних карактеристика са циљем да се утврди њихов утицај на вредност топлотне и звучне изолације. Узорак од механички рециклиране полиестерске плетенине делимично у стању влакана коришћен је за поређење. При пројектовању нове структуре полази се од комерцијалних дебљина Tervol® - а (50, 70 и 100 mm) и густине (115 kg/m³) који се уобичајено користе за унутрашњу изолацију у грађевинарству. Технологија производње нове структуре је

једноставна: сечење отпадака на машини са кружним или вертикалним ножем и стабилизовање структуре прошивањем. Код узорака су извршена испитивања топлотне и звучне изолације, отпорност горењу и биолошка деградација. За мерење топлотне проводљивости коришћен је апарат Heat flow meter FOX600 који ради по стандардима: ASTM C518, ISO 8301. За мерење звучне изолације коришћени су: GoldWave софтвер за генерисање и обраду (филтрирање) звучних сигнала и OriginPro 8.5.1 софтвер за обраду графичких записа звучних сигнала. Отпорност горењу испитивана је према Hot Metal Nut Test - а, а биолошка деградација према стандарду ISO 11721-1. Добијене вредности коефицијента топлотне проводљивости ($\lambda = 0.0520 - 0.0603 \text{ W/mK}$) и коефицијента редукације звука ($NRC = 54.71 - 74.77\%$) блиске су вредностима стандардних изолационих материјала, а још ближе вредностима изолационих структура од развлакњеног текстила код којих је $\lambda = 0.030 - 0.045 \text{ W/mK}$, а $NRC = 60 - 100\%$. Неки узорци показују чак и мању топлотну проводљивост од изолационих панела од ПЕС отпада добијених термичком рециклажом, $\lambda = 0.040 - 0.053 \text{ W/mK}$. За приближно исте вредности топлотне и звучне изолације нова изолациона структура има већу густину ($\rho = 126.99 - 265.38 \text{ kg/m}^3$) у односу на конвенционалне изолационе материјале, односно потребна је већа количина материјала. Ако се има у виду да су коришћени отпаци полиестерских тканина, на ово не треба гледати као на проблем, већ као на могућност смањења загађења околине. У прилогу ове чињенице су и резултати испитивања биодеградације отпада од ПЕС тканина који потврђују његову биолошку неразградивост.

Примена конфекцијског отпада полиестерских тканина као изолационог материјала носи економски и еколошки бенефит зато што је материјал лако доступан и јефтин, производни процес једноставан, производ има тржишну одрживост и конкурентну цену, али је употреба ограничена на унутрашње зидове и кровне конструкције.

Кључне речи: *конфекцијски отпад, рециклажа, изолациони материјали, ПЕС тканине, топлотна изолација, звучна изолација*

Научна област: ТЕХНОЛОШКО ИНЖЕЊЕРСТВО

Ужа научна област: МЕХАНИЧКА ТЕХНОЛОГИЈА ТЕКСТИЛА

УДК: 677.026.4:502.174.1

Research and development of thermal insulation material from recycled apparel cutting waste

Abstract

Textile waste originates from textile and clothing manufacturing industry, consumers, commercial and service industries. Due to the structure of the industry, textile waste in the Republic of Macedonia mainly consists of apparel waste (apparel cuttings). A preliminary analysis has shown that annually in the country 1.7 kg/per capita of apparel cuttings are left behind.

This paper gives a characterization of the apparel cuttings waste, defines the current state of the apparel cuttings waste management, and determines the attitudes of Macedonian top management towards managing apparel cuttings. The data in the research was obtained via a structured questionnaire distributed to 120 top managers of textile companies. The processing of the obtained data has been conducted by applying standard statistical analysis (Statistics SPSS program).

The results show that the waste stream mainly consists of woven fabrics, predominantly cotton and cotton blends with the presence of Lycra[®] that additionally complicates the recycling process. The quantity is not sufficient for a continuous process of recycling; the sewing industry consists of small and medium size companies with limited resources, and there is low likelihood of individual investments in recycling equipment. The top management of Macedonian apparel companies generally shows negative attitudes towards sorting and preparing apparel cutting waste for further processing. The majority of apparel manufacturers (94.19%) dispose the apparel cutting waste on landfills, where it causes ecological problems, especially as it is non-biodegradable waste.

Taking into consideration the current state, this research gives an alternative way for a more efficient use of apparel cutting waste as a new product for thermal and sound insulation in buildings. As a raw material for the production of a new insulation structure apparel cutting waste of polyester woven fabrics with big differences in structural characteristics is used in order to determine its influence on the value of thermal and sound insulation. The sample obtained from knitted polyester fabric in partly fibrous form was used for comparison. The design of the new structures starts from the commercial Tervol[®] s thicknesses (50, 70 and 100 mm) and density (115 kg/m³) which is usually used for internal insulation in construction. The production technology of the new structures is simple: cutting the waste using a machine with

a rotational or vertical knife and stabilizing the structure by sewing. The samples were tested for thermal and sound insulation, flammability and biodegradation. The Heat flow meter FOX600 which works by the ASTM C518, ISO 8301 was used to measure the thermal conductivity. The GoldWave software for generating and analysis of sound signals and OriginPro 8.5.1 software for analysis of graphs of sound signals were used to measure the sound insulation. The Hot Metal Nut Test was used to investigate flammability. A procedure based on the ISO 11721-1 standard was conducted to determine biodegradation.

The obtained values of the coefficient of thermal conductivity ($\lambda = 0.0520 - 0.0603$ W/mK) and the coefficient of noise reduction ($NRC = 54.71 - 74.77\%$) are similar to the values of conventional insulation materials and even closer to insulation structures from textile in fibrous form where $\lambda = 0.030 - 0.045$ W/mK, and $NRC = 60 - 100\%$. Some samples even show a smaller thermal conductivity compared to insulation panels from polyester waste obtained by thermal recycling, $\lambda = 0.040 - 0.053$ W/mK. For an approximately same value of thermal and sound insulation the new insulation structure has greater density ($\rho = 126.99 - 265.38$ kg/m³) compared to the conventional insulation materials, meaning that a bigger quantity of material is needed.

Considering that waste is used, this is not a problem, on the contrary, it is a great opportunity to decrease the pollution of the environment. The results of the biodegradation of polyester woven fabrics waste confirm this.

Applying apparel cutting waste from polyester fabrics as an insulation material may bring environmental, sustainable and economic benefit as the material in question is readily available, the production process is simple and cheap, and the product has market viability and competitive price, although its use is limited to internal walls and roofing constructions.

Key words: *apparel cutting waste, recycling, insulation materials, polyester fabric, thermal insulation, sound insulation*

Scientific field of study: ENGINEERING TECHNOLOGY

Major area of study: MECHANICAL TECHNOLOGY OF TEXTILE

UDK: 677.026.4:502.174.1

САДРЖАЈ

1. УВОД	1
2. ТЕОРИЈСКИ ДЕО	3
2.1. ОТПАД	3
2.1.1. Врсте текстилног отпада и менаџирање текстилног отпада	8
2.1.2. Рециклажа текстилног отпада	12
2.1.2.1. Технологије и поступци рециклаже текстилног отпада	17
2.1.3. Пракса поступања са текстилним отпадом	23
2.1.4. Стварање новог производа од рециклираног текстила	27
2.2. ТОПЛОТНЕ И АКУСТИЧКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ МАТЕРИЈАЛА	30
2.2.1. Топлота, трансфер топлоте	30
2.2.2. Топлотне карактеристике материјала	36
2.2.3. Акустичке карактеристике материјала	42
2.3. ИЗОЛАЦИОНИ МАТЕРИЈАЛИ У ГРАЂЕВИНАРСТВУ	47
2.3.1. Основне карактеристике и класификација изолационих материјала	47
2.3.2. Конвенционални изолациони материјали	49
2.3.3. Нови изолациони материјали	54
2.3.4. Текстил и рециклиран текстил као материјал за изолацију зграда	56
2.3.5. Полиестерски отпад као сировина за изолационе материјале	59
2.3.6. Евалуација изолационих материјала	62
3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДЕО	67
3.1. Циљ докторске дисертације	67
3.2. МЕНАџИРАЊЕ ТЕКСТИЛНОГ ОТПАДА	68
3.2.1. Методологија истраживања	68
3.2.2. Резултати и дискусија	69
3.2.2.1. Квалитативна и квантитативна анализа конфекцијског отпада	69
3.2.2.2. Анализа текућег стања у управљању текстилним отпадом	73
3.2.2.3. Ставови топ менаџмента према менаџирању конфекцијског отпада	79
3.3. НОВА ИЗОЛАЦИОНА СТРУКТУРА ОД КОНФЕКЦИЈСКОГ ОТПАДА	92
3.3.1. Коришћени материјали	92
3.3.2. ТОПЛОТНА ИЗОЛАЦИЈА НОВЕ ИЗОЛАЦИОНЕ СТРУКТУРЕ	94
3.3.2.1. Дизајнирање узорака за мерење топлотне проводљивости	94
3.3.2.2. Метод мерења топлотне проводљивости	99

3.3.2.3. Резултати мерења топлотне проводљивости и дискусија.....	100
3.3.3. ЗВУЧНА ИЗОЛАЦИЈА НОВЕ ИЗОЛАЦИОНЕ СТРУКТУРЕ	106
3.3.3.1. Дизајнирање узорака за мерење звучне апсорпције.....	106
3.3.3.2. Метод мерења звучне апсорпције	107
3.3.3.3. Резултати мерења звучне апсорпције и дискусија.....	110
3.3.4. СТЕПЕН СТАРЕЊА И БИОДЕГРАДАЦИЈЕ НОВЕ ИЗОЛАЦИОНЕ СТРУКТУРЕ.....	116
3.3.4.1. Метод испитивања степена старења и биодеградације.....	116
3.3.4.2. Резултати степена старења и биодеградације коришћених материјала	117
3.3.5. ЗАПАЉИВОСТ НОВЕ ИЗОЛАЦИОНЕ СТРУКТУРЕ	120
3.3.5.1. Метод испитивања запаљивости	120
3.3.5.2. Резултати испитивање запаљивости и дискусија	121
3.3.6. ПРЕДЛОГ ТЕХНОЛОШКЕ ЛИНИЈЕ ЗА ПРОИЗВОДЊУ НОВЕ ИЗОЛАЦИОНЕ СТРУКТУРЕ.....	124
4. ЗАКЉУЧАК	128
5. ЛИТЕРАТУРА	130
ПРИЛОГ 1	138
ПРИЛОГ 2	142
ПРИЛОГ 3	144
ПРИЛОГ 4	154
Биографија аутора.....	156

Листа слика

Слика 1. Ознака рециклаже	13
Слика 2. Пирамидални модел класификације текстилног отпада за рециклажу према категоријама	16
Слика 3. Машина за тресење крпа	19
Слика 4. Машина за рашчупавање вунених крпа	20
Слика 5. Машина за рашчупавање крпа и предива од фирме „Vefame”	21
Слика 6. Примена отпада од кројења синтетичких тканина за израду цигала,	27
Слика 7. Топлотни проток кроз раван зид	32
Слика 8. Једноставни звучни талас	42
Слика 9. Рефлексија и апсорпција звучног таласа	44
Слика 10. Камена вуна	49
Слика 11. Стаклена вуна	50
Слика 12. Полистирен	51
Слика 13. Примена вуне за изолацију зграда,	57
Слика 14. Изолација од рециклираног памучног материјала,	58
Слика 15. Текстилни отпад као материјал за изолацију	59
Слика 16. Количина отпада од кројења за 2009, 2010. и 2011. г.	72
Слика 17. Отпад од кројења према сировинском саставу (а) и увезене сировине за конфекцијску индустрију (б)	73
Слика 18. Врста текстилног материјала	74
Слика 19. Сировински састав материјала	75
Слика 20. Материјали према садржају Лусга® влакана	75
Слика 21. Пракса паковања отпада	76
Слика 22. Присуство других предмета у текстилном отпаду	76
Слика 23. Пракса одлагања отпада	77
Слика 24. Трошкови одлагања отпада	77
Слика 25. Баријере у менаџирању отпада	77
Слика 26. Предуслови ефикаснијег менаџирања отпада	77
Слика 27. Ток конфекцијског отпада кроз производне компаније	79
Слика 28. Прихватање сортирања	81
Слика 29. Лакоћа сортирања	81
Слика 30. Корисност сортирања	81
Слика 31. Четири кластера у односу на прве две дискриминантне функције	89
Слика 32. Повезивање основе и потке у тканини А	93
Слика 33. Повезивање основе и потке у тканини С	93
Слика 34. Повезивање основе и потке у тканини D	93
Слика 35. Изглед делимично рашчупане плетенине В	94
Слика 36. Машине за сечење конфекцијског отпада	94
Слика 37. Изглед исецканог отпада	95
Слика 38. Машина за прошивање (штепање) узорака	97

Слика 39. Узорак за мерење топлотне проводљивости	98
Слика 40. Апарат и софтвер за мерење топлотне проводљивости	99
Слика 41. Дебљина – h и топлотна проводљивост – λ	101
Слика 42. Запреминска маса – ρ и топлотна проводљивост – λ	102
Слика 43. Топлотна изолација – R и дебљина – h	102
Слика 44. Зависност топлотне изолације - R и дебљине - h	103
Слика 45. Изглед готовог узорка (В) за мерење звучне апсорпције	107
Слика 46. Шематски приказ апаратуре за мерење звучне апсорпције	108
Слика 47. Обрада снимка звучног сигнала у OriginPro 8.5.1	109
Слика 48. Очитавање амплитуде звучног сигнала	109
Слика 49. Графички приказ вредности амплитуде излазног звучног сигнала – A_{iz} за A_1 (прво мерење).....	110
Слика 50. Графички приказ референтне вредности амплитуде звучног сигнала – A_{ref} (за ваздух)	110
Слика 51. Звучна апсорпција α (%) свих узорака у зависности од фреквенције f (Hz)	112
Слика 52. Звучна апсорпција α (%) узорака од тканине А у зависности од фреквенције f (Hz).....	112
Слика 53. Звучна апсорпција α (%) узорака од тканине С у зависности од фреквенције f (Hz).....	113
Слика 54. Звучна апсорпција α (%) узорка од тканине D у зависности од фреквенције f (Hz).....	113
Слика 55. Звучна апсорпција α (%) узорка од делимично рашчупане плетенине В у зависности од фреквенције f (Hz).....	114
Слика 56. Звучна апсорпција α (%) узорака ABC и ABD у зависности од фреквенције f (Hz)	114
Слика 57. <i>NRC</i> испитиваних узорака.....	115
Слика 58. Зависност топлотне изолације – R^* и звучне апсорпције – α	115
Слика 59. Визуелни изглед узорака за оцену старења и биодеградације	118
Слика 60. Губитак масе	119
Слика 61. Тест запаљивости	121
Слика 62. Предлог технолошке линије за производњу нове изолационе структуре ...	124
Слика 63. Компјутеризована машина за прошивање, ESQ - 3000	126
Слика 64. Компјутеризована машина за прошивање, XL - 6000М.....	126
Слика 65. Блок дијаграм производње новог изолационог материјала	127

Листа табела

Табела 1. Баријере у производњи и бенефит нових производа од рециклираног текстила.....	29
Табела 2. Класификација изолационих материјала.....	48
Табела 3. Најновија класификација изолационих материјала.....	48
Табела 4. Поређење класичних изолационих материјала.....	53
Табела 5. Дебљина - h , густина - ρ и коефицијент апсорпције звука - α конвенционалних изолационих материјала и полиестерског материјала.....	61
Табела 6. Евалуација изолационих материјала према LCA.....	66
Табела 7. Укупан извоз и структура извоза текстилних производа.....	70
Табела 8. Увоз текстила.....	71
Табела 9. Извоз најважнијих конфекцијских производа.....	71
Табела 10. Дескриптивна статистика - лакоћа и бенефит сортирања конфекцијског отпада.....	82
Табела 11. Утицаји на спремност и интерес за сортирање.....	84
Табела 12. Утицаји на лакоћу сортирања.....	85
Табела 13. Утицаји на корисност сортирања.....	86
Табела 14. Факторска анализа.....	88
Табела 15. Резултати дискриминантне анализе.....	89
Табела 16. Дескриптивна статистика ставова.....	91
Табела 17. Структурне карактеристике тканина.....	92
Табела 18. Врста и начин припреме отпада.....	96
Табела 19. Структурне карактеристике узорака.....	98
Табела 20. Топлотна проводљивост $-\lambda$ и топлотна изолација $-R$ и R^*	101
Табела 21. Промена дебљине $-\Delta h$ и запреминске масе $-\Delta\rho$	103
Табела 22. Поређење топлотне изолације новог изолационог производа са комерцијалним производима.....	106
Табела 23. Маса конфекцијског отпада $-m_0$ за припрему узорака за мерење звучне апсорпције.....	107
Табела 24. Апсорпција звука α (%) и NRC (%).....	111
Табела 25. Поређење звучне апсорпције новог изолационог производа са комерцијалним производима.....	116
Табела 26. Губитак масе.....	118
Табела 27. Рангирање различитих изолационих производа према импакту.....	120
Табела 28. Запаљивост узорака.....	122

1. УВОД

Енергетска криза из седамдесетих година показала је да природни материјали и енергетски ресурси нису неограничени и приморала свет да мисли о редукацији потрошње, а напоре истраживача фокусира на обновљиве изворе енергије и развој енергетски ефикасних технологија.

Стамбени и пословни објекти су један од највећих потрошача енергије. Зграде у Европи троше 40% укупне енергије, од чега 60% за загревање простора, а остатак за хлађење, вентилацију или осветљење [1]. Трошкови обезбеђивања топлотног и акустичког комфора могу се смањити на више начина, али најважнији међу њима је топлотна изолација зграда. Изолација у зградама постаје обавезна у многим земљама Европске уније, а национална законодавства су све строжија, нарочито након усвајања директиве [2] од 16. 12. 2002. године (Directive 2002/91/Ес of the European Parliament and of the Council) о енергетским перформансама зграда и њиховој енергетској ефикасности. Директива захтева да се објекти дизајнирају и изграде тако да троше најмању могућу количину енергије.

Топлотна изолација смањује топлотне губитке зими, прегревање лети, те штити носећу конструкцију од спољашњих услова и наглих температурних промена. Топлотно изолован објекат је угоднији, са продуженим веком трајања, доприноси заштити околине и смањује годишње трошкове за обезбеђивање топлотног комфора [3,4].

Утицај топлотне изолације на потрошњу енергије објеката и на околину може се видети из два репрезентативна примера: У Немачкој је национално законодавство повећало дебљину изолације зграда од 5 cm (1975. године) до 20 cm (1996. године) чиме је просечна потрошња електричне енергије смањена од 300 на 50 kWh/m². Што се тиче утицаја на животну средину, у САД је израчунато да је изолација зграда „одговорна” за смањење емисије угљен диоксида за 780 милиона тона годишње [5].

Ефекат топлотне изолације зграда зависи од дизајна, дебљине изолационог слоја и коефицијента топлотне проводљивости примењеног изолационог материјала. Понуда изолационих материјала је разноврсна, али на европском тржишту доминирају конвенционални изолациони материјали: минерална вуна (стаклена и камена) и полистирен (стиропор). У последњих неколико година многа истраживања су урађена о иритирајућем, токсичном, чак и канцерогеном дејству камене и стаклене вуне што је главни разлог тражењу алтернативних „пријатељских” материјала по животну средину, односно, примени еколошких производа за изолацију грађевинских објеката.

Додатно, истраживања су показала да 82% потрошача преферира еколошке производе у различите сврхе. Еколошки тренд и повећање потрошње материјала за изолацију довели су до развоја нових технологија као што су транспарентна (прозрачна) и вакуум изолација. Код њих су потребне знатно мање дебљине изолационог материјала него код конвенционалних за исту вредност топлотне и звучне изолације. Ова изолација је још увек веома скупа, а примењује се за санацију зграда и објеката где није могуће уградити већу дебљину изолационог слоја [6,7]. Од 2007. године на европском тржишту појавила су се нека нова решења изолационих материјала за грађевинске објекте израђених од текстилног отпада. Највећу пажњу привукли су производи фирме „Inno-Therm” из Велике Британије и „Le Relaise” из Француске. Ове фирме производе изолацију од рециклираних индустријских памучних цинс отпадака. Производи задовољавају стандарде изолационих материјала, представљају безбедну и чисту изолацију, лако се инсталирају, а манипулација је без заштитне опреме. Користе се за изолацију зидова, кровова, и плафона [8,9]. Фирме „Inno-Therm” и „Le Relaise” прихватиле су концепт одговорности према околини, који је, иако нов, све популарнији у бизнис заједницама. Овај концепт укључује одговорност за заштиту животне средине што се огледа у коришћењу еколошки пријатељских производа, обезбеђивању чисте производње и ефикасном систему одлагања отпада.

Текстилни отпад, иако није највећи по обиму, ипак је један од загађивача животне средине када заврши на депонијама, тако да све фазе његове реконструкције у новом производу доприносе заштити животне средине и спречавају губитак вредног ресурса. Иако рециклажа текстилног отпада има еколошку и економску компоненту, у стварности се суочава са многим изазовима. Најважнији међу њима су доступност и континуирано снабдевање са текстилним отпадом у потребној количини, стање на тржишту и интерес за куповину рециклираних материјала [10].

Од крајњих корисника добијене су позитивне оцене о термо - изолационим материјалима израђеним од рециклираних текстилних отпадака што представља основу за даљни рад у овом подручју, нарочито у смеру смањивања трошкова у процесу механичког рециклирања и побољшања карактеристика производа.

2. ТЕОРИЈСКИ ДЕО

2.1. ОТПАД

Отпад се генерално дефинише као производ или супстанца која нема никакву вредност и не може се даље користити од стране особе или компаније чије је власништво и већ је, или ће бити, избачена од стране истих. Ипак, оно што је одбачено са једне стране може имати употребну вредност на другом месту, што значи да сваки отпад није, и не мора постати ђубре [11,12,13,14].

Отпад је јасни материјални отисак сваког аспекта живота и рада људи. Немогуће је замислити процес који не ствара отпад. У друштву се отпад креће од отпадних производа насталих из домаћинства до веома токсичних индустријских отпадних специјализованих производа. Његова количина је директна последица, али и показатељ степена економског развоја неке земље. Однос бруто домаћег производа (БДП) као основног економског показатеља и количине отпада готово је линеаран.

Термин отпад има другачије значење у зависности од тога да ли се посматра у ужем или ширем смислу. Превентивни приступ чисте производње дефинише отпад као сировину или енергију која није конвертована у готов производ нити може да се прода на тржишту, што значи да отпад представља чист губитак.

Укупни трошкови производње састоје се од [14]:

- трошкова за сировине,
- трошкова за радну снагу (плате) и
- трошкова отпада.

Највећа могућност економске уштеде види се у смањењу сегмента трошкова отпада. Стратегија чистије производње укључује смањење отпада, а тиме и губитака.

Отпад се не може избећи, главни проблем је како поступати са њим, односно како управљати отпадом?

Управљање отпадом је збир активности, одлука и мера за: превенцију отпада, смањење обима и његовог штетног утицаја на животну средину, прикупљање, транспорт, прераду и надзор над операцијама обраде и брига о местима где се отпад одлаже. Ово је веома сложен процес под утицајем политичких, економских, правних и друштвених фактора [14,15].

Један део отпада се рециклира, други се користи за грејање, али велики део још увек завршава на депонијама. Савремено друштво је зависно од депонија, тако да аутоматски прихватамо да су депоније исправан начин третирања отпада. Највећа

депонија у свету налази се у Њујорку – „Fresh Kils” са површином од 1000 хектара и висином од 150 метара, док је највећа европска депонија у Француској, близу Марсеја са површином од 84 хектара и висином планине. Детаљне студије показују да депоније нису идеално решење као што се мислило. Значајан проблем са њима је што заузимају драгоцен простор и представљају „еколошке бомбе” [12].

Отпад има демократски карактер, стварамо га сви и зато се мора допринети изналажењу бољег решења него што су депоније. Промена укореењених навика није лак задатак. Потребна је револуција која ће уместо старих начина увести нове концепте и технологије за управљање отпадом у складу са филозофијом која цени животну околину, јер су еколошки проблеми међу најважнијим питањима за будућност човечанства. Притисак који отпад ствара на околину, као и неповратан губитак вредних ресурса и енергије у процесу његовог одлагања или спаљивања намеће примену одрживог начина управљања отпадом. Одрживи начини управљања отпадом уче нас да се у њему крију вредни ресурси који могу бити поново искоришћени. На тај начин не само што се не загађује животна средина, већ се и спречава брза експлоатација ограничених природних ресурса и затвара се кружни ток материје и енергије у природи који је већ дуго поремећен од стране људи [11,13,16]. Према европском законодавству, савремени приступ у управљању отпадом заснива се на принципима [12,14].

- принцип „одрживог развоја”,
- принцип „загађивач плаћа”,
- принцип „близине”,
- принцип „предострожности”,
- принцип „одговорности произвођача”,
- принцип „хијерархије”.

Принцип одржив развој

Термини одржив развој, одржива производња, одржива економија, и одрживо друштво чујемо свакодневно, ипак питање је како појединци и групе људи перципирају и разумеју значење ових термина.

Светска Комисија за животну средину и развој Уједињених Нација одрживи развој дефинише као развој који задовољава потребе садашњих генерација без угрожавања будућних генерација у испуњавању њихових потреба, (Светски институт ресурса, 1992.). Циљ одрживости је да остави будућим генерацијама онолико могућности колико смо их и ми имали. У суштини одрживи развој је усклађен систем

техничко - технолошких, економских и друштвених активности у којима се природне и створене вредности користе на основу економичности и рационалности са циљем очувања и унапређивања квалитета животне средине за садашње и будуће генерације [12,17].

Одржив производ је онај чија производња омогућава поновно искоришћавање ресурса из којих је створен, нема штетних ефеката на животну средину, не ствара отпадне материје и доприноси добробити заједнице [17]. Одрживо управљање отпадом значи ефикасно коришћење ресурса, смањење количине отпада и поступање њиме на такав начин да то доприноси циљевима одрживог развоја [12].

Одржив развој је отворен процес који доводи до сталне промене у циљевима и приоритетима и има за циљ постизање одрживости у свим аспектима људског живота. Иако се овај појам често ограничава на заштиту животне средине, одрживост подразумева равнотежу између три елемента: тежњу за економским просперитетом, квалитетом животне средине и социјалном једнакошћу. Према томе, област одрживог развоја се може поделити на три саставна дела: еколошку одрживост (одрживост животне средине), економску и социјалну одрживост [18]. Уједињене нације потврђују одрживи развој као филозофију која треба да буде водич свим нацијама у спровођењу њихових комерцијалних и индустријских активности. Општи концепти одрживог развоја су [12,14].

- руковање и одлагање отпада мора се спроводити на начин који не представља ризик по здравље људи или животну средину, у садашњости или будућности (заштита здравља људи и заштита животне средине),
- отпад би требало решавати тако да то неће бити оптерећење за будуће генерације, (умањити терет будућих генерација),
- необновљиве ресурсе треба сачувати што је више могуће (очување ресурса).

Први концепт поставља важна ограничења о локацији и дизајну места и услова за одлагање отпада, као и његовог облика. На пример, он захтева елиминацију протока воде из депоније у подземне воде и испуштање гасова у атмосферу, или бар редукацију до те мере да околина то може поднети. Имплементација овог принципа није лак посао, што значи да је потребно тражити нова решења за одлагање отпада. Други концепт сугерише да се отпад не сме остављати као наслеђе будућим генерацијама. Трећи принцип има две кључне ствари: прво, процес руковања отпадом и његовог одлагања не треба да обухвата необновљиве ресурсе и друго, овај концепт захтева да сви вредни ресурси буду

извучени из њега пре него што буде уништен. Извлачење материјала из отпада који се може рециклирати истовремено смањује количину отпада којег се треба ослободити што значи вишеструки бенефит. Као концепт који је опште прихваћен последњих неколико година, одрживи развој је основа политике многих влада.

Принцип **„загађивач плаћа”** значи да је отпад одговорност оних који су га створили. Генератор отпада или загађивач треба у потпуности да покрије трошкове сакупљања, транспорта, складиштења, одлагања, превенције и мониторинга отпада, као и трошкове санације оштећења изазваних отпадом.

Принцип **„близине”** значи да отпад треба третирати или одлагати што је ближе могуће до места његовог формирања да би се приликом транспорта отпада избегли **„нежељени ефекти”** на животну средину. Приликом избора локације за третман или одлагање отпада треба да се поштује принцип близине. Примена овог принципа зависи од локалних услова и околности, врсте отпада, начина транспорта и одлагања, као и могућности утицаја на животну средину. Исто тако, примена овог принципа зависи од економске рентабилности. Инсталације за третман отпада или депоније лоцирају се далеко од места стварања само ако је то економски рентабилно. Највећи део отпада се третира или одлаже у области или региону где је произведен. Регионално управљање отпадом обезбеђује развој и имплементацију регионалних стратешких планова на основу европског законодавства и националне политике.

Принцип **„предострожности”**. Ако се на основу савремених научних и технолошко - техничких налаза закључи да ће одређена активност или извођење одређене активности при управљању отпадом проузроковати штетне ефекте по животну средину, живот и здравље људи, предузимају се одговарајуће мере и активности за одстрањивање опасности пре него што се добију научни докази о штетним последицама.

Принцип **„одговорност произвођача”** значи да произвођачи, увозници и дистрибутери који утичу на раст количине отпада треба да снесу колективну одговорност за стварање отпада. Значење речи произвођач у овом контексту је много шире него што је уобичајено. Разматрајући животни ток производа, произвођач није једина карика у ланцу свих оних који утичу на стварање отпада, има и других субјеката у том ланцу са великим улогом. Овај принцип сугерише да произвођачи отпада треба да утичу на: смањење количине отпада, развој производа који се рециклирају и развој тржишта за поновну употребу и рециклажу својих производа. На овом принципу се заснива и управљање отпадом од амбалаже производа.

Принцип „хијерархије управљања отпадом” класификује различите опције управљања отпадом од „најбоље, најпожељније” до „најгоре, најнепожељније” из перспективе животне средине по следећем редоследу:

- Смањење отпада на извору
- Поновна употреба
- Рециклажа
- Сагоревање, пречишћавање
- Депоније

Постоји широк спектар различитих врста отпада, сваки са различитим утицајем на животну средину, али је предмет овог рада текстилни отпад и његов утицај.

Текстил је један од главних производа без којих се човечанство не може замислити, а производни процеси у текстилној индустрији су разнолики и комплексни, са свакодневним изазовима и континуираним праћењем укуса милиона потрошача, индивидуалних стилова и финансијских могућности. Према европској комисији текстилна и индустрија одеће обухватају низ активности од продукције влакана и њихове трансформације у предива, тканине, плетенине или неткани текстил од којих се израђују не само производи који се користе у индустрији одеће него и у грађевини, аутомобилској индустрији, медицини, спорту итд. За комерцијалне сврхе стварање текстилног отпада је под утицајем производње текстилних производа. Већа производња текстилних производа значи већу количину текстилног отпада. Повећање производње и потрошње текстила и одеће су резултат повећања животног стандарда и све већег броја људи, односно они су функције захтева потрошача под утицајем стања економије [19]. Резултати студије [20] коју су спровеле Уједињене нације, 2011. г. показују да је глобална потрошња текстилних влакана и на тај начин крајња потрошња текстила, одеће, текстила за домаћинства и индустријског текстила порасла скоро 30 пута у односу на 1950. г. Глобална текстилна потрошња се процењује на више од 30 милиона тона годишње [21]. Ове чињенице показују колико је текстил присутан у животној средини.

На велику потрошњу текстила највише утичу промене у модним трендовима. Покретачка снага у моди је промена, односно потреба за честом заменом још увек функционалних текстилних производа са новим, модернијим. Текстилне компаније имају сезонске колекције у циљу привлачења купаца и остваривања профита. То је мач са две оштрице јер стимулише производњу, али јавља се проблем отпада, односно проблем прекомерне потрошње текстила. Поред текстилног отпада додатни проблем је

амбалажни отпад од паковања одеће и текстилних производа за домаћинства [16].

Са глобализацијом текстилне и индустрије одеће, њиховим енормним растом и честим променама у модним трендовима истовремено се умножавају еколошка питања, односно питања о утицају текстила и текстилног отпада на животну средину и здравље људи.

2.1.1. Врсте текстилног отпада и менаџирање текстилног отпада

Као и све врсте отпада, тако и текстилни долази из свакодневног живота кроз низ извора, као што су индустријска производња, купци, комерцијалне и услужне делатности.

С обзиром на хетерогеност текстилног отпада пожељно је направити његову класификацију. Према томе где се ствара и ко га ствара текстилни отпад генерално се може поделити на [19]:

- **текстилни отпад генерисан пре употребе (pre consumer),**
- **текстилни отпад генерисан после употребе (post consumer) и**
- **индустријски текстилни отпад.**

Текстилни отпад генерисан пре употребе представља отпад који се добија из производње приликом обраде влакана (без обзира да ли се ради о природним или синтетичким), формирања предива, производње текстилних производа - тканина, плетенина и нетканог текстила, обуће, укључујући остатке кројења материјала, исечке, ивице, одбачени материјал или текстилне комаде друге класе. Ова врста отпада је заправо материјал који се баца или шаље на рециклажу пре него што буде спреман за финалну употребу [19,21,22].

Од произвођача одеће стварају се годишње 450 - 600 милиона тона отпадака само од процеса кројења, (Крон, 1992.). Сваке године 750.000 тона „pre consumer” текстилног отпада рециклира се у нове производе за аутомобилску индустрију, индустрију намештаја и слично [23]. Обим текстилног отпада у производњи зависи од броја производних процеса који се извршавају у предузећу. Генерално, укупна количина отпада кроз читав циклус индустријске производње, од обраде предива до шивења може бити између 40 - 50% сировинског материјала. Отпад који настаје зависи од величине предузећа, организације производње (на пример, примена стандарда за управљање животном средином) и од степена аутоматизације производних процеса. Количина отпада зависи не само од броја процеса, него и од њихове комплексности.

Осим чврстог отпада из текстилних производних погона у погонима за дораду текстила и одеће ствара се и течни отпад. У погонима за дораду текстила троше се огромне количине воде, енергије и хемикалија. Степен загађења проузрокован течним отпадом зависи од технолошке фазе дораде и највећи је код фаза прања и ваљања вуне, раскробљавања, искувавања и мерцеризације памука, карбонизације и бојења вуне. Течни отпад текстилне индустрије у великој мери доприноси загађењу животне средине јер веома мали број текстилних фабрика имају постројења за пречишћавање и прераду отпадне воде, а већина њих отпадне воде директно испушта у канализацију или градске водотокове [10,19,24,25].

Текстилни отпад после употребе представља било какву врсту одеће или текстил из домаћинства (пешкири, постељине и сл.) који више немају употребну вредност за потрошаче или су они одлучили да их одбаце без обзира на разлог: зато што су похабани, оштећени, или једноставно нису више у моди.

Светски институт за ресурсе (1992. г.) објавио је податак да је удео постпотрошачког текстилног отпада у укупној количини комуналног чврстог отпада 4% [23]. Према Савету за рециклажу САД, (2006. г.) на годишњем нивоу ствара се 4.5 kg постпотрошачког текстилног отпада по становнику. Ова категорија отпада сматра се отпадом са квалитетом који омогућава поновно коришћење, тако што се рециклира од стране других корисника или се продаје као половна одећа (second hand) у земљама трећег света. Само 48% овог отпада се рециклира као половна одећа, док остатак завршава као ђубре на локалним депонијама [21,22].

У земљама ЕУ потрошачи бацају приближно око 5.8 милиона тона текстила сваке године. Само 1.5 милиона тона тј. 25% овог текстила се рециклира у индустријским предузећима или се користи као донација. Преостала 4.3 милиона тона одлаже се на депоније или спаљује [26]. Ова врста текстилног отпада заједно са отпадом из текстилне индустрије значи огроман извор секундарних сировина које могу бити поново враћене на тржиште.

Индустријски текстилни отпад генерише се из текстилне производње за комерцијалне и индустријске сврхе, укључујући и текстилни отпад из производње тепиха и завеса, болнички отпад и индустријски текстилни отпад познат под називом „прљави” отпад.

Поред чврстог и течног отпада у текстилној и индустрији одеће ствара се и нетекстилни отпад са доминантним учешћем папира, картона, стакла, пластике и металних делова. Тачан утицај производње текстила и текстилног отпада на животну

средину знатно варира зависно од врсте влакана и производа од њих. У производњи природних влакана, на пример, код памука се употребљавају знатне количине пестицида који узрокују деградацију земљишта и имају штетан утицај на раднике. Исто тако, троше се и велике количине воде; за производњу 1 kg памука троши се и по 20.000 литара воде [27]. За разлику од природних, производња синтетичких влакана захтева низ необновљивих сировина, пре свега нафте. Генерисање текстилног отпада, осим што значи губитак вредних ресурса и енергије, узрокује проблеме у животној средини, додатно ствара трошкове сакупљања, транспорта и управљање отпадом [28]. За текстилни отпад најбоље могуће решење је модел интегралног третмана базиран на принципима одрживог развоја.

У 2008. г. Fletcher је поставио најпопуларнији глобални принцип управљања текстилним отпадом три „R”:

- **редукција (reduce) односно смањење,**
- **реупотреба (reuse) (поновна употреба) и**
- **рециклажа (recycling).**

El Naggar (2007. г.) сматра да се принцип заснива на 7 „R”, **редукција, реупотреба, рециклажа, регулатива, регенерисање, поновно размишљање, реновирање**, (reduce, reuse, recycling, regulations, recovering, rethinking, renovation) [24].

Прва и најпожељнија опција у хијерархијском систему управљања текстилним отпадом је редукција односно смањење отпада у почетку, јер ако се отпад не генерише нестају и проблеми повезани са њим. Друга по реду у хијерархији је опција поновне употребе текстилног отпада, што у суштини значи његову директну употребу без потрошње енергије или других примарних или секундарних сировина. Трећа опција – рециклажа разликује се од претходне по томе што се заснива на поновној употреби текстилног отпада, али не директно, већ са претходном припремом отпада. Алтернативно се може користити и компостирање [14,24]. У савременим хијерархијским системима управљања текстилним отпадом не помињу се опције депоновање и спаљивање текстилног отпада без искоришћавања топлотне енергије, или се могу наћи на самом дну хијерархијске пирамиде као најмање пожељне опције. Редукција количине отпада постиже се увођењем производних технологија које не генеришу отпад, такозване технологије затвореног типа. Први корак ка овом циљу мора бити модернизација производње која је повезана са технолошким и процедуралним

променама. Исто тако, количина текстилног отпада смањује се и куповином производа са минималном амбалажом и развојем производа који дуже трају.

Поновна употреба значи да ако је један текстилни производ добар, боље је искористити га, него бацити. Избачена одећа може се искористити као „second hand” одећа или као крпе за полирање. Кључни моменат је подизање нивоа свести потрошача, односно образовање о могућностима поновне употребе текстилног отпада [18,29].

Спаљивање (сагоревање) текстилног отпада има своје предности и мане. Главне предности су: знатно смањује количину текстилног отпада која би завршила на депонијама и као споредни продукт генерише се топлотна енергија која значи уштеду горива, која су необновљива (природни гас, нафта и угаљ). Сагоревање текстилног отпада је пожељна опција само у одговарајућим условима, односно само уз искоришћавање топлотне енергије. Овај процес се често назива четврто „R” као додатак редукцији, реупотреби и рециклажи. Са друге стране, противници сагоревања тврде да се овим процесом стварају загађивачи који се шире у атмосферу и не могу се контролисати, што је много горе од одлагања текстилног отпада на депоније. Друга негативна страна је цена коштања пећи за сагоревање, наиме, она је много скупља од цене израде депоније [12].

Одлагање на депоније је, иако најнепожељније, још увек доминантан начин поступања са текстилним отпадом. Одлагање текстилног отпада на депоније значи плаћање високих трошкова, стварање материјалних и енергетских губитака, као и губитак велике површине корисног земљишта. Уместо одлагање текстилног отпада на депоније треба развити стратегију за интегрално управљање текстилним отпадом која минимизира утицај на животну средину са свим расположивим технологијама – редукција, поновна употреба, рециклажа и спаљивање.

Текстилни произвођачи треба да утичу на минимизирање отпада, развој производа који се рециклирају и развој тржишта за поновну употребу и рециклажу својих производа [12,29]. Неки текстилни произвођачи развили су нове производе који се лако рециклирају према концепту C & C (cradle to cradle) „од колевке до колевке” насупрот линеарном моделу искоришћавања ресурса - произведи, искористи једном и баци, постављеним у почетку индустријализације и познатом као концепт C & G (cradle to grave) „од колевке до гроба”. Један од најпознатијих C & C производа је Victor - Innovatex, еко - интелигентан полиестер [30]. Одрживо управљање текстилним отпадом, поред смањења количине отпада, смањује и трошкове за његово одлагање, али намеће потребу за реорганизацијом фабрика текстила и развијањем свести о проблематици

отпада и подизањем еколошке свести произвођача отпада [16]. Очекивани резултати од реорганизације индустрије одеће, нарочито у процесу прилагођавања директивама за интегрално управљање отпадом и контролом загађења су ефикасне мере за минимизирање количине отпада и за ефикасније искоришћавање сировинских материјала и енергије, као и интензивније интерно или екстерно рециклирање. Пожељно је да објекти и постројења намењени за одлагање отпада буду међусобно повезани у интегрисану мрежу. Ова интегрисана мрежа обезбеђује одговарајућу координацију између произвођача, предузећа за сакупљање и транспорт отпада и предузећа за његову прераду. За конфекцијска предузећа најекономичнија варијанта је коришћење услуга предузећа чија је основна делатност прерада текстилног отпада [31].

Да би се постигла компатибилност текстила и текстилне индустрије с одрживим развојем потребно је принципе одрживости уградити у све сегменте производње текстила почевши од дизајна (еко - дизајн), коришћења одрживих сировина и одрживих начина производње, па све до крајњег збрињавања или одлагања текстилног отпада на крају његовог животног циклуса. У циљу одрживости текстилне индустрије мора се водити рачуна о што чистијој производњи и имати у виду још један важан моменат, а то је познавање закона о заштити околине [18].

Будућност текстила и одеће суочава се са бројним изазовима као што су: ограничена количина природних ресурса, глобално загревање, питање одрживости, друштвени и политички трендови. Како се у контексту одрживог развоја позиционира текстил и перципира текстилна индустрија довољно говори чињеница да се глобално текстилна индустрија још увек сматра једним од највећих загађивача животне средине, а сам текстил све већом еколошком претњом.

2.1.2. Рециклажа текстилног отпада

Реч „рециклажа” је у употреби последњих 25 година, а значи поновно кружење. Циљ рециклаже је претворити отпадни материјал у облик који се поново може користити. У савременом друштву рециклажа је процес помоћу кога се отпадни материјал сакупља, прерађује и користи као сировина за израду нових производа, а у исто време спречава штетно дејство отпада на животну средину. Ознака за рециклажу (Слика 1) има три стрелице које означавају три фазе рециклаже: **сакупљање, прерада и поновна употреба.**



Слика 1. Ознака рециклаже

Свест о очувању животне средине развија се интензивније од 1960. године. У периоду од 1970. до 1980. године рециклажа чврстог отпада није била приоритет општина, индустрије и целокупног друштва зато што су трошкови одлагање отпада на депонијама били ниски, тако да је било мало иницијатива за рециклажне програме. У овом периоду евидентирају се само скромни напори за рециклажу алуминијумских конзерви, стаклених флаша и новина. У касним 80-им годинама бележи се раст одговорности према животној средини што је уствари резултат драстичног пораста трошкова за одлагање отпада, од 10 - 35 \$ по тони. У исто време количина отпада све више расте, а простор за депоније је све ограниченији, тако да постаје јасно да се мора посветити пажња изналажењу нових начина третмана отпада [10,32]. Главни бенефити поновне употребе и рециклаже су [30]: смањује се потреба за депонијама, смањује се притисак (потрошња) необновљивих ресурса и смањује се загађење и потрошња енергије за добијање нових сировина.

За противнике рециклаже навешћемо следеће чињенице: рециклажа једне алуминијумске конзерве штеди енергију једнаку пола литре бензина, или око 20 km вожње. Рециклажа једне стаклене флаше штеди енергију која одговара раду једне сијалице од 100 W за време од 4 сата. Рециклажа 54 kg папира спасава једно стабло. Паралелно са размишљањем о бенефиту рециклаже мора да се изврши прецизна процена трошкова рециклаже и добијања новог производа зато што може да се деси да производ из оригиналне сировине буде јефтинији у односу на његову производњу од рециклираног материјала. Код ове процене треба узети у обзир да је рециклирани производ инфериоран у односу на квалитет производа од оригиналних сировина. Други проблем о ком вреди размишљати су трошкови енергије и транспорта отпада [12,29].

Када говоримо о рециклажи прво помислимо на рециклажу пластике, папира, метала и стакла. Ипак, постоји још један важан материјал који се може искористити рециклажом, а то је текстил. У земљама ЕУ текстил чини 5 - 10% укупног отпада, али

има високу вредност као материјал за рециклажу зато што се 97% текстилног отпада може рециклирати без обзира да ли је од природних или синтетичких влакана.

Рециклажа текстилног отпада је поновна употреба или репроцесирање коришћене одеће, влакнастих материјала (остатака из производње) и остатака кројења за израду нових производа [19,24,30]. Као допринос еколошком очувању планете све су масовније акције сакупљања коришћеног текстила у којима учествује све већи број произвођача текстила и одеће. Главни циљ је нови животни век коришћеног текстила [33,34]. Савремена одећа се много разликује од оне од пре неколико деценија не само по дизајну, већ и по сировинском саставу. Појавом синтетичких влакана у 20 ом веку рециклажа постаје све комплекснија, између осталог и због тога што већа јачина влакана компликује процес кидања крпа, предива или отварања влакана, а примена различитих мешавина компликује процес сортирања. Индустрија рециклаже има задатак да реши ове проблеме као и све остале везане за савремену производњу текстила и одеће [16].

Постиндустријски и потрошачки отпад представља широк потенцијал за употребу и рециклажу. Алтернатива поновне употребе текстилног отпада даје нову шансу за употребу одеће, постељина, каишева, обуће, меких играчака, практично сваког производа израђеног од текстилних сировина. Текстилни отпад се рециклира и поново примењује најчешће на следеће начине:

- поновна употреба која је одмах примењива - као одећа за сиромашне људе земаља трећег света,
- једноставна промена у употреби - одећа и текстил претварају се у индустријске крпе и
- комплексна рециклажа - претварање одеће и текстила у стање влакана од којих се добија индустријски материјал за пресвлачење и пуњење намештаја или материјал за звучну изолацију.

Десет најважнијих разлога за смањење обима текстилног отпада, односно за рециклажу текстила су:

- Агенције за заштиту животне средине процењују да се око 97% текстилног отпада може рециклирати.
- Једноставном донацијом свих искоришћених текстилних производа који се користе у добротворним организацијама смањује се притисак на депоније.
- Више од 70% светске популације користи „second hand” одећу и на тај начин стара одећа се користи да помогне онима којима је најпотребнија.

- Рециклажом текстила сваки појединац промовише своју локалну заједницу отварањем нових радних места која генеришу приходе од пореза.
- Компаније за рециклажу сарађују са добротворним установама да пронађу нове домове за стару одећу и остали текстилни материјал и тако смањују своје оперативне трошкове.
- За рециклажу текстила потребно је мање енергије у поређењу са било којим другим типом рециклаже.
- Рециклажа текстила не ствара велику количину новог штетног отпада који би загађивао животну средину.
- Одећа која се више не носи може се користити као материјал у уметничким радионицама и у продавницама машина и аутомобила.
- Одећа која се више не носи може се користити за индустријске потребе, за пресвлачење намештаја или као материјал за звучну изолацију.

Сваки новоизграђени дом користи за чишћење око педесетак килограма крпа. Пожељно је да су крпе добијене кроз процес рециклаже материјала [34].

Инвестиције у процесу рециклаже се вишеструко исплате и овај индустријски сектор добија широм света све већу социјалну и еколошку улогу. Од посебног значаја је подршка и развој образовања становништва о важности сакупљања текстилног отпада и препознавању потребе за његовим рециклирањем. Одговорност за поновну употребу, рециклажу и одлагање текстилних производа на крају њиховог животног циклуса морају поделити произвођачи, потрошачи и друштво кроз одговарајуће законодавство и његову доследну примену и кроз едукацију свих учесника у животном циклусу текстилних производа [35].

Главни допринос произвођача одеће у рециклажи састоји се од сортирања отпада, јер само сортирани отпад може поново да се искористи. У зависности од финалне употребе текстилног отпада јавља се потреба за различитим начинима сортирања, на пример, по боји, сировинском саставу и/или типу текстилног материјала. Текстилни отпад се сортира према сировинском саставу и боји да би могао да се рециклира путем кидања, сечења и развлакњивања и у стању влакана се опет враћа у процес предења, да би касније прошао и процес ткања или плетења. Ово је посебно битно текстилним предузећима која имају заокружени процес производње, од влакана до конфекцијског производа. Уколико текстилни материјал није сортиран према сировинском саставу и боји, може се рециклирати као пелц и применити у грађевинарству као материјал за

изолацију или као материјал за појачање бетона, затим у аутомобилској индустрији (композитни материјали, неткани текстил за унутрашње облоге), и у индустрији намештаја као материјал за душеке или за тапацирање. Може се користити и као пелц за једнократно упијање нечистоћа растворљивих у води или у уљу [31].



Слика 2. Пирамидални модел класификације текстилног отпада за рециклажу према категоријама

Процес сортирања подразумева уклањање тешких одевних производа као што су капути и њебад, затим сортирање по категоријама као што су панталоне, блузе и слично. Осим сортирања према сировинском саставу и боји може се извршити сортирање и према стању и квалитету производа. Покидани, оштећени или прљави производи одвајају се од оних који су још погодни за ношење. Одређене марке и стилови као на пример Levi's, Tommy Hilfiger, сортирају се одвојено зато што припадају групи такозваних „дијаманата” који постижу високе цене на тржишту. У данашње време све више се намеће потреба за сложенијим начинима сортирања. На слици 2 приказан је „Пирамидални модел класификације текстилног отпада за рециклажу према категоријама” [16,22,36] односно, сортирање текстилног отпада према запремини. Категорије сортирања укључују различите врсте текстилног отпада који се извози у земље у развоју, текстилни отпад конвертиран у нове производе и отворена рециклажа у редизајну, отпад сечен као крпе за брисање и полирање, депоновање и спаљивање за добијање топлотне енергије и, на самом врху пирамиде, „дијаманти”. Може се приметити да је запремина отпада обратно пропорционална квалитету. Највећи део постпотрошачког отпада сачињава „second hand” одећа, учешће ове највеће категорије

према запремини је 48%. Нови конвертовани производи заступљени су са 29%, крпе за брисање и полирање са 17%, а „дијаманти” са 1 - 2%.

Начин на који произвођачи третирају текстилни отпад, односно његова припрема за продају компанијама за рециклажу у великој мери утиче на процену његове вредности. Grasso (1995.) [37] наглашава значај сортирања и паковања отпада од кројења, као и чињеницу да он мора бити чист, без других предмета да би се на њега гледало као на вредан ресурс. Према њему балирање отпада у бале прописаних димензија уместо сакупљања у кутије ствара битну разлику за купце отпада, односно повећава његову вредност. Балирање је бољи начин паковања отпада намењен за продају у односу на паковање у пластичиним врећама. Осим сортирања и паковања други предуслов за поновну употребу отпада је транспорт. Транспорт отпада детерминисан је локацијом фабрике. Расположиве могућности у односу људских ресурса исто тако имају утицај на операције сакупљања и сортирања отпада.

У нади да се пронађе идеална шема за рециклажу текстилног отпада, практични процес ће највероватније бити одређени компромис у погледу еколошке користи и трошкова. Имајући у виду хетерогеност текстилног отпада, за развијање енергетски ефикасних и јефтинијих процеса рециклаже неопходно је: сарадња између текстилне и индустрије одеће и законодавства, адекватни ресурси, пуно рада, стрпљења и времена.

За оцену остварљивости рециклаже текстилног отпада мора се одговорити на следећа питања [36]:

- **Да ли је количина текстилног отпада довољна да обезбеди континуитет процеса рециклаже?**
- **Да ли уштеда енергије и загађење од самог процеса рециклаже надилазе алтернативе као што је употреба чистих сировина?**
- **Да ли производ има тржишну одрживост и конкурентну цену?**

2.1.2.1. Технологије и поступци рециклаже текстилног отпада

Технологије рециклаже подељене су на: примарне, секундарне, терцијарне и кварталне. Примарне технологије односе се на рециклажу производа у његовој оригиналној форми, секундарне на топљење пластичних производа и претварање у нове са нижим степеном физичко - механичких и хемијских карактеристика. Терцијарне технологије односе се на процесе као што су пиролиза или хидролиза, односно конверзија пластичног отпада у основне хемикалије или у гориво. Кварталне

технологије су процеси паљења влакнастог отпада и искоришћавање тополотне енергије за грејање. Све ове технологије постоје код рециклаже текстилног отпада. Рециклажа чврстог текстилног отпада може бити разматрана као механичка рециклажа, хемијска рециклажа и компостирање.

Механичка рециклажа текстилног отпада може се извести на више начина у зависности од тога у каквом ће облику бити крајњи производ. Према томе постоје:

Текстил у материјалу. Преко процеса претварања отпадних материјала у нови производ бољег квалитета одређени текстилни материјали који се више не употребљавају за одећу користе се у алтернативним производима као на пример, навлаке за седишта, материјал за ташне, торбе и ципеле. [11]

Текстил у предиву. Предива произведена од постпотрошачког или текстилног отпада пре употребе показују инфериорне карактеристике у односу на предива од оригиналних влакана. Ова предива су обично неједнака по боји, садрже влакна различитих дужина, имају слабије физичко - механичке карактеристике и генерално се не користе поново за производњу одеће или тканина за домаћинства, него за тепихе, патоснице, или као технички текстил. Код ових производа неопходна је извесна количина нових влакана (10 - 15%) као додатак да би се задовољили потребни минимални критеријуми за квалитет производа. Од ових предива добијају се тканине које се користе код филтрацијских система.

Код влаченог предења вуне може се додати одређена количина рециклираних влакана од рециклираних тканина или плетенина. Добијено предиво на овај начин зове се техничка вуна или вунен регенерат. Регенерати се разликују по квалитету. Најквалитетнији регенерат је „shodi” (шоди) добијен од вунених плетенина. „mungo” (мунго) регенерат се добија од вунених тканина, а најлошијег квалитета је „alpaka” (алпака) или екстрат регенерат. Дужина влакана код шоди регенерата је до 20 mm и може да се преде, док је дужина код мунго регенерата до 15 mm [38].

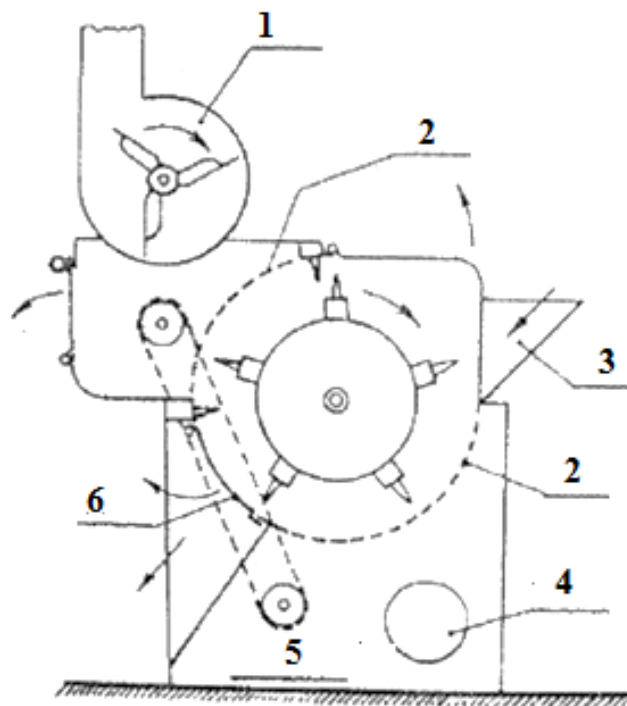
Текстил у влакну. Велики део рециклираних влакана употребљавају се за производњу нетканог текстила. Светска производња овог типа нетканог текстила процењена је на 4.4 милиона тона у 2004. г., док се у 2009. г. бележи пораст на 6.3 милиона тона. Преко 60% овог текстила користи се за душеке, за тапацирање, патоснице, тепихе (тафтинг технологија) и у аутомобилској индустрији (најчешће за звучну изолацију). Постоје и друга мања подручја примене, као на пример, хортикултурне корпе и за термичку изолацију у грађевини. Много је мања количина рециклираног

текстила у нетканом текстилу са истим сировинским саставом, бољим карактеристикама новог производа и задржаним физичко - механичким карактеристикама [11,16,22].

Механички поступак рециклаже текстилног отпада

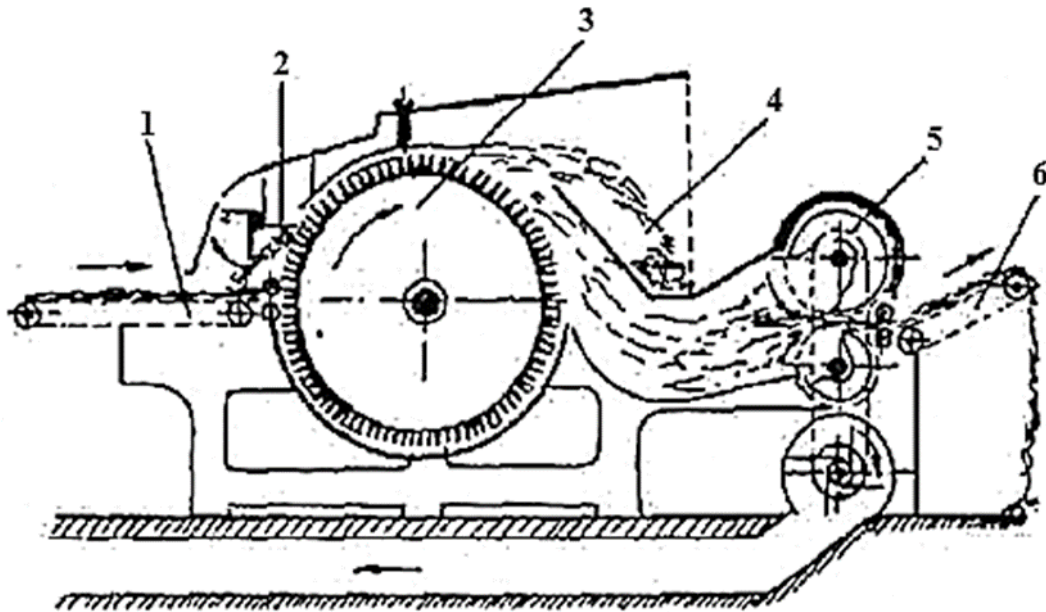
Код механичког поступка је посебно важно на почетку извршити класификацију (сортирање) отпада. Отпади се прво сортирају према сировинском саставу на памучне, вунене и мешавине. Затим се деле на тканине: чешљане, влачене, ваљане (филцане), и на плетенине: лаке, средње, тешке. У следећем кораку сортирање се прави на основу боје, изношености и степена оштећености отпада. Пре механичког дела обраде отпади се дезинфикују и одстрањују се чврсти предмети. Целулозне примесе се одстрањују карбонизацијом (обрада са киселином на 100°C) [39].

Текстилне отпатке треба прво исећи на мање комаде. За сечење се користи машина са ротационим и фиксним ножем. Брзина се подешава према потреби, а продукција машине је око 1000 kg/h. Исецкани комади имају дужину од 5 - 20 cm. Када је реч о вуненим тканинама или плетенинама, у првом стадијуму се врши тресење и прање отпадака. Ако се нечистоће углавном састоје од прашине, онда је довољно отпад исецкан у комадима само протрести на машини за тресење крпа која има задатак да одстрани прашину као и остале чврсте примесе (Слика 3).



Слика 3. Машина за тресење крпа
1 - ексхаустор, 2 - решетка, 3 - довод материјала, 4 - довод ваздуха, 5 - нечистоће,
6 - одвод

Машина има комору у којој се налази бубањ са зупцима у 5 редова који узајамно делују са непокретним зупцима поређаним у два реда на зидове коморе. На зидовима коморе се налазе два левка, један да додаје, а други да одводи текстилни отпад. Зидови коморе су у виду решетке (2) кроз коју падају чврсте нечистоће (5), док ексхаустор (1) одводи прашину.

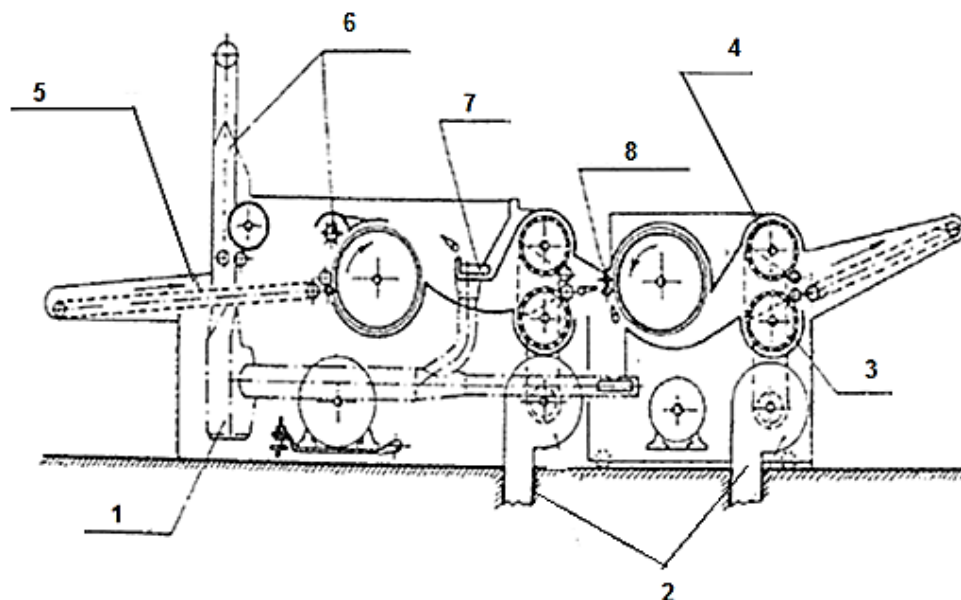


Слика 4. Машина за рашчупавање вунених крпа

1 - бесконачна трака, 2 - ребрасти цилиндри, 3 - челични зупци, 4 - комора, 5 - бубњеви, 6 - одводно платно

У случају вунених отпадака следећа етапа је машћење. Потребно је 4 - 15% масноће припремљене са водом у односу 1:1 до 1:3. Машћење смањује трење између влакана и повећава њихову еластичност. Памучне, ланене и крпе од хемијских влакана рашчупавају се (отварају) у сувом стању. Машина за отварање старих вунених крпа приказана је на слици 4. Припремљене крпе стављају се у виду равномерног слоја на бесконачну траку (1) која их носи до ребрастих цилиндара (2). Ови цилиндри додају крпе ка бубњу са јаким челичним зупцима (3). Бубањ се врти великом брзином тако да зупци раскидају укљештене крпе које полако додају доводним цилиндрима. Крпе које нису добро „отворене“ иду у комору (4), док се влакна таложе између ситастих бубњева (5) и у виду бесконачног слоја преко одводног платна (6) се одводе из машине. На слици 5 приказана је машина за рашчупавање текстилних отпадака и предива. Машина се састоји од следећих делова: бескрајна трака за довод материјала, пар доводних ваљака, бубањ с јаким челичним зупцима, уред за враћање делова нерашчупаних крпа, лим за

подешавање финоће влакана, фиока за веће комаде крпа, шупљи ваљци за формирање влакнастог слоја и ексхаустор за одвод ваздуха заједно са прашином.



Слика 5. Машина за рашчупавање крпа и предива од фирме „Vefame”
1,2 - ексхаустори, 3, 4 - шупљи ваљци, 5 - доводна трака, 6 - враћање делова крпа,
7 - попречна трака, 8 - додавачи

Бесконачна трака и доводни ваљци имају 8 брзина које се могу подешавати према типу отпада. Браздасти доводни ваљци раде под притиском што омогућује чврсто држање крпа у току рашчупавања. Недовољно рашчупане крпе падају у фиоку и помоћу центрифугалне силе аутоматски се одводе. Рашчупани се материјал помоћу ваздушне струје води испод фиоке и остаје на површини шупљих ваљака кроз које струји ваздух. На површини ових ваљака формира се влакнасти слој.

Хемијска рециклажа текстилног отпада

У овом подручју вреди поменути напоре рециклаже целулозних и полиестерских материјала. Експериментални процес хемијске рециклаже целулозе са јонизирајућим течностима још увек је у фази развоја. Приликом рециклаже јонизирајуће течности разграђују целулозу из отпада али омогућују и поновно добијање целулозе од разграђених супстанци. Главни недостатак овог процеса је веома висока цена јонизирајућих течности. Последњих година расте интерес за хемијску рециклажу полиестерских материјала. „Ecosensor” је производ добијен од хемијски рециклираног полиестерског материјала. Процес хемијске рециклаже раздваја полимере полиестерских производа на њихове саставне мономере, а затим се они полимеризирају

да би се поново произвео нови полиестерски полимер. Овако добијени производи могу се користити као материјал за радне униформе, поставе и слично [40].

Компостирање

Компостирање је специјализовани тип рециклаже, односно природни процес разлагања и рециклирања органске материје и њеног претварања у крајњи производ који се назива компост. Асоцијација за органску рециклажу (AFOR - Association for Organics Recycling) дефинише компостирање као: „Процес контролисаног биолошког разграђивања биоразградивих материја у контролисаним условима, претежно аеробним, и дозвољава развијање термофиличне температуре као резултат биолошки створене топлоте” [10]. Основна разлика између процеса компостирања и природног разлагања јесте у томе што је процес компостирања контролисан процес. Компост је чврста материја настала као резултат компостирања која има позитивне ефекте за земљиште и може се користити као оригинални додатак за поправку физичких, хемијских и биолошких особина земље. Компост повећава капацитет земље за задржавање воде и ствара боље услове за развој кореновог система биљака. Генерално, само материјал органског порекла може да се компостира, [31]. Да би се компостирао материјал мора да буде биоразградив, што у суштини значи да треба да се разгради 90% у току 6 месеци. Деградација је процес разградње структуре материјала на конститутивне елементе преко физичких, хемијских и биохемијских процеса. Када се процес деградације одвија под утицајем живе материје, нарочито микороорганизама, зове се биодеградација или биоразградња [41].

Биодеградација материјала тече у три фазе: биодетериорација, биофрагментација и асимилација. Биодетериорација материјала је резултат више фактора, као на пример: механичка деградација, деградација под утицајем влаге, кисеоника, УВ светлости и загађивача околине. У току ове фазе се на површини материјала нагомила велики број микроорганизама. Биофрагментација је процес у коме се под дејством секрета, ензима и слободних радикала раскидају макромолекуле до олигомера, димера и мономера. У задњем кораку – асимилацији се ствара нова биомаса, гасови и минералне соли.

Материјал сматрамо комплетно биоразградивим ако су крајњи продукти разградбе угљен диоксид, вода и минерали, док интермедијарни продукти садрже биомасу [42]. Биодеградација зависи од хемије полимера и утицаја околине. Најважнији фактори у процесу биоразградње полимера су [43]: присуство микроорганизама, присуство кисеоника, количина воде, температура, рН, електролити и сл.

Биодеградација материјала мери се квантитативно стандардном тест методом EN 14046 односно ISO 14045. Према њој органски материјал после три месеца треба да има мање од 10% честица са димензијама већим од 2 mm да би се сматрао биоразградивим. Материјал који је биоразградив није аутоматски и материјал за компостирање [10].

Текстилни материјали од природних влакана (памук, вуна, свила и сл.) састоје се од органских материја биолошког порекла. Ови материјали су биоразградиви и за њих је текстилна индустрија развила такозвану „одећу за компостирање”.

Текстилни материјали од синтетичких влакана нису биоразградиви и не могу се користити за компостирање. Ови материјали избачени као отпад на депонијама остају неразграђени правећи штету околина [31].

2.1.3. Пракса поступања са текстилним отпадом

У економски развијеним земљама, већина текстилног отпада је постпотрошачки отпад који долази из домаћинства, док је удео отпада пре употребе у укупној количини текстилног отпада маргиналан. Због тога се код њих највише пажње обраћа на сакупљање и сортирање постпотрошачког отпада. Највећи проценат овако сакупљеног отпада рециклира се на тај начин што се продаје у сиромашним земљама као половна одећа.

У Великој Британији [11] се бележи константан раст обима сакупљеног текстила за поновну употребу и рециклажу. У 2008. г. ова количина износила је 523.000 тона у поређењу са 2004. г., 324.000 тона. Количина укупног рециклираног текстила у Великој Британији у 2008. г. износила је 28.000 тона. Највећи део овог материјала рециклиран је у материјал за пуњење душека, тапазирање, патоснице, за аутомобилску индустрију и за термичку изолацију у грађевинарству.

У Јапану [11] се сваке године сакупља приближно око 1 милион тона старе, изношене одеће од које се само 12% регенерише на неки начин. Карактеристика рециклаже је развијени систем рециклаже полиестерских материјала, такозвани „ECOCIRCLE TM”, односно хемијска рециклажа.

У Сједињеним Америчким Државама [44] има 500 компанија за рециклажу текстилног отпада. Индустрија рециклаже запошљава 10.000 полуквалификованих радника на примарном нивоу и још 17.000 у завршним фазама процеса. У 2007. г. у САД је регистровано 11.9 милиона тона текстилног отпада. За САД и Велику Британију

карактеристична је рециклажа патосница и тепиха, што је резултат великих количина овог отпада.

Генерално, главни метод елиминације текстилног отпада у Европи је сагоревање, зато што Европски парламент резолуцијом о стратегији рециклаже забрањује закопавање отпада који се може рециклирати, а такав је и текстилни отпад [45].

Депоније су официјално затворене у Француској, а исти тренд постоји и у Немачкој. Изузетак је Велика Британија где се још увек 70% отпада баца на депоније. Трошкови сагоревања текстилног отпада у европским земљама расту, на пример у Холандији су трошкови порасли за 40% у периоду од 5 година. Белгија је земља с највећим трошковима за сагоревање текстилног отпада, приближно око 150 еура по тони отпада.

За разлику од других европских земаља (Француска, Немачка, Шпанија, Белгија) у Пољској се примећује пораст рециклаже са стопом од 10 - 20% на годишњем нивоу.

У Француској постоји законска обавеза произвођача да обезбеде рециклажу сами или преко француске агенције за заштиту околине и управљање енергијом. Федерација рециклирачких индустрија у Француској броји око хиљаду чланица и формирана је да би помогла у третману текстилног отпада. Она сарађује са свим субјектима, пре свега са произвођачима текстила и надлежних власти (влада и министарства). У 2006. г. 700.000 тона различитих текстилних производа пласирани су на француском тржишту (11 kg/по становнику). Исте године скупљено је 106.000 тона текстила (1.7 kg/по становнику). Треба нагласити да је скоро половина ове количине, 52.000 тона, био сортирани отпад [46].

Велики производни капацитети за производњу текстила и одеће налазе се у земљама у развоју. Као пример размотрићемо праксе поступања са текстилним отпадом у Турској, Литванији и Јужној Африци. Селекција ових земаља извршена је на основу два критеријума: они су велики текстилни произвођачи у својим регионима и имају сличну вредност БДП-а са Македонијом. У 2011. г. БДП Македоније по становнику износио је 10.496 \$, у Турској 14.095 \$, у Литванији 19.125 \$ и у Јужној Африци 10.970 \$ [47].

У 2008. г. у Турској [48] 62% текстилног отпада је било продато компанијама за рециклажу, док је само 16% завршило на депонијама. Последњи извештаји показују да је 2009. г. укупна количина текстилног отпада била 884.890 тона од којих 458.484 тона отпад текстилне индустрије, а 426.406 тона из домаћинстава. У сировинском саставу преовлађују памук 29% и полиестер 24%. У 2008. г. 287.105 тона текстилног отпада

завршило је на турским депонијама, што је 2.62% од укупне количине чврстог отпада. Нема података да је овај отпад спаљен или компостиран.

Анализа текстилног отпада у Литванији [28] показује различит проценат искоришћавања сировина из текстилне и производње одеће, са 0.7 - 10% и 3 - 20% респективно. У сировинском саставу литванијског отпада доминирају природна влакна (памук, лан и вуна - 47%), као и мешавине памук/полиестер, памук/полиакрилонитрил и вуна/полиакрилонитрил - 41%). Отпад вештачких и синтетичких влакана износи само 13%. Само 12.1% текстилног отпада се рециклира. Компанијама за сакупљање текстилног отпада продато је 14.4%, компанијама за рециклажу 24.7% а индивидуалцима 0.8%. Само 0.1% отпада се донира, док се највећи део избацује на депоније, 47.6%

Истраживања о управљању конфекцијским отпадом у Јужној Африци [24] показују да највећи део произвођача 62.1% баца отпад на депоније, док само 7.6% продаје свој отпад. Недостатак опреме и технологије идентификовани су као кључне баријере рециклаже. Пажњу заслужује и чињеница да су трошкови за одлагање отпада на депоније мањи од 5% оперативног буџета компаније.

У свим земљама са развијеном текстилном прозводњом ствара се велика количина текстилног отпада пре употребе. Македонија се убраја у земље са развијеном текстилном индустријом, тачније конфекцијском, као резултат чега се стварају велике количине конфекцијског отпада. Управљање текстилним отпадом детерминисано је Законом о управљању текстилним отпадом [49] и националном стратегијом за управљање текстилним отпадом [50]. Ови документи одражавају националну политику у домену управљања отпадом и представљају основу припреме и спровођења ефикаснијег, интегралног система управљања отпадом који је ефективнији у односу на трошкове. Главни циљеви националне стратегије су: превазилажење неприхватљиве ситуације у животној средини, потпуна контрола токова отпада и увођење технологије чисте производње и одрживог управљања природним ресурсима и отпадом. Основни принципи Националне стратегије за управљање текстилним отпадом већ су поменути принципи савременог начина управљања отпадом прихваћени европском регулативом. Стратешким документима о управљању текстилним отпадом предвиђа се реорганизација конфекцијских предузећа, сортирање отпадака и рециклажа текстилног отпада у самим предузећима. Македонија у сагласности са процесом о интеграцији у Европску Унију усаглашава своје законе са европским регулативима. Због тога Министарство животне средине и просторног планирања (МЗЖПП), инсистира на

примени Интегрисане производне политике, (ИПП) која доприноси заштити животне средине. Ова политика је релативно нова и у земљама ЕУ, а њен циљ је: обухватити читав животни циклус производа или услуге (начин коришћења и начин поступања са производом после коришћења.).

Еколошка ознака је један од инструмената за примену ИПП која доприноси смањењу штетног утицаја на животну средину проузроковану животним циклусом производа и услуга. Пратећи искуства из земаља ЕУ у доношењу еколошких критеријума Македонија је усмерена ка постављању шема о еколошким ознакама производа и услуга. Ово је од посебног значаја имајући у виду да је скоро читав текстилна производња намењена извозу. Циљ успостављених еколошких шема је охрабрити произвођаче да производе и пласирају на тржиштима еколошке производе. За успешну примену еколошких критеријума неопходно је спровођење кампање за јачање јавне свести грађана и потрошача, што ће се спроводити на три нивоа [51]:

- упознавање произвођача са предностима које могу имати увођењем еколошких критеријума у процес производње,
- упознавање грађана са предностима еколошки означених производа и услуга и
- упознавање трговаца и трговачке мреже са значењем еколошки означених производа.

У овом контексту треба нагласити и могућност коју даје закон о јавним набавкама који увек даје предност производима са еко ознаком.

Ниска свест о савременим праксама и технологијама управљања отпадом ,као и недовољан капацитет постојећег тржишта за рециклиране производе доприносе томе да је рециклажа текстилног отпада на маргиналном нивоу.

Неопходна је интервенција у текстилној индустрији због превазилажења препрека ка бољем менаџирању текстилног отпада. Потребна је широка акција, јачање свести произвођача о економском и еколошком бенефиту сакупљања, сортирања и продаје текстилног отпада.

Једна од препрека у ефикаснијем менаџирању текстилног отпада је недостатак научних истраживања о тачној количини овог отпада и његова карактеризација у односу на сировински састав, што је главни предуслов за било какву иницијативу; на пример, оцена могућности континуитета рециклаже. Исто тако, нико се није бавио истраживањем субјективних фактора у односу на поступања са текстилним отпадом. На

пример, ставови конфекцијских менаџера према сортирању отпада као услов за његово даље искришћавање.

С обзиром на овакву ситуацију, крајњи резултат је губитак вредног ресурса као што је конфекцијски отпад (отпад од кројења), новог и чистог материјала који не тражи никакав третман пре рециклирања. Стварање новог производа од рециклираног текстила увек је добра алтернатива за искоришћавање текстилног отпада.

2.1.4. Стварање новог производа од рециклираног текстила

Постоји више могућности за развијање нове примене рециклираног текстила.

Текстилна влакна за јачање грађевинских материјала

Бетон је један од најчешће употребљаваних грађевинских материјала у свету. Иако има одличне карактеристике компресије, генерално је слаб на савијање, има ниску еластичност и слабо апсорбује енергију. Са додатком малих количина најлонских и полипропиленских влакана (0.2 – 2% од укупне масе) побољшава му се способност савијања. Истраживања су показала да се најлон и полипропилен, који се уобичајено користе за ћилиме и патоснице, не разграђују под дејством алкалности бетона. Димензије влакана су важне за њихову примену, а што је влакно дуже бетон има бољу савитљивост [11].

Истраживања [52] показују да постоји могућност коришћења конфекцијског отпада од синтетичких, нарочито од полиестерских тканина, за израду глинених цигала у грађевинарству. Испитивања су извршена додавањем кројних отпадака тканина од мешавине полиестер/памук, полиестер/вискоза и чисте полиестерске тканине у глиненим циглама, (Слика 6). Конфекцијски отпад синтетичких тканина исечен је на комаде (Слика 6 а). Цигле које садрже 20 g отпада полиестерске тканине иситњене у малим комадима имају до 45% већу јачину, док се апсорпција воде знатно смањује.



а - текстилни отпад



*б - мешање са глиеном
масом*



в - обликовање

Слика 6. Примена отпада од кројења синтетичких тканина за израду цигала, [52]

Текстилна влакна за јачање земљишта

Геотекстилни материјали се већ дуго време употребљавају за јачање земљишта при изградњи путева. Текстилна влакна додата у земљиште имају позитиван ефекат јер повећавају његове кохезионе особине. Постоји доста успешних примера употребе изворног и рециклираног полиестера и полипропилена за јачање земљишта и песка. [53,54,55,56].

Системи за филтрацију

Рециклирани текстил који се користи за производњу неких нетканих текстилних структура погодан је и за филтрацијске системе. Они имају велику контактну површину, а влакна се могу површински третирати специфичним хемикалијама [11].

Звучна изолација у аутомобилској индустрији

Аутомобилска индустрија је важан потрошач рециклираног текстила у форми нетканог текстила. Текстилни материјали се употребљавају у аутомобилима за побољшање комфора, за топлотну изолацију, побољшања дизајна, већу сигурност возила, а најчешће за изолацију звука. Текстил представља само 3% сировина које се уграђују у аутомобиле, али с обзиром на велики број возила у свету, постаје јасно да је аутомобилска индустрија велико потенцијално тржиште. Од укупне количине нетканог текстила у аутомобилској индустрији за звучну изолацију се користи 17%, за патоснице 43%, пртљажнице 13%, заштитне навлаке 10%, седишта 6%, навлаке горњег дела унутрашње стране возила 3%, врата 1% и остало 1% [57].

Топлотна и звучна изолација зграда

Једна од најинтересантијих примена рециклираних текстилних влакана је термичка и звучна изолација зграда. На тржишту већ постоје комерцијални изолациони материјали од рециклираног текстила у облику панела или ролне са различитим дебљинама који се могу користити за изолацију зидова, плафона и кровова. Највећи део ових производа су од рециклираног текстила на бази памучних влакана [11].

Табела 1 приказује сумарно главне баријере и бенефит горе наведених нових производа од рециклираног текстила.

Дизајнирање и производња новог производа за изолацију грађевинских објеката од текстилног материјала је комплексан проблем који захтева интердисциплинаран приступ. Први услов за његово решавање са једне стране је детаљно познавање структурних и физичких карактеристика текстилних материјала и познавање физичких карактеристика класичних изолационих материјала са друге стране.

Табела 1. Баријере у производњи и бенефит нових производа од рециклираног текстила, [11]

Производ	Баријере	Бенефит
Текстилна влакна за појачање бетона	Више одговара постиндустријски отпад него патоснице Примењују се само полипропиленска и најлонска влакна	Бетонске структуре су дуготрајне
Текстилна влакна за појачање земљишта	У неким земљама стандарди дозвољавају примену производа од текстилног отпада у геотекстилу	Може се употребити отпад од патосница и тепиха Исецкани отпад може се мешати са земљиштем стандардним методама
Филтрацијски системи	Само јефтинији производи су прихватљиви	Могу се користити структуре нетканог текстила
Топлотна и звучна изолација у аутомобилској индустрији	Гранулација ПВЦ производа	Велики обим тржишта
Топлотна и звучна изолација зграда	Континуирани извор материјала за рециклажу	Постоје на европским тржиштима Једноставан процес уградње Нема потребе за заштитном опремом код инсталације

Затим треба решити проблем технологије производње новог производа. Неопходан предуслов је познавање механизма преноса топлоте и звука кроз текстилне материјале и структуре израђене од њих.

Ако нови прозвод задовољава основне стандарде за изолационе материјале у погледу топлотне и звучне изолације, на крају се мора оценити његов утицај на околину и здравље људи.

2.2. ТОПЛОТНЕ И АКУСТИЧКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ МАТЕРИЈАЛА

2.2.1. Топлота, трансфер топлоте

Топлотне или термичке карактеристике неког материјала манифестују се као резултат узајамног дејства његове структуре и топлоте. Топлота је кретање атома супстанце у узбуђеном стању. Трансфер топлоте сличан је трансферу било ког флуида, с места веће према месту с мањом концентрацијом. Ово за топлоту значи да она спонтано - природним путем, увек прелази с тела више на тело ниже температуре. Дифузија топлоте одвија се све док се не постигне топлотна равнотежа која се манифестује једнаком температуром сваког места мерне области [58]. Основне физичке величине које одређују размену топлоте између два тела су: количина топлоте и температура. Док количина топлоте коју тело поседује представља прост збир кинетичке енергије свих молекула тела, температура је одраз интензивности њиховог кретања. Два тела у физичком контакту размењују енергију (топлоту) све док се интензивност кретања њихових молекула (температура) не изједначи, односно температурна разлика је погонска сила за размену топлоте међу њима. Као и код других типова енергије, за размену топлоте између неког тела и околине важи познати топлотни биланс:

$$Q_{\text{доведена}} - Q_{\text{одведена}} = Q_{\text{акумулирана}} \quad (1)$$

Уколико је доведена количина топлоте већа од одведене, акумулација је позитивна, тело се загрева, а ако је ситуација обрнута, акумулација је негативна, тело се хлади. Количина топлоте коју треба довести или од тела одвести да би му се температура променила за јединицу температурне скале назива се топлотним капацитетом тела - C (J/K) (J/°C).

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \quad (\text{J/K}) \quad (\text{J/kg}^\circ\text{C}) \quad (2)$$

Специфични топлотни капацитет (специфична топлота) представља топлотни капацитет сведен на јединицу количине тела:

$$c = \frac{Q}{m\Delta T} \quad (\text{J/kg K}) \quad (\text{J/kg}^\circ\text{C}) \quad (3)$$

На основу горњих дефиниција може се израчунати количина топлоте Q коју прими тело масе m , односно масена количина топлоте, ако се његова температура промени од T_1 до T_2 :

$$Q = mc(T_2 - T_1) \quad (\text{J}) \quad (4)$$

Са теоријског аспекта постоје три основна механизма размене топлоте: **радијација** (зрачење), **кондукција** (провођење) и **конвекција** (струјање) који се у пракси тешко

јављају у чистом облику. Најчешће су сва три механизма истовремено заступљена, а у одређеним ситуацијама један од њих је доминантан, што олакшава прорачун [59].

Радијација је трансфер топлоте с једног објекта на други кроз празан простор, вакуум или други медијум. Можемо стајати на извесном растојању од ватре, али ипак осећамо њену топлоту. Она долази до нас преко радијације. У основи топлотна радијација је трансфер топлоте помоћу електромагнетних таласа, који имају исту природу као и видљива светлост, x – зраци и радио таласи, али различиту таласну дужину. Када се говори о радијацији стално се помиње термин „црно тело”. То је објекат (није неопходно да буде црне боје) који апсорбује топлоту 100%, а затим је емитује, исто тако 100%. Реално не постоји црно тело, али су неки објекти, као на пример звезде, близу ове дефиниције. Захваљујући радијацији примамо топлоту сунца.

За емисију топлоте црног тела преко радијације важи Стефан - Болцманов закон, који тврди да је укупна количина енергије коју идеално црно тело зрачи директно пропорционална са четвртим степеном термодинамичке температуре T :

$$E_b = \sigma FT^4 \quad (W) \quad (5)$$

где је:

σ – Стефан - Болцманова константа $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ (W/m}^2\text{K}^4\text{)}$,

F – површина тела (m^2).

Радијација реалних тела је увек мања у односу на апсолутно црно тело (идеални апсорбер и емитер). За реална тела важи релација:

$$q = \varepsilon E_b = \varepsilon \sigma T^4 \quad (6)$$

где је:

q – радијациони флуks,

ε – релативна емисиона способност тј. емисивност, са вредностима у границама од 0 – 1.

Ако се разматра реално тело емисивност је увек мања од 1 [58].

Кондукција је пренос топлоте из једног дела тела на вишој температури у други део истог тела на нижој температури или између два тела са различитим температурама у директном физичком контакту. Код кондукције пренос топлоте се остварује директним контактом честица. Примарни пренос енергије одвија се еластичним сударима код флуида, слободном дифузијом електрона у металима или вибрацијом фотона код изолатора. Значи, топлота се преноси кондукцијом када суседни атоми вибрирају један у односу на други или електрони прелазе с једног атома на други. Кондукција је већа код

чврстих тела где су атоми у сталном контакту, док су у гасовима молекули на већим растојањима, што смањује могућност судара, а тиме и трансфер топлоте. Емпиријски закон топлотне кондукције познат је као Фуријеов (Fourier - ов) закон. Фуријеов закон [58,59] показује да је густина топлотног флукса – q једнака производу коефицијента топлотне проводљивости – λ и негативног температурног градијента – ∇T . Густина топлотног флукса је количина енергије која пролази кроз јединицу површине у јединици времена.

$$q = -\lambda \cdot \nabla T \quad (7)$$

Негативни знак је због чињенице да се топлота увек креће у правцу ниже температуре.

У најједноставнијем облику Фуријеов закон се може написати:

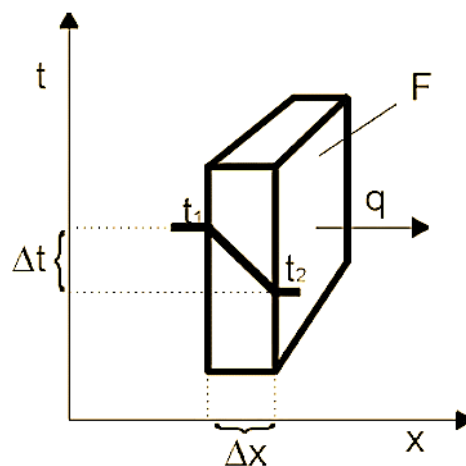
$$q = -\lambda \frac{dT}{dx} \quad (8)$$

или:

$$Q = \lambda F \frac{\Delta t}{\Delta x} \quad (9)$$

$$q = \lambda \frac{\Delta t}{\Delta x} \quad (10)$$

Топлотни проток кроз раван зид (Слика 7), [58,59] је пропорционалан површини зида – F и разлици температура са обе стране зида – Δt , а обратно пропорционалан дебљини зида – Δx .



Слика 7. Топлотни проток кроз раван зид, [59]

Термин „зид” се може схватити и дословце, на пример, као зид од метала, бетона и слично, али и као слој флуида, где је:

q – топлотни флукс у позитивном x правцу (W/m^2),

dT/dx – температурни градијент,

Q – топлотни проток кроз површину F у x правцу (W),

F – површина (m^2),

λ – коефицијент топлотне (термичке) проводљивости, најчешће се једноставно зове топлотна проводљивост (W/mK).

Конвекција је пренос топлотне енергије у флуидима или између чврсте површине и флуида. Што се флуид брже креће, то више расте пренос топлоте конвекцијом. Ова констатација важи и за пренос топлоте између чврстог тела и флуида. Ако је кретање флуида проузроковано неким средством, пумпа, фен или слично, конвекција је принудна, ако је узрок температурна разлика онда је природна или слободна. Када се топлотни трансфер одвија између чврсте површине и суседног флуида важи Њутнов (Newton - ов) закон хлађења [58]:

$$q = h(T_w - T_f) = h\Delta T \quad (11)$$

где је:

q – топлотни флуks са топлотне зида ка хладном флуиду (W/m^2),

ΔT – температурна разлика између површине зида и флуида (K),

h – коефицијент топлотног преноса (W/m^2K),

T_w – температура чврстог тела (зида) (K),

T_f – температура флуида (K).

Процес размене топлоте је стационаран када у једнаким временским интервалима с једног на друго тело прелази једнака количина топлоте па топлотни проток није функција времена, а нестационаран је уколико се топлотни проток мења с временом. Стационарне промене разматрамо кад нас не интересује посматрани систем у току времена, него само коначни резултат. У случају преноса топлоте то би значило да нас интересују само коначни резултати дистрибуције температуре у неком телу (где је успостављена топлотна равнотежа између топлоте која улази и излази из њега) али, не и како је до те равнотеже дошло. Услов стационарности испуњен је када нема промене у току времена:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = 0 \quad (12)$$

За случај дводимензионалног преноса топлоте у стационарном стању (без расипања) једначина се своди на:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0 \quad (13)$$

што је Лапласова парцијална диференцијална једначина у две димензије. Једнодимензионални случај преноса топлоте представља упрошћавање које се користи код практичне анализе преноса топлоте кроз плоче, зидове и слично. У једној димензији Лапласова парцијална диференцијална једначина добија облик [60]:

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} = 0 \quad (14)$$

Учешће сваког од појединачних начина преноса топлоте (кондукција, конвекција и радијација) код влакнастих материјала (у које спадају и текстилни материјали) је различито и зависи од услова њихове примене. Модел топлотног трансфера код влакнастих изолационих материјала највише одговара такозваном „хомогеном цилиндру”. Дужина влакана у поређењу са њиховом дебљином (која износи само неколико микрометара) је много већа, тако да претпостављамо да је влакно цилиндар бесконачне дужине. У влакнастим материјалима трансфер топлоте догађа се на 4 начина [61]:

- кондукција кроз чврсти медијум (влакно),
- кондукција кроз гас (заробљени ваздух између влакана),
- конвекција кроз гас (заробљени ваздух између влакана) и
- радијација као резултат температурне разлике између влакана и ваздуха.

Као резултат овога јављају се следећи коефицијенти топлотне проводљивости:

λ_s – коефицијент кондукције за влакна,

λ_g – коефицијент кондукције за гас,

λ_{conv} – коефицијент конвекције за гас,

λ_r – коефицијент радијације.

Комбинацијом λ_g и λ_s добија се укупни коефицијент кондукције, λ_{cond} .

$$\lambda_g + \lambda_s = \lambda_{cond} \quad (15)$$

Према томе, укупни коефицијент топлотног трансфера λ_{tot} биће

$$\lambda_{tot} = \lambda_{cond} + \lambda_{conv} + \lambda_r \quad (16)$$

Код текстилних производа који су мешавина влакана и ваздуха или влакана и воде, ако су мокри, трансфер топлоте се дешава, углавном, кондукцијом кроз материјал и ваздух у њему [62,63]. Конвекција је резултат кретања молекула ваздуха у просторима између влакана. Имајући у виду да су ти простори веома малих димензија, топлотни трансфер као резултат конвекције је минималан и може се занемарити, тј. $\lambda_{conv} = 0$, што значи да једначина 16 добија облик, [61]:

$$\lambda_{tot} = \lambda_{cond} + \lambda_r \quad (17)$$

Радијациони трансфер топлоте карактеристичан је за високе температуре док је код трансфера топлоте на собној температури $\lambda_r = 0$, што значи да је укупни једнак трансферу кондукције, односно:

$$\lambda_{tot} = \lambda_{cond} \quad (18)$$

Влакнасте структуре су хетерогене, тако да испитивање трансфера топлоте постаје комплексан проблем. Један од начина превазилажења овог проблема је пронаћи хомогени материјал који је еквивалентан хетерогеном влакнастом материјалу. Својства хомогеног материјала зову се ефективна својства (на пр. ефективна топлотна проводљивост). Имајући ово у виду, анализа топлотног трансфера кроз текстилни хетерогени материјал своди се на анализу његовог еквивалента са хомогеном структуром [63]. Једначина топлотног трансфера код текстилних материјала у најједноставнијем облику може се написати [64]:

$$\lambda \frac{\partial^2 T}{\partial X^2} = \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial q_r}{\partial X} \quad (19)$$

где је:

ρ – густина материјала,

c_p – специфична топлота,

q_r – топлотни флуks радијације у било којој тачки тканине,

T – температура,

X – оса дата са $0 \leq X \leq L$, $0 \leq t \leq \infty$, где је L – дебљина слоја текстилног материјала,

t – време.

У већини инжењерских проблема код текстилних материјала примарни интерес није у њиховом молекуларном понашању већ у томе како се они понашају као континуирани медијум. У студијама топлотног трансфера код текстилних материјала може се занемарити њихова молекуларна структура и могу се посматрати као континуирани медијум. Овај приступ је много једноставнији него микроскопски и дозвољава нам да користимо основне законе (први и други) термодинамике. Први закон термодинамике гласи [65]:

$$dE = dQ - dW \quad (20)$$

где је:

dQ – диференцијална количина топлоте доведена у систем у временском интервалу dt ,

dW – диференцијална количина рада који систем врши у временском интервалу dt ,

dE – диференцијална промена енергије система, која зависи само од почетног и крајњег стања система.

Други закон термодинамике односи се на ентропију и гласи:

$$a) dS = \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_{rev} \quad (21)$$

$$b) dS\phi = \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_{irev} \quad (22)$$

где је:

dS – диференцијална промена ентропије за реверзибилан процес,

$dS\phi$ – диференцијална промена ентропије за иреверзибилан процес.

Када се текстилни материјал сматра континуираним медијумом анализа топлотног трансфера може да се направи помоћу основних закона термодинамике (једначине 20, 21, и 22), Фуријеовог закона топлотне проводљивости (једначина 7), Њутновог закона хлађења (једначина 11), и Стефан-Болцмановог закона (једначина 5). За било какву анализу топлотног трансфера у текстилним материјалима неопходно је познавати њихове структурне и топлотне карактеристике.

2.2.2. Топлотне карактеристике материјала

Топлотне карактеристике материјала су:

- **топлотна проводљивост,**
- **топлотна отпорност,**
- **топлотна дифузија**

Топлотна проводљивост материјала оцењује се преко коефицијента топлотне проводљивости у литератури означеним као λ [62] или k [61,64], а представља интензивну особину сваког материјала и показује његову способност провођења топлоте. Она представља топлотни проток (Q) у ватима (W) који пролази кроз 1m^2 површине (F) равног материјала дебљине (h) при температурној разлици (ΔT) од 1 (K) између две стране. За хомогене материјале дефинише се следећом релацијом [62]:

$$\lambda = \frac{Q}{F \frac{\Delta T}{h}} \quad (\text{W} / \text{mK}) \quad (23)$$

Топлотна проводљивост је карактеристика материјала и зависи од његове структуре, специфичне масе (густине), температуре и слично. Зависност λ од бројних фактора усложњава прорачун, па се због упрошћавања узимају само најбитнији. На пример, топлотна проводљивост је под великим утицајем температуре. Код већег броја

материјала зависност између топлотне проводљивости и температуре је линеарна према релацији [66]:

$$\lambda = \lambda_0 (1 + \beta t) \quad (\text{W / mK}) \quad (24)$$

где је:

λ_0 – топлотна проводљивост на 0°C,

β – константа зависна од материјала, опредељује се експериментално.

Топлотна кондуктанса – U представља однос коефицијента топлотне проводљивости $-\lambda$ и дебљине материјала $-h$.

$$U = \frac{\lambda}{h} \quad (\text{W/m}^2\text{K}) \quad (25)$$

Реципроцитетна вредност топлотне кондуктансе је **топлотна отпорност** – R .

$$R = \frac{1}{U} = \frac{h}{\lambda} \quad (\text{m}^2\text{K/W}) \quad (26)$$

Топлотна отпорност је мера **топлотне изолације** материјала. Дефинише се као температурна разлика између две стране материјала у односу протока топлоте на јединицу површине нормалне на страну. Као што се види из дефиниције, да би мерили топлотну отпорност морамо знати брзину топлотног протока кроз материјал. У пракси је мерење брзине топлотног протока у једном правцу тешко, и може да се упореди са одавањем топлоте из грејалице у свим правцима. Две различите методе користе се за превазилажење овог проблема: први метод је упоредити отпорност узорка са већ познатом отпорношћу неког стандарда, а други је елиминисати сав губитак топлоте осим оне које пролази кроз тестирани материјал. Важно је поменути да се сва мерења топлотне отпорности врше на температури на којој ће се материјал највероватније користити [67,68].

Топлотна дифузија – a односи се на топлотни проток који пролази кроз ваздух садржан у материјалу. Ова карактеристика материјала спада у такозване краткотрајне топлотне карактеристике, а дефинише се релацијом [62]:

$$a = \frac{\lambda}{\rho c} \quad (\text{m}^2/\text{s}) \quad (27)$$

где је:

a – топлотна дифузија (m^2/s),

λ – топлотна проводљивост (W/mK),

ρ – густина материјала (kg/m^3),

c – специфични топлотни капацитет (J/kgK).

Код текстилних материјала има још једна топлотна карактеристика, то је **топлотна апсорпција** – b ($Ws^{\frac{1}{2}}m^2K$). Kawabata & Yoneda [64] први указују на важност контактних топлотних карактеристика код текстилних материјала и уводе појам топлотне апсорпције што је уствари топлотни проток између текстилног материјала и људске коже. Топлотна апсорпција служи као мера осећаја „топло-хладно” при контакту материјала и људске коже. Краткотрајно температурно поље које се ствара између текстилног материјала и људске коже описано је парцијалном једначином другог Fick-овог закона [70] који показује зависност температурне разлике у односу на време,

$$\left(\frac{dt}{d\tau}\right) = a \left(\frac{d^2t}{dx^2}\right) \quad (28)$$

где је:

a – коефицијент топлотне дифузије (m^2/s).

Ова једначина може се искористити и за прорачун топлотног протока између коже и материјала:

$$q = \frac{b(t_1 - t_2)}{(\pi\tau)^{\frac{1}{2}}} \quad (29)$$

Топлотна апсорпција је важна карактеристика оних материјала који су у директном контакту с људском кожом у току њихове примене, као што су текстилни материјали.

Велики број истраживача развио је инструменте за мерење топлотних карактеристика текстилних материјала. Сви инструменти и методе могу се сврстати у две групе: мерења при стационарном трансферу топлоте и мерења при нестационарном трансферу топлоте.

За мерења при стационарном трансферу топлоте користе се:

1. **Метод хлађења.** Топло тело је завијено тканином на чијој спољашњој површини делује ваздух и мери се брзина хлађења топлог тела. Ова метода зове се „kath-thermometer”, а први су је увели Black and Mathew (1934).
2. **Диск метода.** Тканина се држи између топлотног извора и плоче различитих температура, а топлотни проток мери се танким диском. На овај начин добија се вредност топлотне трансмисије. Пошто је тканина под притиском, обично садржи мању количину ваздуха од уобичајене, тако да се резултати односе само на одређене услове мерења.
3. **Мерење на бази ширења топлотних таласа.** Ово је релативно нови метод и представља продужетак методе хлађења. Топлотни таласи пролазе кроз тканину

а затим се мери њихова амортизација за прорачун топлотног флукса, (Lyman 1970.).

4. Метод константне температуре. Овај метод се користи за доста тачно одређивање топлотне отпорности. Тканина се ставља с једне стране изотермалног топлог тела изолованог са свих страна и мери се енергија потребна да тело остане топло при константној температури. Топло тело је најчешће равна плоча. По овом методу постоје три типа инструмената:

- **Топли цилиндар.** Постоји пуно варијација метода, али суштина је да се текстилни материјал завија око топлог цилиндра који се ставља у други цилиндар потопљен у воду. Овај метод има недостатак јер треба сашити материјал да би се ставио на цилиндар, и не препоручује се. Први је овај метод увео Moris (1953.).
- **Метод топлог полуцилиндра.** На основу претходно поменутог недостатка методе „топли цилиндар” Baxter and Cassie (1943.) развили су метод који је заснован на Њутновом закону хлађења.
- **Метод загрејане плоче.** Базира се на принципу одржавања константне температуре. Апарат „Shirley Togmeter” ради на овом принципу, (Clulow, 1984.).

Технике мерења загрејаном плочом примењене су и код нових интернационално прихваћених стандарда ASTM D1518 и BS 4745. Код најновијих инструмената загрејана плоча има порозну структуру и симултано се мери топлотни трансфер и трансфер влаге кроз тканину (ISO 11092) [71].

Способност текстилног материјала да спречи или дозволи трансфер топлоте и ваздуха углавном зависи од сировинског састава, дебљине, порозности, конструкције и геометрије материјала. Најтежи и најважнији проблем при испитивању топлотне изолације текстилних материјала је карактеризација њихове структуре.

Иако топлотна изолација текстилних материјала у највећој мери зависи од дебљине, за њено предвиђање на самом почетку потребни су подаци о врсти и дужини влакана и геометрије материјала. Што је већи степен анизотропне структуре материјала, то је теже одређивање топлотне изолације [63].

Rap и сар. [72] сматрају да већа дужина влакана значи и већу ефективну топлотну проводљивост материјала. Због тога што је запремина заробљеног ваздуха много већа од запремине влакана, топлотна изолација много више зависи од дебљине материјала, него од врсте влакана [73]. Резултати истраживања Миленковића и сар. [74] доказују да су дебљина материјала, заробљени ваздух и струјање ваздуха у околини главни фактори

који утичу на трансфер топлоте. У прорачуну топлотне проводљивости тканина мора се узети у обзир топлотна проводљивост влакана у правцу дебљине тканине. Истраживања [75] о утицају преплетаја тканине на топлотне карактеристике показала су велику корелацију између површинске масе и топлотне проводљивости. Већа количина ваздуха затвореног у структури тканине делује као изолатор, док већа количина влакана на јединици површине значи раст топлотне проводљивости. Са друге стране, ови параметри, површинска маса и количина влакана на јединици површине, зависе од преплетаја тканине, тако да постаје јасно да преплетај утиче на топлотну изолацију. Није доказана строга корелација између покривног фактора тканине и топлотне проводљивости, као што је у случају површинске масе. Тканине у платненом преплетају имају већу топлотну проводљивост и топлотну апсорпцију у односу на кепер и рипс. Испитивање је урађено за тканине у различитом преплетају израђене од основе и потке исте финоће.

Плетенине са мањим покривним фактором (отворенијом структуром) имају већу топлотну проводљивост и пропустљивост ваздуха. Двослојне функционалне плетенине израђене од памука у једном слоју и синтетичке компоненте (полипропилен, полиестер) у другом слоју имају одличну пропустљивост ваздуха, а при томе показују и добру топлотну изолацију. Код плетених структура од исте пређе, са истим преплетајем топлотна изолација расте са смањењем густине [76]. Истраживање трансфера топлоте код специјално изабраних серија десно - левих плетенина од 100% памучних и полиестерских влакана са различитом финоћом потврђује резултате неколико претходних истраживања да су структурне карактеристике, а не сировински састав, најважнији контролори топлотног трансфера [77]. Ово истраживање још једном потврђује да трансфер топлоте највише зависи од дебљине и густине текстилног материјала и количине заробљеног ваздуха.

Неткани текстил од 100% ПЕС влакана има већу специфичну топлотну отпорност у односу на материјал са истим карактеристикама од 100% полипропиленских влакана [64]. Када два материјала имају исту дебљину а различиту густину, онда онај с мањом густином има бољу топлотну изолацију. Ово важи до једне критичне густине материјала, око 60 kg/m^3 испод које ефекат конвекције постаје доминантан и топлотна изолација опада [78].

Материјал који се користи за топлотну изолацију треба да буде релативно непропустљив за ваздух. Веза између трансфера топлоте и пропустљивости ваздуха текстилног материјала је веома комплексна и зависи од геометрије, дебљине, структуре

материјала као и од типа пређе и броја слојева у материјалу [79]. Истраживања топлотне изолације текстилних материјала показују да највећи губици код једнослојних материјала настају преко слободних међупростора и повећавају се са повећањем броја слободних међупростора. Употребом вишеслојних материјала ефекат топлотне изолације расте, а пропустљивост ваздуха се смањује. Између пропустљивости ваздуха и броја слојева код вишеслојних материјала постоји линеарна зависност, али само до одређеног броја слојева - „критични број”, после тога зависност је криволинијска. Топлотна проводљивост варира од једног до другог текстилног материјала. Геометрија материјала има већи ефекат на пропустљивост ваздуха у поређењу са топлотном проводљивошћу. Интересантно је сазнање да производ направљен од више слојева тканина које, посебно свака за себе, имају велику пропустљивост ваздуха, може имати малу вредност топлотне проводљивости. Овакви вишеслојни производи користе се за топлотну изолацију [80].

Генерални закључак свих истраживања топлотне изолације текстилних материјала је да је дебљина материјала најважнији фактор. Зависност између дебљине и изолације је скоро линеарна, али се дебљина не може стандардизовати због тога што она зависи од контактеног притиска апарата при мерењу.

Најбољи приступ овом проблему је да топлотна изолација текстилних материјала треба да се разматра у зависности од свих конструкцијских параметара заједно зато што промена једног води ка промени свих осталих. Параметри које треба узети у обзир код испитивања су: површинска маса, порозност, дебљина, преплетај, финоћа основе, финоћа потке, и густина основних и поткиних жица. Познавањем потребних параметара и помоћу математичког модела са високим степеном прецизности може се предвидети топлотна изолација текстилног материјала [71]. Математички модели топлотне проводљивости развијени од стране више истраживача показују да везе између топлотне проводљивости порозних материјала и њихових физичких карактеристика нису линеарне. За што прецизније предвиђање топлотне проводљивости текстилног материјала статистички модел анализе заједничког утицаја свих параметара мора се заменити са моделом вештачке неуронске мреже. Код овог метода као улазни параметри користе се: топлотна проводљивост пређе, површинска маса, пропустљивост ваздуха и порозност, а излазни параметар је топлотна проводљивост материјала. Овај метод показује способност предвиђања топлотне проводљивости материјала са коефицијентом корелације 0.913 [81].

2.2.3. Акустичке карактеристике материјала

Научна дисциплина, део физике која проучава феномен звука, настајање, простирање, и пријем у свим срединама (осим вакуума где нема звука) зове се **акустика**. Акустичке карактеристике једног материјала произилазе из његовог односа према феномену звука. Оне се дефинишу преко експериментално одређених константи, као што су: коефицијент апсорпције, коефицијент рефлексије, акустична импеданса, константа пропагације, нормални коефицијент редукције и губици трансмисије.



Слика 8. Једноставни звучни талас

Звук је физичка појава која настаје услед временски променљивих поремећаја стационарног стања еластичне средине. Једноставан звучни талас (Слика 8), карактерише се:

- амплитудом,
- фреквенцијом,
- таласном дужином,
- периодом и
- интензитетом.

Амплитуда се односи на разлику између максимума и минимума притиска. Фреквенција (f) таласа мери се као број вибрације честица кроз медиум у јединици времена. Најчешће коришћена јединица фреквенције је херц, Hz (Hertz). Фреквенција од 1 Hz је једна осцилација у секунди. Таласна дужина (λ_s) је растојање које талас прелази кроз медијум за време једног пуног циклуса. Термин периода односи се на време потребно да се заврши једен циклус кретања звучног таласа, док је интензитет по дефиницији, енергија коју звучни талас носи у јединици времена кроз јединичну површину таласног фронта. Између фреквенције f , таласне дужине λ_s и брзине звука v постоји релација [82]:

$$f = \frac{v}{\lambda_s} \quad (30)$$

Звук је у обичном смислу речи оно што се осећа чулом слуха. Основне карактеристике звука које уво разликује су: јачина звука, висина тона и боја звука. Људско уво чује звучне таласе у интервалу од 16 Hz до 20.000 Hz. Интервал испод доње границе зове се инфрасоничан, а изнад горње границе ултрасоничан. Брзина звука зависи од медијума и температуре. Основна јединица нивоа звука је децибел (dB). Најнижи ниво интензитета звука који се може чути је 0 dB. Иначе, децибел није јединица којом се одређује апсолутна вредност, њоме се само даје логаритамски однос. Број децибела $-N_{db}$ се рачуна према једначини 31 [83]:

$$N_{db} = 10 \log \left(\frac{P_1}{P_2} \right) \quad (31)$$

где је:

P_1 – снага генерисаног сигнала,

P_2 – снага рефлектованог сигнала.

Ако су варијације у притиску променљиве, резултат је стварање шума (буке).

Способност неког материјала да апсорбује звук предодређена је његовим физичким карактеристикама. Мерило апсорпционе моћи једног материјала је **коэффициент апсорпције звука** – α који је по дефиницији једнак односу апсорбоване енергије у јединици времена и укупне енергије која је стајала на располагању, дакле енергије коју доноси долазећи талас [82,84]. Овај коэффициент зависи од природе материјала, фреквенције звука и угла под којим звучни таласи падају на површину материјала. Када звучни таласи дођу до неке површине један део се апсорбује, други се рефлектује, а трећи пролази кроз материјал. Процес је приказан на слици 9 где је:

E_i – укупна звучна енергија,

E_r – рефлектована звучна енергија,

E_a – апсорбована звучна енергија,

E_t – звучна енергија која пролази кроз материјал,

θ_i – угао под којим звучни таласи падају на материјал,

θ_r – угао под којим се звучни таласи одбијају од материјала.

Ако се примени закон очувања енергије добија се:

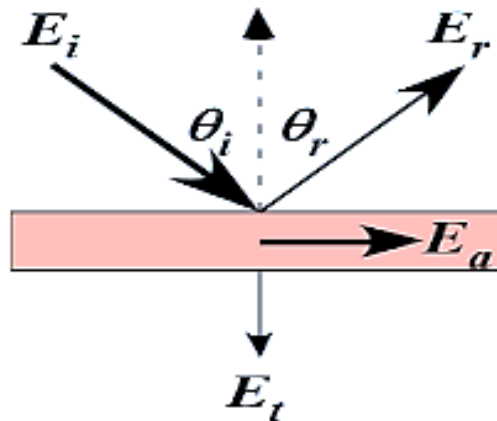
$$E_i = E_r + E_a + E_t \quad (32)$$

Коефицијент апсорпције према дефиницији је:

$$\alpha = \frac{E_a}{E_i} \quad (33)$$

или,

$$\alpha = 1 - \frac{E_r}{E_i} = \frac{E_a - E_t}{E_i} \quad (34)$$



Слика 9. Рефлексија и апсорпција звучног таласа

Коефицијент апсорпције звука изражава се децималним бројем од 0 - 1, или у процентима. У литератури овај коефицијент се обично даје за стандардне фреквенције од 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz и 4000 Hz. За поређење материјала у погледу звучне апсорпције користи се средња вредност коефицијента апсорпције- α за четири фреквенције од 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz и 2000 Hz. Та се вредност најчешће означава са *NRC* (Noise Reduction Coefficient) односно **коефицијент редукције звука**. [85,86,87,88,]

Пријатна околина у погледу звучне изолације може се постићи применом различитих материјала и техника. Једна таква техника је апсорпција звука и његово претварање у топлотну енергију. Материјали који редукују акустичну енергију звучних таласа када они пролазе кроз њих преко феномена апсорпције зову се материјали за звучну изолацију [89,90]. Различити материјали различито се односе када се користе за звучну изолацију. Генерално, порозни материјали апсорбују више звука на средњим и високим фреквенцијама него на ниским фреквенцијама.

Сви апсорбери звука који се користе у просторијама могу се сврстати у једну од три наведене групе: порозни материјали, акустични резонатори и механички резонатори. Оваква подела значи и класификацију по фреквенцијским опсезима: порозни материјали примењују се као апсорбери за високе фреквенције, акустични за средње, а механички за ниске фреквенције. Да би се повећала апсорпција звука на ниским фреквенцијама

потребно је повећати дебљину материјала. Познавајући структуру материјала, односно, његове базичне физичке карактеристике, може се предвидети коефицијент звучне апсорпције.

У групу порозних материјала спадају материјали код којих је крута маса прожета порам у непрекинутој мрежи. Најчешће коришћени порозни материјали су текстилни материјали, стаклена и минерална вуна, као и разне акустичне плоче. Звук продире дубоко у поре порозних материјала, где се услед великог трења, акустична енергија претвара у топлоту [85].

Многи су истраживачи покушавали објаснити механизам апсорпције звука као резултат расипања акустичне енергије и њене трансформације у топлоту, објашњавајући механизам на следећи начин: када звук пролази кроз порозни материјал као резултат звучног притиска ваздушни молекули осцилују у унутрашњости порозног материјала са фреквенцијом звучног таласа. Ове осцилације стварају фрикционе губитке. Промена смера кретања звучног таласа резултује губитком количине кретања. Као резултат узбуђења звучног таласа молекуле у порам материјала подвргнуте су периодичним компресијама и релаксацијама. Ова појава води ка промени температуре. Генерално, укупан губитак звучне енергије је резултат: губитка ради фрикције, губитка количине кретања и температурне флукуације [82].

У пракси постоје две методе мерења акустичких карактеристика [91]:

- ASTM C 384 (метода са цеви) и
- ASTM C 423 (метода са реверберационом комором).

За текстилне материјале највише се користи метода са цеви, ASTM C 384. Фреквентни звучни осцилатор генерише звучне таласе на 6 различитих фреквенција: 125, 250, 500, 1000, 2000 и 4000 Hz. Материјал се сече у кружном облику, ставља се у цев, а звучник се поставља на једном крају цеви. Звучни таласи, појачани преко звучника, пролазе кроз цев падајући нормално на испитивани узорак. Део звучне енергије апсорбује се у узорку, а други део одбија се и враћа назад. Коефицијент апсорпције звука одређује се према једначини 36 [86]:

$$\alpha = 1 - \left(\frac{B}{A}\right)^2 \quad (35)$$

где је:

A – амплитуда рефлектованог звучног таласа,

B – амплитуда апсорбованог звучног таласа.

Збир $A+B$ је максимални притисак – P_{max} , а разлика $A-B$ минимални притисак – P_{min} .

Онда је однос максималног и минималног притиска:

$$\frac{P_{max}}{P_{min}} = \frac{A + B}{A - B} \quad (36)$$

Ако однос $\frac{A+B}{A-B}$ означимо са n , за коефицијент звучне апсорпције добија се:

$$\alpha = \frac{4n}{n^2 + n + 1} \quad (37)$$

Код метода реверберационе коморе (глуве собе) [85] поступак се своди на мерење времена реверберације. Прво се мери време реверберације у празној просторији, а затим се у њу уноси испитивани материјал па се поново мери време реверберације. Коефицијент апсорпције одређује се као разлика између ова два времена.

Многи истраживачи [82,92,93,94,95,96] испитивали су апсорпцију звука код текстилних материјала, а највећи акценат се ставља на неткани текстил с обзиром на чињеницу да се он највише користи за звучну изолацију. Густина материјала сматра се најважнијим фактором који одређује понашање материјала у односу на апсорпцију звука. Са друге стране, трошкови производње неког материјала директно зависе од његове густине.

Истраживања показују повећање вредности звучне апсорпције на средњим и високим фреквенцијама са повећањем густине влакнастих материјала. Код већих густина материјала расте број влакана по јединици површине, што доводи до губитка звучне енергије као резултат површинског трења, што значи већи коефицијент апсорпције [82].

Звучна апсорпција нетканих текстилних материјала зависи од геометрије влакана и њиховог распореда у структури материјала. Неткани текстилни материјали код којих су влакна вертикално повезана идеално су решење као материјал за звучну изолацију зато што материјал има велику укупну површину [83].

Код нетканих текстилних влакнастих материјала примећен је следећи ефекат [88]: отвореније структуре са мањом густином апсорбују више звука на фреквенцији од 500 Hz, а компактније структуре с већом густином апсорбују више звука на фреквенцијама изнад 2000 Hz.

Shoshani и сар. [97] сматрају да је потребно дизајнирати текстилни материјал са већом порозношћу у смеру простирања звучног таласа са максималном порозношћу у средини материјала у циљу постизања веће звучне апсорпције.

2.3. ИЗОЛАЦИОНИ МАТЕРИЈАЛИ У ГРАЂЕВИНАРСТВУ

2.3.1. Основне карактеристике и класификација изолационих материјала

Пројектовање и изградња енергетски ефикасних грађевинских објеката захтева примену изолационих материјала у свим сегментима. Постоји широки спектар изолационих материјала са различитим карактеристикама и специфичном применом, али сви они, ипак, имају неке основне карактеристике, које генерално можемо сврстати у три групе.

У прву групу убрајају се уобичајене физичке карактеристике које описују материјал у односу на његову густину, јачину, топлотну изолацију, апсорпцију звука, отпорност влаге и запаљивост. Ове карактеристике лако се одређују имајући у виду да постоје национални, а такође и међународно утврђени стандарди (EN ISO 6946, EN 13162, EN 13163, EN13164, BS 476 89/106/EC) [6]. Одређене карактеристике из прве групе дају се као основни технички подаци термоизолационих, и уопште грађевинских материјала. То су: коефицијент топлотне проводљивости – λ , специфична топлота – c , фактор отпора на дифузију водене паре – μ , коефицијент топлотног издуживања – λ_t и густина тј. запреминска маса – ρ . Главни акценат испитивања се увек ставља на коефицијент топлотне проводљивости. Да би сврстали један материјал у групу термоизолационих материјала он мора испунити основни услов - да има коефицијент топлотне проводљивости $\lambda < 0.06 \text{ W/mK}$ [98].

Друга група карактеристика није тако јасно одређена, чак ни довољно прихваћена, а односи се на импакт изолационих материјала на животну средину. У ову групу спадају карактеристике материјала као што су: емисија гасова у току производње материјала, „скривена енергија”, употреба адитива, могућност поновне употребе, способност за рециклажу и утицај материјала са аспекта **LCA (Life Cycle Assessment)** тј. анализе његовог животног циклуса према ISO 14025-00. Ове се карактеристике у односу на оне из прве групе теже оцењују и упоређују. Оне могу бити различите за исту врсту материјала у зависности од локације производње, основних енергетских ресурса, националног законодавства за животну средину итд.

Трећа група односи се на карактеристике изолационих материјала које утичу на људско здравље, било да је то у току производње материјала, примене или на самом крају животног века производа, приликом његовог одлагања. У ову групу су укључене карактеристике као што су: емисија прашине и влакана, токсичност, емисија штетних гасова у току горења и слично. С обзиром на значење ових карактеристика, постаје јасно

да је увођење стандарда за њихово испитивање од велике важности [6]. Изолациони материјали разликују се према пореклу сировине, начину израде, форме, њиховог утицаја на људско здравље и њиховог утицаја на животну средину. Они могу имати влакнасту структуру, или бити у облику филма, монолитних блокова, ролни, са хемијским или механичким повезивањем. Многи истраживачи [6,99] покушавали су да направе једну универзалну класификацију изолационих материјала, што је доста тешко с обзиром на разноврсност коришћених материјала. Често се користи класификација према табели 2, или најновија класификација према табели 3.

Табела 2. Класификација изолационих материјала, [6]

Изолациони материјали			
Неоргански материјали	Органски материјали	Комбиновани материјали	Нови материјали
Пенасти Пенасто стакло	Пенасти Експандирани полистирен Екструдирани полистирен Полиуретанска пена	Калцијумови силикати Гипсана пена Дрвена вуна	Транспарентни материјали Динамички материјали
Влакнасти Стаклена вуна Камена вуна	Експандиране пене Меламинска пена Фенолна пена		
	Влакнасти Вуна Памук Кокосова влакна		

Табела 3. Најновија класификација изолационих материјала, [99]

Изолациони материјали							
Конвенционални материјали		Органски материјали		Иновативни материјали			Рециклирани материјали
Неоргански минерални	Органски синтетички	Биљно порекло	Животињско порекло	Транспарентни	Вакуумски	Пуњени гасом	Целулозни материјали од текстилног отпада
Стаклена вуна Камена вуна Стаклена пена	Екструдирани полистирен Експандирани полистирен Полиуретанска пена	Канап Соја Плута Слама	Вуна				

2.3.2. Конвенционални изолациони материјали

На европском тржишту доминирају конвенционални органски и неоргански изолациони материјали, односно, неоргански влакнасти материјали: камена и стаклена вуна, заступљени са 60% и органски пенасти материјали: полистирен и полиуретан, заступљени са 27%. Сви остали материјали заједно чине остатак од 13% [6]. Заједничко име камене и стаклене вуне је минерална вуна. Разлика између њих је у сировини од које се добијају, технолошком поступку и крајњим особинама материјала.

Камена вуна (вунизол или тервол) добија се од камених минерала вулканског порекла, доломита, базалта и диабаза са додатком кокса. Сировине се топе на високим температурама, добија се „лава” која се уз помоћ центрифугалних точкова испреда у фина влакна која се таложе у филц. Најчешће се производи у облику меких, полутврђих или тврђих плоча (табле) и као филц (ролна) на алуминиумској фолији (Слика 10).



а - мека плоча



б - тврда плоча



в - ролна на алуминиумској фолији

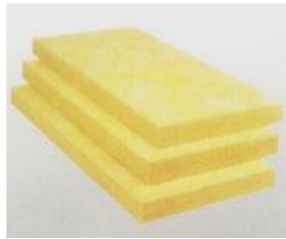
Слика 10. Камена вуна

Најважније карактеристике камене вуне су:

- кратка влакна,
- густина производа, $\rho = 30 - 200 \text{ kg/m}^3$,
- висока чврстоћа на притисак,
- коефицијент топлотне проводљивости, $\lambda = 0.035 - 0,039 \text{ W/mK}$,
- одличан апсорбер звучне енергије,
- негорив материјал, класа негоривости A₁, DIN 4102,
- максимална радна температура 750°C,
- висока отпорност на пожар,
- висока температура топљења преко 1000°C,
- ниска еластичност материјала,
- веома отпорна на евентуална механичка оштећења приликом руковања.



a - мека плоча



б - тврда плоча



в – ролна на алуминиумској фолији

Слика 11. Стаклена вуна

Стаклена вуна производи се од природних и обновљивих материјала - песка и рециклираног стакла. Сировине се топе на високим температурама, добија се „лава” која се убацује у роторе где се испредају влакна. Ова влакна се таложе у филц од кога, додатном обрадом, настаје финални производ који може бити у облику ролне, панела (табле) или ролне на алуминиумској фолији (Слика 11). Користи се за изолацију кровова, подова, преградних зидова, фасада. Најважније карактеристике стаклене вуне су [100]:

- дугачка влакна,
- густина производа, $\rho = 11 - 45 \text{ kg/m}^3$
- ниска чврстоћа на притисак,
- коефицијент топлотне проводљивости, $\lambda = 0.032 - 0.044 \text{ W/mK}$
- одличан апсорбер звучне енергије,
- негорив материјал, класа негоривости A₁, DIN 4102,
- максимална радна температура 230°C,
- отпорна на пожар,
- тачка топљења, око 700°C,
- висока еластичност материјала,
- отпорна на евентуална механичка оштећења приликом руковања.

Сирова растресита стаклена вуна представља потенцијалну опасност по људско здравље (узрокује иритацију коже, алергије и друге здравствене проблеме, чак постоји сумња да је канцерогена и убраја се у групу „2B” материјала [98].

Полистирен се производи од нафте и њених деривата као експандирани полистирен (EPS - стиропор) и екструдирани полистирен (XPS - стиропор) у облику различитих врста плоча (Слика 12). У оба случаја основа за добијање производа је иста: то су тврде, компактне грануле полистирена.



а - експандиран полистирен (EPS)



б - екструдирани полистирен (EXS)

Слика 12. Полистирен

Најважније карактеристике полистирена су [98]:

- мала запреминска маса ($\rho = 10 - 30 \text{ kg/m}^3$ за EPS и $\rho = 33 - 45 \text{ kg/m}^3$ за EXS),
- низак коефицијент топлопроводљивости (код EPS $\lambda = 0.028 - 0.040$, а код EXS $\lambda = 0.025 - 0.035 \text{ W/mK}$),
- мало упијање воде и веома мала пропустљивост водене паре,
- релативно добра механичка својства,
- материјал са малим пожарним оптерећењима,
- самогасив „S”,
- отпоран на гљивице и бактерије,
- материјал који се може рециклирати,
- отпоран на температуре до 800°C .

Као и већи део органских материјала, полистирен је запаљив и класификује се према запаљивости у класу „В” (тешко запаљиви материјали). При његовом сагоревању ослобађају се угљенмоноксид и угљендиоксид. Приликом горења примећује се топлење материјала без капања. Због мале масе по јединици запремине ослобађа при горењу минималну количину топлоте, те тако ствара мала пожарна оптерећења. У току производње додају се посебна средства да би материјал постао „самогасив”, у том случају материјал носи ознаку „S”.

Генерално већи део уобичајених изолационих материјала имају коефицијент топлотне проводљивости $\lambda = 0.035 - 0.045 \text{ W/mK}$ тако да потребна дебљина материјала за вредност топлотне кондуктансе $U = 0.40 \text{ W/m}^2\text{K}$ износи 8 - 11 cm [101]. Како се може видети из горњих карактеристика конвенционалних изолационих материјала, топлотна проводљивост даје се врло прецизно бројном вредношћу λ , док се звучна изолација даје описно, као на пример: одлична звучна изолација. Како је претходно поменуто да се звучна изолација неког материјала оцењује преко вредности

коэффициента звуčne апсорпције – α , у продужетку ћемо размотрити нека научна истраживања на ову тему.

Srivastava и сар. [86] испитивали су коэффициент звуčne апсорпције – α и топлотне проводљивости – λ код минералне вуне са различитом густином на три различите температуре, $t = 10^\circ\text{C}$, $t = 50^\circ\text{C}$ и на нормалној температури. Циљ истраживања био је утврђивање утицаја температуре, дебљине и густине материјала на звучну и топлотну изолацију. За упоређење материјала у погледу звуčne изолације коришћен је коэффициент редукције звука NRC . Резултати показују да код узорака од минералне вуне са највећом густином, $\rho = 150 \text{ kg/m}^3$ NRC има исту вредност за све три температуре и износи $NRC = 0.757$. За најмању густину узорка $\rho = 48 \text{ kg/m}^3$ коэффициент $NRC = 0.852$ за све горепоменуте температуре. И за густине $\rho = 80, 96$ и 120 kg/m^3 NRC остаје исти на све три температуре. Ово значи да температурни интервал од $0 - 50^\circ\text{C}$ нема значајан утицај на звучну апсорпцију код минералне вуне. За разлику од звуčne апсорпције код коэффициента топлотне проводљивости – λ примећују се мале разлике у вредностима на горепоменутом температурама. За $t = 50^\circ\text{C}$ минерална вуна са густином $\rho = 48 \text{ kg/m}^3$ има $\lambda = 0.0302$, за $t = 10^\circ\text{C}$ $\lambda = 0.0279$ и за нормалну температуру $\lambda = 0.0325 \text{ W/mK}$. Минерална вуна са највећом испитиваном густином $\rho = 150 \text{ kg/m}^3$ има $\lambda = 0.0279$ на $t = 50^\circ\text{C}$, $\lambda = 0.0267$ на $t = 10^\circ\text{C}$ и $\lambda = 0.0289 \text{ W/mK}$ на нормалној температури. Стаклена вуна са дебљином $h = 50 \text{ mm}$ и густином $\rho = 50 \text{ kg/m}^3$ има звучну апсорпцију $NRC = 0.663$. Према истом истраживању камена вуна дебљине $h = 50 \text{ mm}$ и густине $\rho = 80 \text{ kg/m}^3$ има $NRC = 0.638$, а полистирен дебљине $h = 50 \text{ mm}$ и густине $\rho = 28 \text{ kg/m}^3$ има $NRC = 0.518$ [102].

За постизање одличне топлотне и звуčne изолације у просторији за спољашње зидове препоручује се да изолациони материјал има вредност топлотне кондуктансе $U = 0.35 \text{ W/m}^2\text{K}$ и коэффициент редукције звука $NRC = 0.8 - 1$. За испуњавање ових услова потребан је слој камене вуне са просечном дебљином $h = 10 \text{ cm}$ или полистирен са просечном дебљином $h = 9 \text{ cm}$, што зависи од декларисане вредности топлотне проводљивости материјала [101].

Не постоји идеални изолациони материјал. Осим добрих страна сваки материјал има и неке недостатке. Зато је корисно направити поређење конвенционалних изолационих материјала. Између минералне вуне и полистирена постоји велика разлика у физичким својствима, што је резултат њихове различите природе и хемијског састава,

али имају и заједничке карактеристике: мала топлотна проводљивост и одлична апсорпција звука. Камена вуна има шири температурни интервал примене, бољу звучну изолацију и много већу отпорност горења у односу на полистирен. Она је и „пријатељскији материјал” за околину са много мањом количином CO и CO_2 који се ослобађају у околину током њене производње. За производњу и инсталацију камене вуне троши се мање енергије него за полистирен. С друге стране, она има и недостатке у односу на екструдирани полистирен. Главни недостатак минералних производа у односу на екструдирани полистирен је мало већа топлотна проводљивост, због чега њихова дебљина треба да буде мало већа, како би се постигао исти ефекат изолације. У циљу превазилажења недостатака камене вуне, производи се камена вуна са додатком других материјала, као на пример, алуминијума и полиетилена. Ови материјали се користе за изолацију унутрашњих зидова [5].

Табела 4 показује поређење камене вуне, стаклене вуне и полистирена.

Табела 4. Поређење класичних изолационих материјала, [103]

Материјал	Предност	Недостатак
Камена вуна (ролне)	Незапаљив материјал Добра пропустљивост паре Одличан звучни изолатор Механички стабилан	Висока цена Слаба издржљивост на притисак Слаба водоотпорност
Камена вуна (плоче)	Незапаљив материјал Добра пропустљивост паре Одличан звучни изолатор Механички стабилан	Висока цена Слаба издржљивост на притисак Слаба водоотпорност Захтева уградњу
Стаклена вуна	Незапаљив материјал Добра пропустљивост паре Одличан звучни изолатор Отпоран на микроорганизме	Висока цена Слаба издржљивост на притисак Слаба водоотпорност Захтева уградњу
Полистиренска тврда пена	Ниска цена Лак материјал Добра отпорност на притисак	Запаљив материјал Слаба пропустљивост паре Слаб звучни изолатор

Стаклена и камена вуна користе високи проценат рециклираних материјала што помаже у смањењу отпада, односно представља еколошки бенефит. Стаклена вуна може да садржи и до 70% рециклираног материјала (иако најчешће садржи око 58%) [104]. Минерална вуна је биоразградив материјал, влакна имају незнатну трајност и брзо се разлажу. Испитивања биоразградивости показују да се влакна стаклене и камене вуне

биолошки разграђују после 40 дана. Влакна камене и стаклене вуне што су се раније производила имала су период разлагања од 100 дана. За упоређење, азбестна влакна (плави азбест) разлажу се у периоду дужем од 100 година [105].

Недовољно познавање карактеристика изолационих материјала може проузроковати низ проблема у практичној примени, на пример, смањење ефекта изолације, појаву влаге и буђи, љуштење и испадање завршних слојева и оштећења од леда.

2.3.3. Нови изолациони материјали

У последњих десетак година стварање еколошких производа са што мањим штетним последицама по околину постаје приоритет у земљама ЕУ. Еколошко означавање производа у ЕУ почело је с усвајањем регулативе ЕЕС бр. 880/92 од стране Савета ЕУ (23. марта 1992. године) донешене с циљем мотивације бизнис сектора да ствара производе који ће се уклопити у шеме еколошких производа. Еколошке ознаке додељују се по јединственим еколошким критеријумима који показују да производи не садрже хлорофлуорокарбонате који оштећују озонски омотач, да се могу рециклирати и да су енергетски ефикасни [106]. Механизам деловања овог инструмента може се објаснити на следећи начин: еко - ознака на производу показује да тај производ у мањој мери угрожава животну средину и треба, са једне стране, да мотивише еколошки свесног потрошача да га купи, а пораст потрошње оваквих производа, с друге стране, треба да мотивише произвођаче на развој и производњу погоднијих производа са аспекта животне средине. Грађевинарство није имуно на овај еколошки тренд, тако да смо сви сведоци великих напора у проналажењу алтернативних грађевинских изолационих материјала. Емисија угљендиоксида у атмосферу, потрошња енергије и воде су важни параметри за оцену квалитета и одрживост алтернативних материјала [107].

Еколошки тренд, као и све већа потражња изолационих материјала су довели до развоја нових технологија и палету нових материјали као што су:

- прозирна топлотна изолација,
- вакуумска топлотна изолација,
- гасни изолациони материјали,
- нано изолациони материјали и
- динамички изолациони материјали.

Прозирна изолација омогућава пријем сунчеве енергије и њен пренос у зграду, а у исто време спречава, као и обична топлотна изолација, губитак топлоте из зграде.

Вакуумска изолација (ВИМ) израђује се у модуларним панелима, а због изузетних изолационих својстава потребна је знатно мања дебљина изолационог слоја у односу на конвенционалне материјале са истом топлотном и звучном изолацијом. На пример, 2 cm вакуумског панела одговара изолацији од 20 cm минералне вуне Ова је изолација још веома скупа и обично се примењује код санације објеката, односно када није могућа уградња веће дебљине изолационог слоја, као на пример, код објеката са историјском важношћу и слично. Вакуумски изолациони материјали су у основи хомогени материјали са малим затвореним порама испуњеним вакуумом. Захваљујући затвореној порозној структури ВИМ се могу резати и инсталирати у зградама без губитка изолационе способности.

Гасни изолациони материјали (ГИМ), су у основи хомогени материјали затворене порозне структуре, а поре су испуњене неким гасом, на пример, аргоном, криптоном или ксеноном, са ниском вредношћу топлотне проводљивости у апсолутно чистом стању. Уствари, ГИМ су исти као и ВИМ с том разликом што уместо вакуума поре материјала садрже гас.

Нано изолациони материјали (НИМ) су хомогени материјали затворене или отворене нано порозне структуре са ниском вредношћу топлотне проводљивости. Опште прихваћено мишљење је да изолациони материјали имају константну вредност топлотне проводљивости која се не мења, тј. у овом погледу сматрамо их статичним материјалима. Међутим, данас постоје и **динамички изолациони материјали (ДИМ)**, код којих може да се контролише топлотна проводљивост у жељеном интервалу. Контрола топлотне проводљивости постиже се променом концентрације гаса у унутрашњим порама материјала.

Изолациони материјали будућности треба да испуне пуно критеријума. Као прво, они морају задржати ниску топлотну проводљивост и високу звучну изолацију у току животног века од 100 година. Ове карактеристике се морају задржати и у случају перфорација проузрокованих спољашњим објектима. Технологије базиране на вакууму имају проблем са испуњавањем последњег критеријума. Још један кључан захтев за изолационе материјале је могућност њиховог резања и уградње без смањења изолационих карактеристика. Резање вакуумских материјала је проблематично и може проузроковати губљење изолационих карактеристика. Осим топлотно - акустичних карактеристика не смеју се занемарити и остале карактеристике: механичке

карактеристике, отпорност на горење, емисија штетних гасова, трајност, отпорност на атмосферске утицаје, отпорност замрзавања, динамичке карактеристике - могућност регулације топлотне изолације, нарочито трошкови (за материјал и за инсталацију) који могу бити одлучујући фактор. У односу на све горепоменуте карактеристике сматра се да су нано изолациони материјали најнапреднији и могу се користити код зграда с бетонским или дрвеним зидовима, тако да их слободно можемо назвати изолационим материјалима будућности [108].

Као добра алтернатива данас сматрају се и изолациони материјали од рециклираног текстила јер немају недостатке конвенционалних у погледу њиховог штетног дејства по људско здравље и околину, а с друге, стране су много јефтинији од вакуумских, гасних и нано изолационих материјала.

2.3.4. Текстил и рециклиран текстил као материјал за изолацију зграда

Текстил се традиционално у зградама доминантно користи за естетске потребе, али он испољава и доста функционалних перформанси. На пример, може се користити за топлотну и звучну изолацију због своје релативно порозне структуре, нарочито неткани текстил. Постоји доста истраживања о изолационим карактеристикама нетканог текстила, тканина и плетенина, али много је мање истраживања за примену текстилног отпада као изолационог материјала.

Незамењива својства вунених влакна у погледу топлотне изолације чине вуну одличним материјалом за изолацију грађевинских објеката. У заједничком пројекту Универзитета из Брна и Технолошког Универзитета из Беча [109] истраживана су својства еколошке изолације од вуне (Слика 13). Резултати показују да изолација од вуне има карактеристике сличне онима од минералне вуне, а у односу на еколошке компоненте и утицај на здравље људи је апсолутно доминантна. Ова изолација је природна сировина, једноставна за манипулацију и инсталацију, лако се рециклира, нема промене у запремини и еластичности у току животног века и има високу хигроскопност (до 35%). Апсорпција влаге је веома важно својство за функционалност сваког изолационог материјала. Захваљујући великој способности вунене изолације да апсорбује влагу, спречава се кондензација и ствара пријатна атмосфера у затвореним просторијама. Додатно, исто истраживање показује да је вуна и одличан акустичан изолатор. Предношћу ове изолације сматра се и висока отпорност према горењу.



Слика 13. Примена вуне за изолацију зграда, [109]

Поред свих до сада наведених добрих страна вунене изолације за зграде, оваквих материјала у пракси скоро уопште нема због јединог, али великог недостатка - високе цене. Не само изолација од вуне, него било која изолација од природних текстилних влакана, на пример, памука, је веома скупа. На тржишту, и поред високе цене, већ постоје прихваћени комерцијални производи ове врсте.

Производи компаније „Inno-Therm” из Велике Британије су у облику ролне (Слика 14 а) или панела, а добијају се од рециклираног индустријског памучног материјала. Основне карактеристике „Inno-Therm” ролни су: памучни изолациони материјал, рециклиран материјал, третиран против запаљивости, биоразградив материјал, није потребна заштитна опрема за инсталацију, има 10% бољу звучну изолацију у односу на прописане ASTM/USA стандарде, за обезбеђивање структурног интегритета додата је одговарајућа количина полиестера, а коефицијент топлотне проводљивости $\lambda = 0.037 - 0.038 \text{ W/mK}$. Према мишљењу произвођача ове изолације, неки од важнијих разлога за њено коришћење су: производи се под лиценцом регенерисана изолација, помаже у смањивању количине текстилног отпада и представља идеалан еко-продукт, захтева много мање енергије за производњу него класична изолација, испуњава стандарде негоривости, антибактеријске заштите и корозије. Такође смањује величину конструкцијског оквира код преградних зидова, може се користити за изолацију подова и као звучна изолација, не садржи иритантне хемикалије, лако се манипулише и има пријатан додир [8].

Француска компанија за рециклажу „Le Relais” која скупља на годишњем нивоу 45.000 тона коришћеног текстила, има развијен производ за топлотну изолацију под именом „Mettise”. Производ садржи најмање 85% рециклираних влакана и састоји се од памука, 70% вуна/акрил, 15% и 15% полиестера, додатог као везивно средство. Материјал је додатно обрађен против гљивица и инсеката, а производи су у облику ролни и панела различитих дебљина и запреминских маса. Код ролни запреминска маса је

$\rho = 18 \text{ kg/m}^3$, а дебљина $h = 50 - 120 \text{ mm}$, док је код панела (Слика 14 б) запреминска маса $\rho = 25 \text{ kg/m}^3$, а дебљина од $h = 50 - 200 \text{ mm}$.



а - Inno-Therm ролна



б - Mettise панел

Слика 14. Изолација од рециклираног памучног материјала, [8,9]

Коефицијент топлотне проводљивости ових материјала је $\lambda = 0.039 - 0.042 \text{ W/mK}$. Вредност топлотне изолације Mettise упоредива је са топлотном изолацијом материјала од стаклених и минералних влакана. Користи се за изолацију плафона, кровова и зидова. Фирма производи и специјализоване материјале за акустичну изолацију чија дебљина је $h = 20 \text{ mm}$ за ролне или $h = 45 \text{ mm}$ за панеле, а запреминска маса је у оба случаја $\rho = 45 \text{ kg/m}^3$ [9,11].

Поред топлотних и акустичких, Mettise производи имају и изванредне механичке карактеристике. Коефицијент топлотне проводљивости је $\lambda = 0.039 \text{ W/mK}$, специфични топлотни капацитет $c_p = 1600 \text{ J/kgK}$, а способност упијања воде $W_p = 7.04 \text{ kg/m}^2$ [9].

Шкотски студио за истраживање и дизајн „Kraft Architecture“ развио је изолациони производ - „Thermobond“ [110] намењен за изолацију поткровља, спољашних зидова и подова. Thermobond је направљен од 100% од рециклираног текстила који долази из шкотске индустрије вуне. Вуна је комбинована са 8% полиестра као термичко везивно средство. Производ је додатно обрађен против горења и има топлотну проводљивост $\lambda = 0.034 \text{ W/mK}$.

У Португалу [107] је истраживана могућност примене текстилног отпада после краткотрајног развлакњивања као изолациони материјал за дупле унутрашње зидове. Текстилни отпад коришћен у истраживању (Слика 15) потиче из португалске индустрије производње душека који је по сировинском саставу веома различит, али у овом

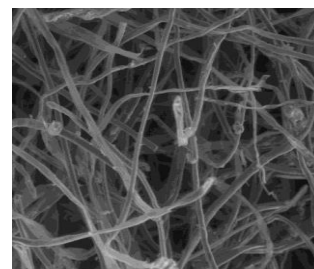
конкретном случају, отпад је по саставу полиакрилонитрилни. Величина честица је од 8 до 15 μm . Резултати истраживања показују одличан потенцијал за примену овог материјала као изолације код дуплих унутрашњих зидова.



а) текстилни отпад



б) рециклиран текстилни отпад



в) микроструктура

Слика 15. Текстилни отпад као материјал за изолацију, [107]

2.3.5. Полиестерски отпад као сировина за изолационе материјале

Полиестер има различиту текстилну и индустријску примену захваљујући одличним физичко-механичким карактеристикама, ниским трошковима, лакој доступности, и сл. Полиестер, познат под називом полиетилентерефталат (PET) је најкоришћенији полимер за производњу синтетичких влакана у последњих 50 година. Примена полиестера је интензивно повећана као резултат производње влакана са различитим облицима попречног пресека [96]. Најважније физичке карактеристике полиестерских влакана су: густина влакна - 1.38 g/cm^3 , издужење до прекида - 15 - 30% модул еластичности - 90, задржавање влаге - 0.40%, тачка топљења - 250°C , отпорност на UV зрачења: слаба. ПЕС влакна имају специфични топлотни капацитет $c = 1200 - 1350 \text{ J/kgK}$, док је њихов коефицијент топлотне проводљивости $\lambda = 0.15 - 0.4 \text{ W/mK}$. Материјали од ПЕС влакана при горењу се скупљају, топе се и развијају велику количину дима [111,112].

ПЕС влакна имају веома униформну структуру због чега микроорганизми тешко могу да проузрокују оштећења структуре, односно њихову биодеградацију. У компостирачком центру Cornell универзитета у САД вршена су испитивања биодеградације памучних и полиестерских плетенина у контролисаним лабораторијским условима и у природним условима. Биодеградација је у оба случаја (у лабораторији и у природним условима) одређена на основу губитка масе после 90 дана. Памучне плетенине показале су знатни степен биодеградације односно губитак масе од 50 -77% што значи да се они могу сврстати у компостибилне материјале. Ово може бити

алтернатива кад се размишља о менаџирању отпада памучних плетенина. Са друге стране, проценат биодеградације полиестерске плетенине био је незнатан, што значи да су оне некомпостибилне [113].

На шведском универзитету Boras испитивана је биоразградивост памучних, ланених, јутених, вунених и полиестерских тканина. Код тканина од природних влакана највећу отпорност према биодеградацији показала је вунена тканина. Јутене и ланене тканине имале су већи степен биодеградације у односу на памучне тканине. Полиестерске тканине остале су потпуно неразграђене [41]. Резултати претходна два истраживања [41,113] само потврђују познату чињеницу да су полиестерске тканине и плетенине некомпостибилне, односно да компостирање не може бити алтернатива за решавање проблема са конфекцијским отпадом полиестерских тканина и плетенина.

С обзиром на важност полиестерских влакана у текстилној производњи и њихову велику потрошњу, јасно је да остају велике количине отпада полиестерских тканина и плетенина као и њихове мешавине. Због биолошке неразградивости сав овај отпад остаје на депонијама. Ово је један од најважнијих разлога за изналажење алтернативних метода за коришћење полиестерског отпада. Пожељне алтернативе су: хемијска рециклажа (скупа опција) или његова примена за израду изолационих материјала за грађевинарство. Од полиестерског отпада од кројења материјала за доњи веш произведен је изолациони материјал у облику панела са димензијама 200 x 200 x 5 mm. Коришћен је термички поступак: загревање плоче на $t = 190^{\circ}\text{C}$ уз константни притисак, за време од 15 минута. Припрема материјала састоји се од ситњења сецкањем преко сита у димензијама од 4 mm. Експериментално добијени панели су различитих густина. Вредности топлотне проводљивости $\lambda = 0.041 - 0.053 \text{ W/mK}$ су веома блиске вредностима комерцијалних изолационих производа [114].

Такође, испитиван је потенцијал полиестерских влакана као материјал за апсорпцију звука. Испитивања су извршена на унутрашњим преградним зидовима, пуњеним материјалом добијеним од полиестерског нетканог текстила (филц) са различитом површинском масом. Одређен је трансмисиони коефицијент губитка звука (sound transmission loss - STC), који опредељује класу трансмисионог губитка звука. Резултати показују да додатак исецканих комада полиестерског филца у унутрашњост преградних зидова повећава класу преноса звука, односно звучну изолацију, адекватно додатој количини и то за исту вредност као и додатак стаклене вуне. Побољшање STC јавља се на све фреквенције у интервалу од 100 - 500 Hz. За постизање максималне

вредности STC оптимална површинска маса полиестерског материјала је 1000 g/m^2 или више [96].

Испитивана су два нова изолациона материјала, један је направљен од кенаф влакана у полуригидним панелима, без коришћења адхезива са додатком 8 - 10% полиестра, дорађеним адитивима против горења, а други неткани текстил (влакнаста структура – филц) добијен је рециклирањем ПЕТ флаша. Оба производа имају запреминску масу $\rho = 30 \text{ kg/m}^3$ и дебљину $h = 50 \text{ mm}$. Измерене акустичне карактеристике код оба материјала су мало лошије у односу на конвенционалне изолационе материјале [115].

У табели 5 приказани су подаци испитивања [102] акустичких карактеристика полиестерских материјала и конвенционалних материјала за изолацију. Материјал од полиестерских влакана са дебљином $h = 45 \text{ mm}$ и густином $\rho = 20 \text{ kg/m}^3$ има бољи коефицијент звучне апсорпције, чак и у односу на конвенционалне материјале као што су камена вуна, стаклена вуна и полистирен.

Веома интересантан пример је производња материјала за топлотну изолацију од рециклираног ПЕТ, односно од пластичних флаша [116]. Топлотно-изолациони материјал је у облику панела. Техничке перформансе новог материјала су: густина $\rho = 35.5 \text{ kg/m}^3$, коефицијент топлотне проводљивости $\lambda = 0.0355 \text{ W/mK}$ и топлотна отпорност $R = 1 \text{ m}^2\text{K/W}$. Извршена је процена уштеде енергије код коришћења овог материјала у зградама и износи 87 MJ/m^2 . Сва енергија потрошена за производњу термо - акустичних изолационих панела од отпадних ПЕТ флаша враћа се за две године. Производња се састоји од три фазе: рециклажа, предење и формирање нетканог производа. Трајност ових изолационих панела је 60 година, отприлике колико износи животни век зграда.

Табела 5. Дебљина - h , густина - ρ и коефицијент апсорпције звука - α конвенционалних изолационих материјала и полиестерског материјала, [102]

Материјал	h (mm)	ρ (kg/m ³)	α				
			250 (Hz)	500 (Hz)	1000 (Hz)	2000 (Hz)	250-2000 (Hz)
Стаклена вуна	50	50	0.45	0.65	0.75	0.80	0.663
Камена вуна	50	80	0.29	0.52	0.83	0.91	0.638
Полистирен	50	28	0.22	0.42	0.78	0.65	0.518
Полиестер	45	20	0.56	0.85	0.98	0.95	0.835

2.3.6. Евалуација изолационих материјала

Евалуација једног изолационог материјала је проблем који се мора разматрати са више аспеката: физичке карактеристике материјала, утицај на околину и људе, лакоћа инсталације и цена коштања [6]. Како је већ поменуто, физичке карактеристике се одређују на основу мерења, а добијени резултати се упоређују са стандардним вредностима, тако да је релативно лако направити евалуацију са овог аспекта. Такође, није проблем оценити лакоћу инсталације, као и цену материјала. Најтежи део евалуације изолационих материјала је утицај на околину и људе, такозвани **Ecological Foot Print (EFP)**, тј. **Еколошки отисак**.

Еколошки отисак региона или друштвене заједнице представља количину биопродуктивне области: копно или водена површина (у хектарима) потребна да обезбеди потрошњу, да апсорбује количину CO_2 произашлу из производње и емисију осталих гасова и да апсорбује отпад. Најважнија димензија еколошког отиска је импакт на популацију неког региона која конзумира материјална добра или услуге [117].

EFP је мера људских потреба у односу на земљин екосистем и представља стандардизовану меру потребе за природним богатствима у односу на еколошки регенеративни капацитет екосистема на планети. Поједностављено, еколошки отисак нам показује колико расту и опадају наши захтеви над природом у облику основних људских потреба за водом, храном, простором, апсорбованим угљен диоксидом, отпадом, итд. Човечанство данас користи еквивалент од 1.5 планете да би обезбедило ресурсе и апсорбовало отпад који настаје у процесу производње и потрошње. Ово значи да је планети Земљи потребно 1.5 година (подаци из 2007. г.) да обнови оно што је произведено и потрошено за годину дана. Ако се тренутни тренд раста становништва и потрошње настави до тридесетих година овог века, нама ће требати еквивалент од две планете Земље да нас издржава [118]. Еколошки отисак служи као мерљив индикатор одрживог развоја. Поред укупне вредности еколошког отиска, он се рачуна и по категоријама: угљен диоксид, храна, домаћинство, материјална добра и услуге. Еколошки отисак се дели на: водени отисак, отисак угљен диоксида и еколошки отисак у ужем смислу, сва три чине такозвану „породицу отисака” (Foot print family).

Carbon Foot Print (CFP) тј. отисак угљен диоксида или карбонски отисак је израз који се користи за описивање количине гасова, тзв. „стаклена башта”, проузрокованих од поједначних дејстава или у општем смислу. CFP је мера утицаја свих активности на околину, нарочито на климатске промене и може бити примарни и

секундарни. Примарни CFP је мера директне емисије стаклених гасова. Директни извори се лако препознају, на пример, сагоревање фосилних горива, и могу се контролисати. Секундарни CFP је мера индиректне емисије стаклених гасова у току читавог животног циклуса. У одређивању секундарног CFP корисни инструмент је процена животног циклуса LCA [15].

LCA је методологија која омогућава корисне информације о количини потребних ресурса и енергије за производњу неког производа и емисија продукта у атмосферу у току производног процеса [16]. Према стандарду ISO 14044 LCA је техника која се односи на утицај читавог животног циклуса неког производа на околину, од почетних сировина до краја употребе, рециклаже, па све до финалног одлагања (концепт „од колевке до гроба“) [119].

LCA се веома често користи за процену одрживости неког производа и његовог еколошког отиска. Релевантни фактори у процени животног циклуса производа према U.S. EPA (SAIC, 2006.) су следећи [16]: уништавање озонског омотача, глобално загревање (GWP), формирање смога, ацидификација, еутрофикација, канцерогена обољења код људи, неканцерогена обољења код људи, екотоксичност, смањење залиха фосилних горива, употреба земљишта, употреба воде.

Global Warming Potential (GWP) тј. потенцијал глобалног загревања је релативна мера за количину топлоте коју ствара тзв. ефекат стаклене баште у атмосфери. GWP се рачуна за одређени временски интервал, обично 20, 100 или 500 година. GWP се изражава преко фактора угљен диоксида (чији GWP је стандардизован на 1). На пример, GWP метана за 20 година је 72, што значи да, ако се иста маса метана и угљен диоксида уведу у атмосферу, метан ће заробити 72 пута више топлоте него угљен диоксид у току следећих 20 година [120].

С обзиром на фокус овог рада размотрићемо неке податке о еколошком отиску текстилних производа (тканина) и изолационих материјала. Текстилна индустрија је један од већих извора стаклених гасова на планети. У 2008. г. глобална текстилна производња тканина процењена је на 60 билиона килограма. Процена енергије и воде неопходне за ову количину производа је 1.074 билиона kWh електричне енергије или 132 милиона тона угља и 6 - 9 трилиона литара воде [121].

Текстил, укључујући и одећу, учествује са једном тоном од 19.8 тона укупне емисије CO₂ по становнику, (податак из 2006. г.) у САД. За упоређење, на Хаитима представља само 0.21 тону од укупне емисије CO₂. Да би оцењивали карбонски отисак

неке тканине мора се утврдити скривена енергија у тканини што је резултат енергије потребне за њену производњу. Ово није једноставан поступак, а потребне су две одвојене фазе. У првој фази треба утврдити од какве сировине тј. од које врсте влакана је тканина произведена. Карбонски отисак је различит за различите врсте влакана, па се зато у процени мора почети од сировине. Код природних влакана, на пример биљних, полази се од енергије за њихово одгајање (контрола семена, механизација, наводњавање, примена пестицида и слично). Врста влакана показује колико је енергије потребно да би се прерадили до пређе. Следећа фаза је процена количине енергије потребне за ткање пређе. За пређу истог сировинског састава енергија претварања у тканину је прилично константна вредност, што је олакшавајућа околност [122].

Највећи проблем еколошког отиска код традиционалне производње памука је примена пестицида, односно њихов токсичан ефекат.

Синтетичка влакна потичу од фосилних горива, тако да се огромна количина енергије користи за њихову екстракцију. Полиестер се производи од нафте, необновљив и ограничен природан ресурс, што чини производњу у будућности несигурном, а производни процес има негативан импакт по околину. Производња ПЕС укључује велику количину енергије и генерише велику количину угљен диоксида, азот диоксида, сулфурне оксиде, чак се у атмосферу ослобађа и угљен моноксид. У току производње ПЕС ствара се 7.5 - 9.52 kg CO_2 по тони произведених влакана. Вода се не троши у великим количинама, она се користи само за хлађење и та се вода може поново искористити. Вода у производњи ПЕС је само 0.1% од количине воде потребне за производњу памука. У суштини производња памучних влакана захтева 40% мање енергије од производње ПЕС влакана, али с друге стране потребне су неупоредиво веће количине воде [117,123].

Истраживања Стокхолмског института за околину [121] показују да се за производњу 1 тоне синтетичких влакана троши много већа количина енергије, па је и емисија CO_2 много већа - 9.52 kg док је код памука 5.9 kg, а код конопље 4.05 kg. За разлику од традиционално одгајаног памука у САД, за једну тону органског памука у Индији ослобађа се 3.8 kg CO_2 .

Еколошки импакт тканина за хотелске чаршаве и крпа за брисање са сировинским саставом 50/50 памук/ПЕС мањи је од еколошког импакта истих производа од памука. Ово је резултат веће трајности 50/50 памук/ПЕС хотелских чаршава и крпа и мањих трошкова, односно мање потрошње енергије за прање. LCA импакт анализа показује да

чаршави од 100% памука за 100 циклуса прања троше 72% више енергије и 300% више воде у односу на 50/50 памук/ПЕС чаршава. GWP и потенцијал ацидификације 50/50 памук/ПЕС чаршава су за 38% мањи у односу на 100% памучне чаршаве [122].

LCA студија коју је израдила DEFRA (UK Department for Environment, Food and Rural Affairs) [124] показује предности грађевинских изолационих материјала од природних влакана у односу на остале, највише у области GWP - а захваљујућу смањењу количине угљеног диоксида у атмосфери. Друга велика област где имају предност су климатске промене. Материјали испитивани у овом пројекту су „Isonat” - материјал од конопље и рециклираног памука и „Thermafleese” - материјал од отпадака вуне. Студија је урађена у почетној фази развоја ових производа са циљем да се резултати искористе за побољшање квалитета производа. Као водич у истраживању послужили су подаци из претходног истраживања, односно анализа животног циклуса камене вуне произведене од фирме KNAUF. Основна јединица изабрана у истраживању је изолација 1 m² површине. Импакт Isonat - материјала је био незнатно већи у односу на Thermafleese - материјал у неколико импакт категорија. Резултати студије показују да треба да се смањи густина, нарочито код Isonat материјала који има изванредну акустичну изолацију. Главни закључак ове студије је да анализирани изолациони материјали имају позитиван допринос у односу на глобално загревање преко смањења количине CO₂ и препоручује се повећање производње и употребе ових материјала уместо конвенционалних изолационих материјала.

За било какву евалуацију изолационих материјала мора се узети у обзир да не постоји материјал који ће испунити све критеријуме према којима се врши евалуација.

Tupa [99] је урадио истраживање о одрживости изолационих материјала према LCA. Резултати истраживања (Табела 6) показују да се у контексту LCA конвенционални изолациони материјали рангирају веома ниско јер се не рециклирају, имају негативан утицај на околину, људско здравље и GWP. Са друге стране, изолациони материјали од рециклираног текстила сматрају се одрживим материјалима према LCA, највише због могућности поновне употребе, рециклаже и ниске вредности скривене енергије. Ипак, као резултат недовољне свести потрошача, изолациони материјали од рециклираног текстила нису заступљени на тржиштима у оној мери у којој заслужују.

Табела 6. Евалуација изолационих материјала према LCA, [99]

Критеријуми одрживости	Неорганске/минералне		Органске/синтетичке			Иновативне			Органске			Рециклиране
	Камена вуна	Стаклена вуна	Полиуретан	Екструдирани Полистирен	Експандирани Полистирен	Транспарентни	Вакумски	Гасни	Вуна	Слама	Плута	Целулоза
Скривена енергија (MJ/kg)	20	35	135	133	125	-	-	-	29	14.5	30	19
λ (W/mK)	0.035-0.050	0.035-0.050	0.030-0.035	0.028-0.032	0.04	0.02	0.005	0.020-0.012	0.04	0.052	0.045-0.055	0.035-0.045
Резерве (године)	41	35	-	-	-	-	-	-	обнов-љив	обнов-љив	обнов-љив	обнов-љив
Вода (l/kg)	1360	1360	-	-	-	-	-	-	-	-	25	10
Животни циклус (године)	30-50	30-50	30-50	50	50	дуг	дуг	дуг	-	-	50-80	-
Реупотреба и Рециклажа	-	-	-	да	да	-	-	-	да да	да да	да да	да да
Хлорофлуорокарбонати	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-
Утицај на животну средину и здравље људи	нема негативан утицај на животну средину, ризичан по здравље	нема негативан утицај на животну средину, ризичан по здравље	негативан утицај на озонски омотач	негативан утицај на озонски омотач	загађивач животне средине	-	-	-	-	-	-	-
GWP	1740	1700	14500	21500	3500	-	-	-	500	5	600	230

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДЕО

3.1. Циљ докторске дисертације

С обзиром на структуру текстилне индустрије у Македонији где преовлађује конфекцијска индустрија, генерише се велика количина конфекцијског индустриског отпада (отпад из процеса кројења). Када размишљамо о рециклажи отпада јасно је да је његов квантитет и квалитет најважнији фактор, али се при томе мора узети у обзир да само сортиран отпад може да се рециклира. Конфекцијски отпад може релативно лако да се сортира, а поседује исте физичко - механичке особине као и нови текстил.

Екстензивна истраживања у вези поступања са отпадом произашлим из конфекцијске индустрије показују да је у одевној индустрији уобичајена пракса да он заврши на депонијама. Зато је један од циљева ове дисертације:

Истражити квалитет и квантитет конфекцијског отпада који конфекцијска индустрија генерише, као и спремност текстилних произвођача за сортирање текстилног отпада и моделирати ставове топ менаџмента македонских конфекцијских компанија о поступању са отпадом.

Комерцијални изолациони материјали од текстилног отпада у грађевинарству показују конкуритивна својства и поред тога што немају третман стандардно коришћених материјала у односу на конвенционалне изолационе материјале.

Досада су се за ову намену користили само текстилни отпаци погодни за механичку рециклажу, на пример, „динс” тканина која уобичајено има површинску масу $m = 200 - 400 \text{ g/m}^2$, израђена од грубе памучне пређе са финоћом $T_t = 60 - 100 \text{ tex}$ и због тога се релативно лако развлакњује. То се исто односи и на плетенине, које се због своје ретке структуре такође лако развлакњавају, што омогућава једноставније рециклирање механичким поступком за разлику од тканина које имају знатно компактнију структуру па је њихова механичка рециклажа тежа.

Рециклирање текстилних отпадака до влакана, особито рециклирање тканина, је енергетски релативно захтеван процес који поново ствара отпад (око 30%). Примена веће механичке снаге у току механичке рециклаже синтетичких, нарочито полиестерских тканина, може проузроковати њихово топљење и лепљење на деловима машине за рециклажу. Литературни преглед у теоријском делу рада показује да су сви комерцијални изолациони производи дизајнирани од рециклираног текстилног отпада у облику влакана, и зато је основни циљ дисертације:

Развити поступак за добијање изолационе структуре од отпада произашлог из индустрије одеће, а да се при томе отпад само механички сече. За оптимално изабрану структуру, у односу на топлотно - акустичну изолациону способност, дефинисати најпогодније улазне параметре. Због све веће потрошње полиестерских тканина идеја је да се уситњени отпад од њиховог кројења искористи за изолациони материјал који се може применити у неким сегментима грађевинарства, тј. изолацију преградних зидова и кровова у објектима.

Имајући у виду ова два циља дисертације практично истраживање је вођено у два правца:

- **истраживање менаџирања текстилног отпада и**
- **дизајнирање и испитивање карактеристика нове изолационе структуре.**

3.2. МЕНАѢИРАЊЕ ТЕКСТИЛНОГ ОТПАДА

3.2.1. Методологија истраживања

Почетна фаза истраживања у овом делу је квалитативна и квантитативна анализа текстилног отпада. Као извор података коришћени су документи Државног завода за статистику:

- Статистички годишњаци за 2009, 2010. и 2011. г.
- Публикације: Спољнотрговинска робна размена за 2009, 2010. и 2011. г.
- Публикација: Индустрија 2006 - 2011. г.

Следи део истраживања који је намењен проучавању ставова топ менаџмента македонских одевних компанија према селектирању, тј. сортирању текстилног отпада који се ствара у производњи. Као инструмент користи се *анкетни упитник*. Анкетни упитник дат је у овом раду у Прилогу 2.

Упитник је дизајниран са циљем анализе:

- врста генерисаног отпада (врста текстилног материјала, сировински састав, садржај Лусга® влакана),
- пракса паковања отпада,
- начин одлагања отпада, трошкови одлагања отпада, баријере за увођење ефикаснијег система за менаџирања текстилног отпада и
- утврђивање ставова топ менаџера текстилних компанија према заштити животне средине.

У упитнику је јасно наведено која је његова намена као и упутство како одговарати на питања. Општи део упитника садржи питања о основним подацима о компанијама. Упитник садржи укупно 32 питања подељена у три секције. Питања су структурирана са вишечланим избором одговора, а испитаници одговарају бирањем алтернативног одговора између 5 до 7 понуђених алтернатива. Нека питања имају као алтернативни одговор само да или не. После дизајнирања анкетног упитника извршена је провера структуре и садржине, (тзв. пилот тест) лично у неколико компанија. Тако је утврђено да су питања јасно и прецизно дефинисана. Упитник је дистрибуиран у 120 текстилних компанија током септембра 2012. године. Свих 120 компанија су чланице највеће асоцијације текстилних произвођача у земљи - текстилног кластера (Textile Trade Association). У 66% случајева коришћен је метод личног интервјуисања топ менаџера, док је у 34% случајева упитник достављен преко електронске поште. Добијени резултати су статистички обрађени и анализирани помоћу стандардних статистичких метода и програма *Statistika SPSS*.

Моделирање понашања македонског топ менаџмента конфекцијских компанија према сортирању конфекцијског отпада извршено је у две фазе:

1. дескриптивна статистика са циљем утврђивања генералног става и
2. тестови за утврђивање разлика између група са позитивним и негативним ставовима, **Chi - square** тест, **Kaiser – Meyer – Olin - ов (КМО)** тест и **Bartlett - ов** тест.

3.2.2. Резултати и дискусија

3.2.2.1. Квалитативна и квантитативна анализа конфекцијског отпада

Текстилна индустрија у Македонији је једна од најважнијих индустрија. До 1990. године била је развијена базична текстилна индустрија, а данас је развијена конфекцијска индустрија (95% текстилне производње отпада на конфекцијску). У Македонији има више од 300 конфекцијских компанија које месечно извозе око 1.400.000 комада одеће. У Штипском (источном) региону концентрисано је око 50% од укупне конфекцијске производње. У Штипу има 77 конфекцијских компанија са око 6000 запослених, у Кочанима 50 и у Делчеву 30. Већи део конфекцијских компанија су мала и средња предузећа са 30 - 500 запослених што омогућава лакшу промену палете производа и величину серија.

Текстилна индустрија има важну улогу у македонској економији. У укупном БДП - у учествује са 15.2%, а у индустријском са 21.8%. У укупном извозу текстилна индустрија учествује са 26%, а запошљава 28% од укупног броја радника у индустрији [125]. 93% конфекцијске производње организовано је по систему СМТ (Cut, Make & Trim) за страна тржишта, највише се извози у земље ЕУ. Укупни вредносни извоз текстилне индустрије се из године у годину вредносно повећава, тако да од 357 милиона долара у 2000. г. достиже 766 милиона долара у 2008. г., а са појавом економске кризе у 2009. и 2010. г. смањује се на 627.5 односно 619.9 милиона долара. У 2011. г. поново расте и износи 720.2 милиона долара (Табела 7). Учешће извоза текстилне индустрије у укупном извозу опада са 30.9% у 1998. г. на 17% у 2011. г. У односу на укупни извоз у текстилној индустрији у 2011. г. извоз тканина учествује само са око 8%, док извоз одеће учествује са око 92%. Због поређења су приказани и подаци за увоз текстила (тканина, плетенина и пређе) и увоз одеће (Табела 8). Највећа вредност укупног увоза текстила (претежно из Немачке, Грчке, Италије и Холандије) бележи се у 2008. г. Ради се о увозу материјала који се дорађују у земљи, а затим се извозе као одећа.

Укупна количина отпада у Македонији на годишњем нивоу је 26 милиона тона од којих 2.2 милиона тона отпада на чврст отпад.

Табела 7. Укупан извоз и структура извоза текстилних производа, [126]
(у милионима долара)

Година	2000.	2005.	2007.	2008.	2009.	2010.	2011.
Укупан извоз	1.322	2.041	3.356	3.978	2.691	3.301	4.455
Извоз текстилне индустрије	357	539	684.5	766	627.5	619.9	720.2
Извоз тканина и плетенина	46	25	49.5	55	45.5	56.4	61.8
Извоз конфекцијских производа	311	514	635	711	582	563.5	658.4

Према подацима Националног плана за управљање са отпадом од укупне количине чврстог отпада 950 тона је отпад од крзнарске, кожне и текстилне индустрије. 795 тона овог отпада нису опасни, а 155 тона је опасно. Текстилни отпад се ствара у индустријској производњи текстила и одеће, од потрошача, комерцијалне и услужне делатности. У укупној количини комуналног отпада на годишњем нивоу у Македонији што износи 572.000 тона, текстилни отпад учествује са 2.9% односно 16.599 тона. Прогноза је да ће количина комуналног отпада расти за око 1.7% годишње и да ће достићи 700.000 тона у 2020. г. или 285 - 350 kg отпада по становнику [127,128].

Табела 8. Увоз текстила, [126]
(у хиљадама долара)

Година	2005.	2007.	2008.	2009.	2010.	2011.
Увоз текстила	34.608	425.181	480.368	387.379	403.200	475.507
Увоз одеће	5.856	76.730	88.222	74.184	64.650	66.661
Укупно	40.464	501.911	568.590	461.563	467.850	542.168

Према овим подацима сваки становник као комунални отпад избацује преко 8 kg текстилног отпада годишње, што је према мишљењу аутора прецењена вредност. Потрошња текстила и одеће у светским размерима је различита у зависности од степена економске развијености земље и еколошке свести становника. Највећи потрошач су САД са 35 kg по становнику годишње, следе европске земље са 20 kg по становнику годишње, док неразвијене земље троше 3 - 9 kg по становнику годишње [129].

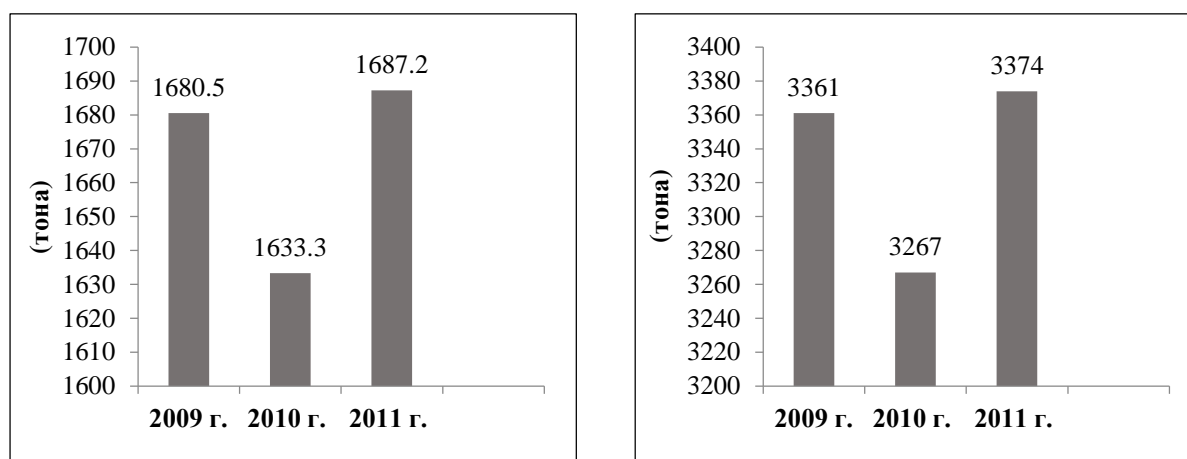
Података о потрошњи текстила и одеће по становнику у Македонији нема, а према процени аутора ова вредност је од 10 - 12 kg по становнику годишње. Од статистичких годишњака Државног завода за статистику [130], израђен је табеларни приказ извоза најважнијих конфекцијских производа за 2009, 2010. и 2011. г. (Табела 9).

Табела 9. Извоз најважнијих конфекцијских производа

Ред. број	Производ	Тона (t)		
		2009. г.	2010. г.	2011. г.
1	Женске блузе, кошуље-блузе	3.774	3.090	2.423
2	Мушке памучне кошуље	2.335	2.390	2.596
3	Женске панталоне и радни комбинезони	2.263	2.499	2.545
4	Мушке панталоне, комбинезони и шорцеви	1.931	1.917	2.415
5	Мушке јакне и блејзери	859	900	1.111
6	Женске јакне и блејзери	809	805	830
7	Женске блузе и кошуље (плетене)	1.680	1.253	1.333
8	Поткошуље и мајице (плетене)	1.396	1.517	1.713
9	Женске сукње и сукња - панталоне	795	689	604
10	Женске хаљине	410	453	382
11	Друга мушка одећа	553	820	920
12	Укупно	16.805	16.333	16.872

Ауторови прорачуни према подацима из Статистичких годишњака за 2009, 2010. и 2011. г. Државног завода за статистику Р. Македоније, [130]

Ако се узме у обзир да је количина отпада од кројења у границама од 10 - 20% за вредност отпада од 10% годишње количине отпада су: 1680.5 t за 2009. г., 1633.3 t за 2010. г. и 1687.2 t за 2011. г., док су годишње количине отпада за максималну вредност од 20% 3361 t, 3267 t и 3374 t за 2009, 2010. и 2011. г. (Слика 16 а и б). Просечна вредност отпада у првом случају за минимални проценат отпада је 1668.7 t, а у другом случају за максимални проценат 3334 t.



а) за вредност отпада од 10%

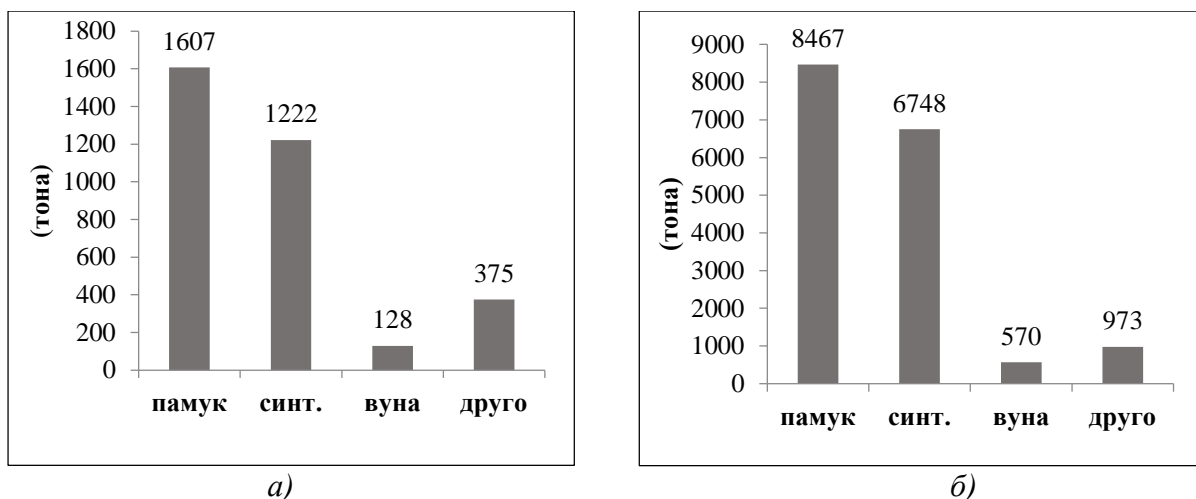
б) за вредност отпада од 20%

Слика 16. Количина отпада од кројења за 2009, 2010. и 2011. г.

Предмет интересовања је проценити не само квантитет него и квалитет конфекцијског отпада, тј. његов сировински састав. Због тога што анализа из табеле 9 обухвата само најбитније конфекцијске производе и не даје преглед по сировинском саставу материјала у Прилогу 1 (Табела П.1.1) је приказан детаљан преглед свих извезених конфекцијских производа према сировинском саставу за 2010. г.

Према табели П.1.1 у току 2010. г. извезено је 18.885 t конфекцијских производа. Од тога 9.109 t су памучни конфекцијски производи, 6.924 t су од синтетичких и вештачких влакана, 727 t од вуне, свиле и животињских влакана, а 2.125 t другог сировинског састава. За просечну вредност отпада од 15% према овим подацима генерисани отпад од кројења је 3333 t, од којих 1607 t је памучни отпад, 1222 t су синтетичка и вештачка влакна, 128 t вуна, свила и животњска влакна и 375 t отпад осталог сировинског састава (Слика 17 а).

У Прилогу 1 (Табела П.1.2) приказан је детаљан преглед количине увезених сировина за конфекцијску индустрију у 2010. г. Увоз тканина, плетенина и нетканог текстила износи 16.758 t: 8467 t памука и мешавина са памуком, 6748 t синтетичких влакана и мешавина са синтетиком, 570 t вуне и финих животињских влакана и њихове мешавине и 973 t другог сировинског састава (Слика 17 б).



Слика 17. Отпад од кројења према сировинском саставу (а) и увезене сировине за конфекцијску индустрију (б)

Из анализе произилази да у земљи на годишњем нивоу остаје по становнику **1.7 kg** конфекцијског отпада који је нов, чист са задржаним физичко - механичким својствима и не тражи никакав третман пре рециклирања. Највећи део конфекцијских предузећа овај отпад баца и заједно са осталим комуналним отпадом посредовањем комуналних предузећа он завршава на депонијама, где се најчешће врши његово сагоревање без искоришћавања топлотне енергије. Размишљајући о рециклажи текстилног отпада треба имати у виду ову анализу, односно чињеницу да се у Македонији генерише значајна количина текстилног отпада из текстилне, тј. конфекцијске индустрије.

3.2.2.2. Анализа текућег стања у управљању текстилним отпадом

Анализа текућег стања у управљању отпадом извршена је на основу одговора топ менаџера текстилних компанија на питања из анкетног упитника (Прилог 2).

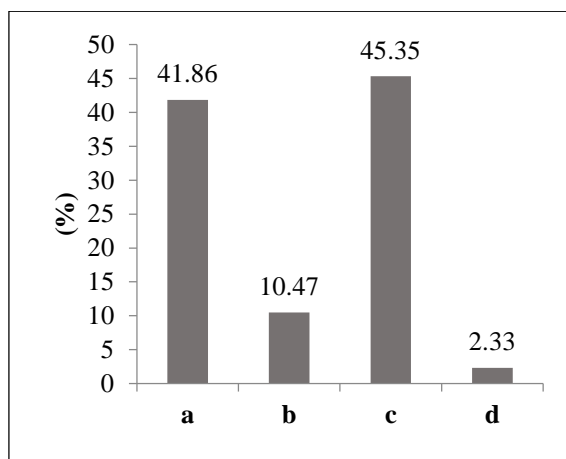
Од 120 компанија у којима је упитник дистрибуиран одговори су добијени од 86 компанија. 54 компаније, односно 62.8% од испитаника су из Штипа, а остали из различитих градова у Македонији.

У литератури постоје различити приступи класификацији компанија према броју запослених. На пример, Grasso [37] класификује компаније са бројем запослених мањим од 100 као мале компаније, а са већим од 100 као велике компаније. Компаније у земљама Европске уније класификују се као микро компаније ако имају мање од 10 запослених, као мале компаније до 50 запослених, као компаније средњег обима са 50 - 250 запослених и велике компаније са више од 250 запослених [131]. Према европској

класификацији највећи део анкетираних компанија су средњег обима (51.4%), мале компаније су заступљене са 29.7% и велике компаније са 18.9%. У 6 случајева испитаници нису дали одговор на питање о броју запослених радника у компанији. Укупан број запослених у анкетираним компанијама износи 11.490. Компаније са мање од 150 запослених чине 65% од укупно анкетираних.

Што се тиче врсте текстилног отпада који се генерише у компанијама доминирају остаци од кројења (97.67%), а само 2.32% је текстилни отпад од влакана, пређе и остатака нетканог текстила. Због овакве ситуације можемо слободно користити термин конфекцијски отпад тј. отпад од кројења уместо текстилни отпад.

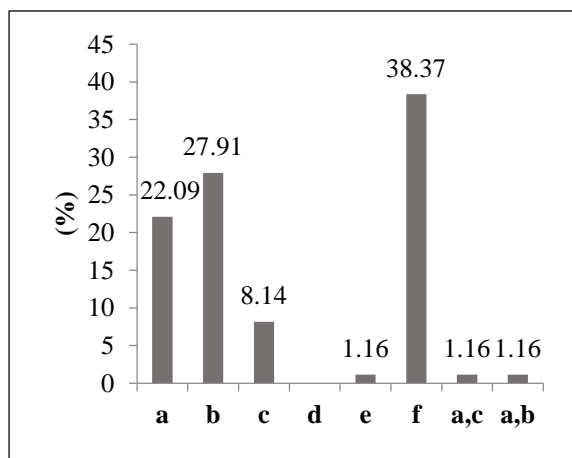
На слици 18 су приказане врсте текстилног материјала који најчешће користе компаније. 45.35% испитаника одговорило је да користи тканине и плетенине, 41.86% ради искључиво са тканинама, а много мањи део само са плетенинама, 10.47%. Са нетканим текстилом као доминантним материјалом ради само 2.33% компанија.



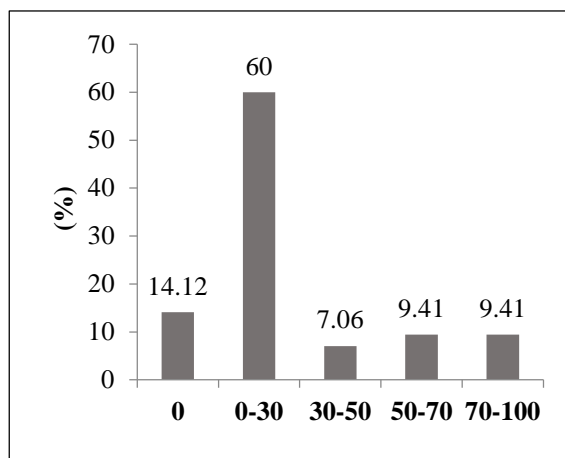
Слика 18. Врста текстилног материјала
a - тканине, *b* - плетенине, *c* - тканине и плетенине, *d* - неткани текстил

Што се тиче сировинског састава текстилних материјала (Слика 19) доминирају чисти памучни материјали и њихове мешавине, укупно 51.16%. Са материјалима различитог сировинског састава ради 39.53% компанија (памук, синтетика, вуна, лан и др.), док 8.14% ради искључиво са синтетичким материјалима. Материјали од вуне и вунених мешавина заступљени су само са 1.16%. Слика 20 показује колики је проценат текстилних материјала који садрже Лусга® влакна тј. еластин. Само 14.12% компанија ради са материјалима који не садрже Лусга® влакна. 60% испитаника одговорило је да 30% њихових материјала садрже Лусга® влакна, док је код осталих овај проценат чак и

већи. Код 9.41% компанија скоро сви материјали (70 - 100%) са којима раде садрже одређени проценат Лусга® влакана. Садржај Лусга® влакана варира између 1 и 30%.



Слика 19. Сировински састав материјала
a - памук, *b* - памучне мешавине,
c - синтетика, *d* - вуна,
e - вунене мешавине,
f - различит сировински састав

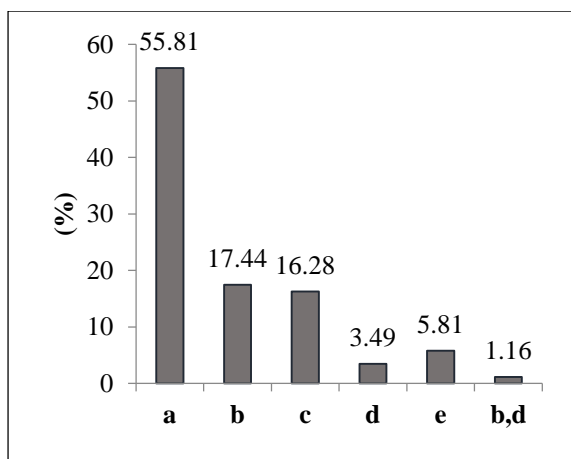


Слика 20. Материјали према садржају Лусга® влакана

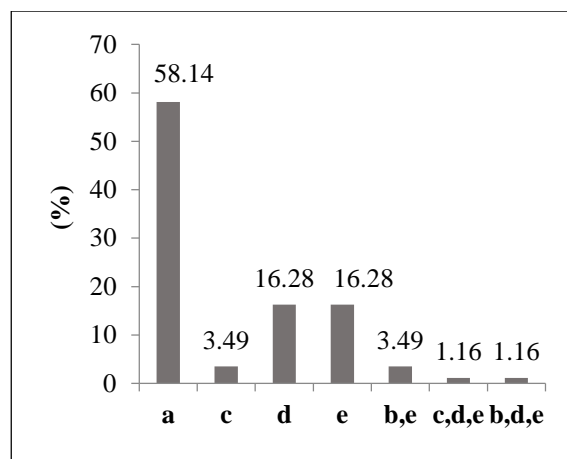
После анализе врсте и сировинског састава отпада следи анализа која се односи на поступање са генерисаним текстилним отпадом од стране компанија. Најчешћи начин паковања отпада (Слика 21) је у пластичне вреће, примењују га 55.81% компанија, затим паковање у картонске кутије 17.44%, док 16.28% баца отпад директно у контејнере. У памучне вреће отпад сакупља 5.81%, а балира га 3.49%. Један веома мали део компанија 1.16% примењује комбинацију више начина, на пример, балирање и паковање у картонске кутије.

Отпад од кројења (који је доминантан) је углавном чист, према 58.14% испитаника у врећама, кутијама или балама нема никаквих других предмета осим кројног отпада (Слика 22). Остали испитаници су одговорили да у врећама, кутијама или балама има и других нетекстилних предмета. Према њиховим одговорима доминантни су картон и папир као и дугмад и калем, заступљени са по 16.28%. Код осталих 9.3 % има картона, металних предмета, дугмади, или њихових комбинација.

Слика 23 показује како компаније одлажу свој отпад. Локална комунална предузећа задужена су за сакупљање отпада чак у 94.19% случајева. Затим се отпад баца на локалне депоније где се врши његово сагоревање. Много мање заступљена метода је када отпад скупља лиценцирана компанија 3.49%, индивидуално лице 1.16% или компанија за рециклажу 1.16%.



Слика 21. Пракса паковања отпада
a - пластичне вреће,
b - картонске кутије,
c - контејнери,
d - бале, *e* - памучне вреће

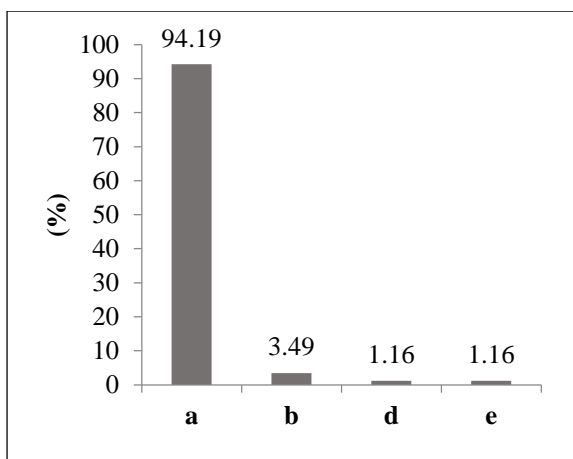


Слика 22. Присуство других предмета у текстилном отпаду
a – нема, *b* - пластика, *c* - метални делови, *d* - картон и папир,
e - дугмад и калем

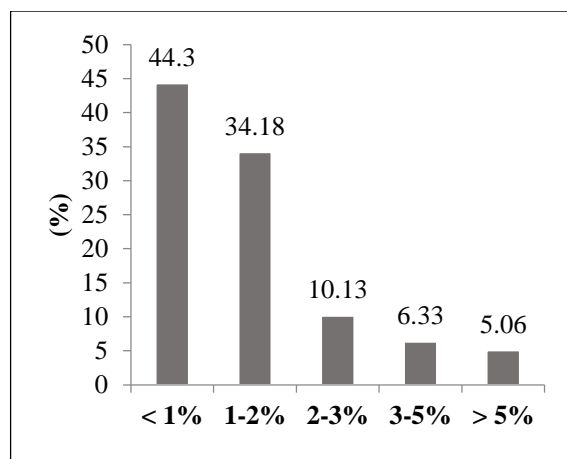
Према мишљењу већег дела испитаника поступање са отпадом на било који од горе наведених начина не кошта много. За 44.3% од њих трошкови за поступање са отпадом су мањи од 1% оперативног буџета компаније, за 34.18% трошкови су од 1 - 2%. Само код 5.06% трошкови су већи од 5% буџета компаније (Слика 24).

Веома важан моменат у читавој анализи су основне баријере за увођење ефикаснијег система управљања конфекцијским отпадом као и предуслови које треба да испуне компаније да би промениле постојећи начин менџирања отпада. Резултати на питање о основним баријерама за сортирање отпада приказани су на слици 25. Поред понуђених одговара на ово питање неки испитаници су додали и своје одговоре, то су варијанте одговора означене са *f* (продају свој отпад) и *g* (царинска регулатива). Недостатак заинтересованих купаца са 45.35%, и законска регулатива са 32.6% показали су се као главне баријере за сортирање и продају конфекцијског отпада. Само једна компанија од свих 86 испитаних за сада има праксу да сортира и продаје свој отпад компанијама за рециклажу. Мора се потенцирати да ова компанија ради искључиво са плетенинама.

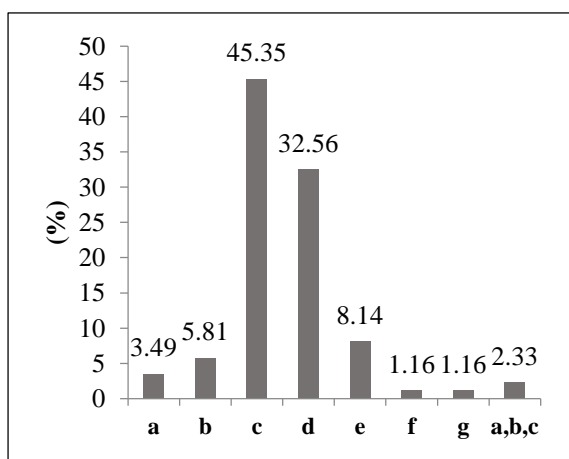
Главни услови због којих би компаније прихватиле да промене постојећи начин поступања са отпадом и увеле сортирање и продају отпада су: остваривање профита за 47.06% од испитаника, а дуготрајни договор са компанијама за рециклажу наведен је као одговор од стране 18.82%. 21.2% од свих испитаника нису вољни да уведу сортирање и продају отпада под никаквим условима (Слика 26). И на ово питање неки испитаници су додали свој одговор, варијанта *f* (сортирају и продају свој отпад).



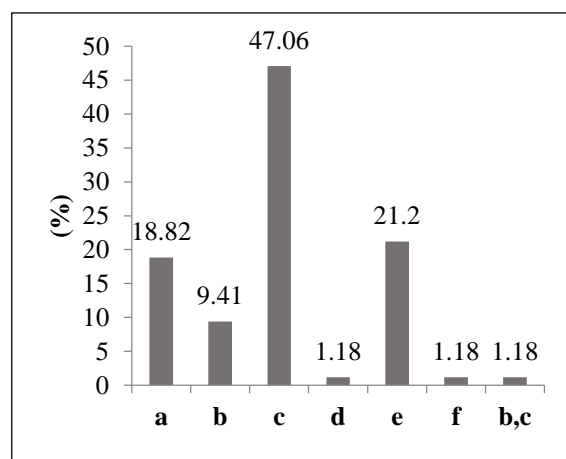
Слика 23. Пракса одлагања отпада
a - комунална предузећа,
b - лиценциране компаније,
c - невладине организације,
d - индивидуалци,
e - компаније за рециклажу



Слика 24. Трошкови одлагања отпада



Слика 25. Баријере у менаџирању отпада
a - транспортни трошкови,
b - трошкови сортирања и паковања,
c - недостатак купаца,
d - законска регулатива,
e - недовољан профит,
f - продају свој отпад,
g - царинска регулатива



Слика 26. Предуслови ефикаснијег менаџирања отпада
a - уговор са компанијама за рециклажу,
b - купци плаћају транспортне трошкове,
c - остваривање профита,
d - ако је профит од продаје већи од 5% од буџета,
e - не би прихватили сортирање и продају под никаквим условима,
f - сортирају и продају свој отпад

Интересантно је поређење овог питања са питањем о друштвеној одговорности произвођача у односу на загађивање животне средине. И поред чињенице да 98% испитаника тврде да је очување животне средине битно за њихову компанију, скоро

половина њих не би мењала постојећи начин поступања са отпадом, чак и ако то доноси профит, а више од једне четвртине не би сортирала и продавала отпад под никаквим условима и задржала би стари метод избацивања отпада на депоније тј. користили би услуге комуналних предузећа.

Према горњој анализи највећи део отпада из македонских конфекцијских компанија су тканине, најчешће памучне (100% памук) или памучне мешавине са присуством Лусга® влакана. Присуство еластана чини материјале непогодним за механичко рециклирање јер отежава и поскупљује процес рециклаже. Ипак остаје чињеница да овој отпад, нов и чист са задржаним физичко - механичким карактеристикама, има велику вредност за поновну употребу.

Одлагање текстилног отпада на депоније је доминантна пракса, комунална предузећа скупљају скоро сав настали отпад и избацују га на депоније где се сагорева без искоришћавања топлотне енергије. Отпад је најчешће упакован у пластичне вреће, што је непогодан облик за транспорт.

Други фактор који може бити кочница у увођењу другачијег, ефикаснијег начина менаџирања отпада, према мишљењу већег дела топ менаџера су ниски трошкови за депоновање. Испитаници су као најзначајније спољне баријере навели: недостатак тржишта за рециклиране производе и легислативу, док унутрашње баријере сматрају небитним. Највећи део топ менаџера прихватили би рециклирање отпада само у случају да доноси финансијски добитак компанији.

Највећи део конфекцијских компанија су средњег и малог обима са ограниченим ресурсима што чини вероватноћу за индивидуалне инвестиције у рециклажи веома малом. Влада Македоније и текстилни кластер треба да уложе озбиљне напоре не би ли помогли конфекцијским компанијама у примени нових пракса менаџирања отпадом.

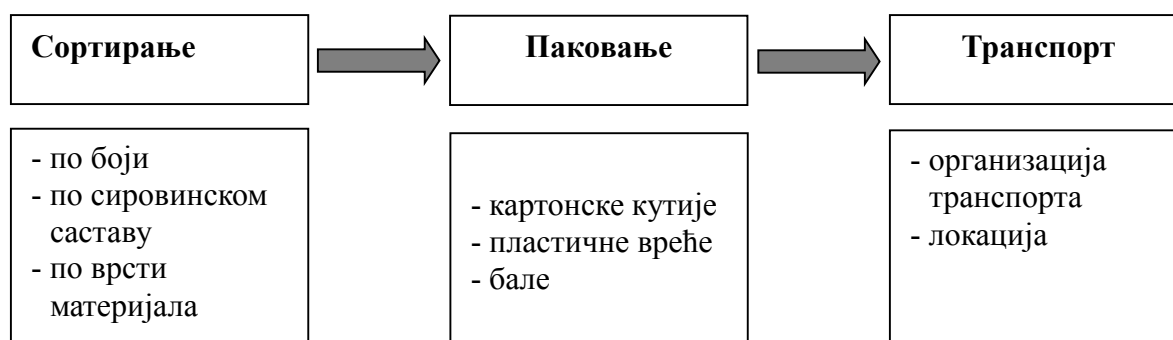
Имајући у виду досадашњу анализу боља алтернатива би била поновна употреба конфекцијског отпада у нови производ, на пример, као изолациони материјал без механичке рециклаже. Приоритет треба дати синтетичком отпаду, тј. отпацама који нису биоразградиви са циљем да се спречи загађење околине у случају дуготрајнијег задржавања отпада на депонијама.

3.2.2.3. Ставови топ менаџмента према менаџирању конфекцијског отпада

Иако је много истраживача радило на тему „текстилни отпад”, недостају академска истраживања из области специфичног проблема конфекцијског отпада. Највећи део истраживача категорише отпад према локалној индустрији која га генерише и према пракси његове рециклаже. Додатно, неки су истраживачи истраживали изазове увођења праксе рециклаже од стране произвођача одеће [24,28,132].

На пример, подршка рециклажи текстилног отпада од стране конфекцијских произвођача у Мисурију, САД испитивана је преко анализе 4 независне варијабле: искоришћавање материјала, величина општине, трошкови одлагања и студија оправданости, тј. физибилити студија. Резултати су показали да је подршка рециклажи од стране конфекцијских произвођача већа у урбаним у односу на рурална подручја, код већих компанија које имају већи економски бенефит и брину о ефикасном искоришћавању ресурса и код оних који су свесне да депоније значе губитак вредног земљишта [133].

У студији у Јужној Африци испитиване су тржишне и технолошке баријере за рециклажу отпада од компанија за израду одеће [24]. У сваком случају, ни једно истраживање није посвећено унутрашњим баријерама, као што су ставови менаџера компанија у односу на рециклажу. Било какво процесирање конфекцијског отпада предодређено је од начина сортирања, паковања и транспорта. На слици 27 може се видети кретање отпада у производним компанијама.



Слика 27. Ток конфекцијског отпада кроз производне компаније

Начин на који се отпад третира код произвођача, односно његова припрема за продају компанијама за рециклажу у великој мери утиче на његову вредност. Балирање отпада у бале прописаних димензија уместо скупљања у картонске кутије прави велику разлику за купца отпада, тј. повећава вредност отпада.

У овој фази истраживања треба детерминисати ставове македонског топ менаџмента према менаџирању конфекцијског отпада. Према Ајзеновој теорији логичног поступања [134], однос зависи од ставова који су предодређени контролом у понашању и субјективним нормама.

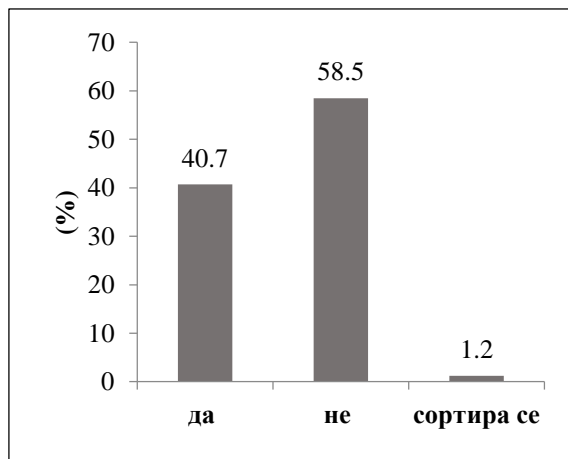
Применом ове теорије на проблем сортирања конфекцијског отпада, ставови топ менаџера биће предодређени од њиховог разумевања о лакоћи увођења процеса (логички контролисаног понашања) и од њиховог схватања о корисности процеса (субјективна норма). Другим речима, однос између лакоће, тј. препрека у увођењу сортирања, паковања и транспорта конфекцијског отпада са једне стране и трошкова и бенефита ове операција са друге стране одређују став менаџера према рециклажи овог отпада. Детерминисање ставова топ менаџера направљено је у односу на:

- **интересе (жеље) за увођењем сортирања конфекцијског отпада,**
- **препреке за увођење сортирања и**
- **користи од ове операције као и њихове међузависности.**

За мерење ових варијабли коришћени су одговори на питања из другог дела анкетног упитника у Прилогу 2. Ставови према сортирању отпада, мишљење о лакоћи увођења сортирања и мишљење о корисности сортирања мерени су као бинарне варијабле (**1 – не / не слажем се, 2 – да / слажем се**). Објашњење препрека за увођење сортирања (лакоћа или тешкоћа) подељено је у три фазе: текући начини сортирања, паковање и транспорт. Расположива радна снага, односно довољан број радника за сортирање, паковање и транспорт додати су као варијабла која утиче на све три фазе. Мерена је лакоћа сортирања по боји, сировинском саставу и врсти текстилног материјала, као и лакоћа уобичајених начина паковања (у пластичне вреће, кутије или бале). Лакоћа транспорта је мерена преко начина организације транспорта и локације компаније, тј. удаљености до места сакупљања отпада. Трошкови сортирања, профит од продаје конфекцијског отпада и важност очувања животне средине су фактори који утичу на мишљење или ставове о корисности сортирања. Трошкови сортирања су мерени као трошкови за сваку фазу појединачно (сортирање, паковање, транспорт). Профит је мерен преко очекиваног добитка за компанију од продаје отпада.

Све наведене варијабле мере се на скали од **1 - 4**, где **1** значи **потпуно се не слажем**, а **4** **потпуно се слажем**. Скала за формирање мишљења испитаника има више категорија са циљем јаснијег детерминисања.

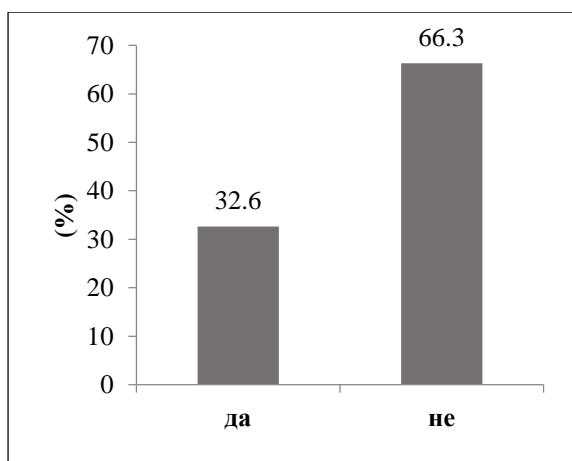
Анализа података спроведена је у две фазе. Најпре је описана статистичка анализа искоришћена за генералне ставове, а затим је помоћу Chi - square статистике разматрано колике су разлике између група са позитивним и негативним ставом у односу на неко питање.



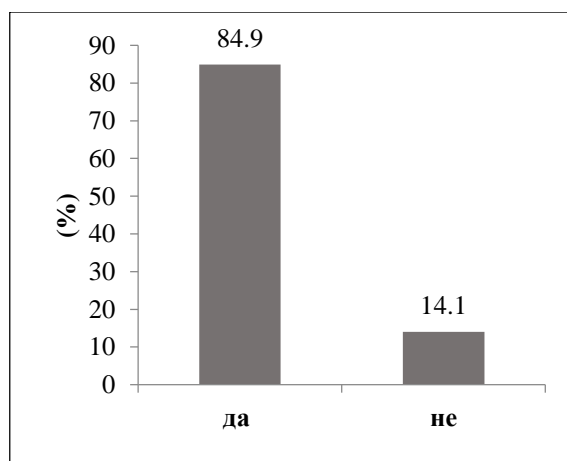
Слика 28. Прихватање сортирања

Генерално су ставови македонских менаџера у односу на рециклажу текстилног отпада негативни. Већи део њих, 58.5% изјаснио се да не желе да сортирају свој отпад у поређењу са 40.7% који би хтели да га сортирају. Само 1.2% компанија већ сортирају и продају свој отпад (Слика 28).

Главна препрека увођењу сортирања отпада у конфекцијским компанијама лежи у мишљењу да је увођење сортирања тешко према 66.3% испитаника, док је за 32.6% лако (Слика 29).



Слика 29. Лакоћа сортирања



Слика 30. Корисност сортирања

Супротно овоме преовлађују ставови да је сортирање корисно према 84.9%, а некорисно је за 14.1% испитаника (Слика 30).

Дескриптивна статистика параметара који утичу на мишљење да је сортирање лако и корисно је дата у табели 10.

Табела 10. Дескриптивна статистика - лакоћа и бенефит сортирања конфекцијског отпада

Варијабла		1	2	3	4	Укупно
Лакоћа сортирања	Довољно радника	35	33	9	9	86
	Сортирање конфекцијског отпада је лако	35	34	12	5	86
	Сортирање конфекцијског отпада према сировинском саставу је лако	38	36	8	4	86
	Сортирање конфекцијског отпада према врсти материјала је лако	24	26	18	18	86
	Балирање конфекцијског отпада је лако	35	30	10	10	85
	Паковање конфекцијског отпада у пластичне вреће је лако	3	21	37	25	86
	Паковање конфекцијског отпада у кутије је лако	4	18	42	22	86
	Организација одлагања конфекцијског отпада је лака	8	20	38	20	86
	Локација фабрике је повољна за одлагање отпада	6	11	38	31	86
Бенефит сортирања	Сортирање конфекцијског отпада према боји је јефтино	27	38	16	5	86
	Сортирање конфекцијског отпада према сировинском саставу је јефтино	37	34	12	3	86
	Сортирање конфекцијског отпада према врсти материјала је јефтино	27	33	20	5	85
	Балирање конфекцијског отпада је јефтино	36	34	7	6	83
	Паковање конфекцијског отпада у пластичне вреће је јефтино	18	20	27	19	84
	Паковање конфекцијског отпада у кутије је јефтино	14	29	27	15	85
	Трошкови одлагања отпада су ниски	30	29	14	11	84
	Сортирање конфекцијског отпада је профитабилно	9	18	38	21	86
	Има купаца за сортирани отпад	26	31	21	6	84
	Очување животне средине је важно нашој фирми	3	0	25	58	86

Недостатак радника за сортирање означен је као главна препрека увођењу сортирања отпада. 79.1% испитаника сматрају да немају довољно радника за сортирање отпада. Детаљно разматрајући процес сортирања, паковања и транспорта отпада да се приметити да је најтеже сортирати отпад на самом месту његовог настајања. Испитаници сматрају да је најтеже сортирање отпада према сировинском саставу 86.1%, према боји за 80.2%, а према врсти материјала за 58.1%

Највећи део испитаника сматра да је сортирање скупо. Заслужује пажњу чињеница да је сортирање према сировинском саставу нотирано као најтеже. Код материјала који су од једне врсте влакана (100%) није тешко извршити сортирање, али већи део материјала са којима компаније раде су мешавине више компоненти што додатно отежава овај процес.

Паковање отпада у бале, односно балирање, означено је као тешко због потребе за новим машинама, за 75.6% испитаника овај процес је тежак, а још више, т.ј. 81.4%, га сматра скупим. Супротно овоме, паковање у пластичне вреће или у картонске кутије за три четвртине испитаника је лако. Мишљења о трошковима код различитих начина паковања су подељена, једна половина испитаника сматра их јефтиним, а друга половина сматра да су скупи. Паковање у пластичне вреће је нотирано као најлакши и најјефтинији метод скупљања конфекцијског отпада у фабрици. Генерални став у вези транспорта отпада је позитиван, односно, 67.5% тврде да је транспорт једноставан, иако је за 68.8% од њих скуп. Као баријера за сортирање конфекцијског отпада код 19.8% испитаника је наведена локација фабрике.

Профитабилност се јавља као главни фактор увођења сортирања. 68.6% испитаника сматра да овај процес може бити профитабилан али недостатак тржишта, тј. заинтересованих купаца јавља се као проблем код 66.2% од њих.

Скоро сви испитаници тврде да је очување животне средине битно за њихову фирму, односно скоро сви произвођачи одеће показују високу еколошку свест, бар декларативно. Chi - square тест искоришћен је за утврђивање значајнијих разлика између група са различитим ставовима према сортирању, група које мисле да је сортирање лако или тешко и корисно или некорисно. Између две групе испитаника (једна која показује интерес и спремност да уведе сортирање и друга која не показује интерес и није спремна да га уведе) постоји значајна разлика ($p < 0.05$), у односу на мишљења о лакоћи и користи сортирања, довољном броју радника и сортирању према сировинском саставу (Табела 11). Два примарна фактора, лакоћа и корисност сортирања, много утичу на спремност за увођење сортирања ($p < 0.01$). Компаније које мисле да је увођење сортирања лако показују спремност да га уведу. Недостатак радника и тешкоћа сортирања по сировинском саставу су исто тако значајни фактори за негативни став у односу на увођење сортирања. Много је мања група испитаника који сматрају да имају довољно радника за сортирање (21%), док се 79% изјаснило да нема довољно радника за ову операцију.

Табела 11. Утицаји на спремност и интерес за сортирање

Спремност и интерес за сортирање						
Варијабла	Заинтересовани	Незаинтересовани	Укупно	χ^2	df	Sig.
Лакоћа сортирања				25.883	1	.000
Лако	22	6	28			
Тешко	12	45	57			
Укупно	34	51	85			
Корисност сортирања				9.315	1	.002
Корисно	34	39	73			
Некорисно	0	12	12			
Укупно	34	51	85			
Довољно радника				14.893	3	.002
Потпуна несагласност	8	27	35			
Несагласност	13	20	33			
Сагласност	7	2	9			
Потпуна сагласност	7	2	9			
Укупно	35	51	86			
Сортирање према сировинском саставу је лако				8.381	3	.039
Потпуна несагласност	13	25	38			
Несагласност	13	23	36			
Сагласност	7	1	8			
Потпуна сагласност	2	2	4			
Укупно	35	51	86			

Супротно овоме, само 30% од оних који не би увели сортирање мисле да имају довољно радника. Док су код менаџера компанија вољних да уведу сортирање подељена мишљења о корисности овог процеса, они који мисле да сортирање није корисно не желе ни да покушају да га уведу. Слично претходном, оне компаније које не желе да уведу сортирање сматрају да је сортирање конфекцијског отпада према сировинском саставу тешко. Интересантно је запажање да нема корелације између мишљења да је сортирање конфекцијског отпада према сировинском саставу тешко са сировинским саставом материјала са којима компаније раде.

Увођење сортирања конфекцијског отпада зависи од неколико фактора: расположив број радника, сортирање према боји и сировинском саставу, балирање и паковање у пластичне вреће, као и организација транспорта. Код свих ових фактора јавља се значајна разлика ($p < 0.05$) између група које имају различите ставове, лако-тешко (Табела 12).

Табела 12. Утицаји на лакоћу сортирања

Лакоћа сортирања						
Варијабла	Лако	Тешко	Укупно	χ^2	df	Sig.
Довољно радника				34.758	3	.000
Потпуна несагласност	4	31	35			
Несагласност	8	24	32			
Сагласност	7	2	9			
Потпуна сагласност	9	0	9			
Укупно	28	57	85			
Сортирање према боји је лако				13.994	3	.003
Потпуна несагласност	8	26	34			
Несагласност	8	26	34			
Сагласност	9	3	12			
Потпуна сагласност	3	2	5			
Укупно	28	57	85			
Сортирање према сировинском саставу је лако				12.905	3	.005
Потпуна несагласност	7	30	37			
Несагласност	12	24	36			
Сагласност	6	2	8			
Потпуна сагласност	3	1	4			
Укупно	28	57	85			
Балирање отпада је лако				9.067	3	.028
Потпуна несагласност	7	28	35			
Несагласност	10	19	29			
Сагласност	4	6	10			
Потпуна сагласност	7	3	10			
Укупно	28	56	84			
Паковање отпада у пластичне вреће је лако				9.312	3	.025
Потпуна несагласност	0	3	3			
Несагласност	5	16	21			
Сагласност	9	27	36			
Потпуна сагласност	14	11	25			
Укупно	28	57	85			
Организација одлагања отпада је једноставна				11.806	3	.008
Потпуна несагласност	0	8	8			
Несагласност	4	15	19			
Сагласност	12	26	38			
Потпуна сагласност	12	8	20			
Укупно	28	57	85			

Недовољан број радника и мишљење да је сортирање према боји и сировинском саставу тешко, типични су за групу која сматра да је сортирање тешко. Што се тиче паковања, балирање отпада представља тешкоћу за менаџере и обесхрабрује их у доношењу одлуке о увођењу сортирања. Како расте број компанија које сматрају да је паковање у пластичне вреће лако, тако расте и спремност да се уведе сортирање. Исто се примећује и код питања о организацији транспорта отпада. Код групе која сматра да је увођење сортирања лако преовладава мишљење да је организација транспорта сортираног конфекцијског отпада једноставна. Корисност сортирања је у корелацији са лакоћом увођења сортирања ($p < 0.01$), зато што су они који сматрају да је сортирање лако једногласни у мишљењу да је то и корисно (Табела 12). Од испитиваних фактора само је профитабилност повезана са корисношћу сортирања ($p < 0.01$). Што више испитаника верује да сортирање може бити профитабилно, то су више склони да га сматрају корисним (Табела 13).

Табела 13. Утицаји на корисност сортирања

Корисност сортирања						
Варијабла	Корисно	Некорисно	Укупно	χ^2	df	Sig.
Сортирање је лако				6.864	1	.009
Лако	28	0	28			
Тешко	45	12	57			
Укупно	73	12	85			
Сортирање је профитабилно				25.148	3	.000
Потпуна несагласност	3	6	9			
Несагласност	15	3	18			
Сагласност	34	3	37			
Потпуна сагласност	21	0	21			
Укупно	73	12	85			

Генерално македонски топ менаџери имају негативан став према сортирању и припремама конфекцијског отпада за даље процесирање. Недостатак спремности да се сортира отпад произилази из става да га је тешко увести, поткрепљено чињеницом да би увели сортирање само ако су сигурни да ће бити профитабилно.

Као кључни фактори, односно препреке увођењу сортирања, наведени су:

- **недовољан број радника,**
- **тешко изводљиво сортирање по боји и сировинском саставу и**

- **увођење балирања као метода паковања сортираног отпада.**

Додатно је извршена анализа фактора у групама у којој су узети у обзир само резултати упитника код којих не недостаје ни један одговор, тј. 78 упитника. Примењен је двостепени процес анализе резултата. Прво, главни фактори су редуцирани на 22 стања повезана са кључним факторима за рециклажу конфекцијског отпада који утичу на спремност тј. жељу топ менаџмента за сортирање. У другом кораку направљена је анализа по групама (кластерима) да би се виделе разлике у њиховим ставовима.

Факторска анализа: Ставови према рециклажи

За факторску анализу података најрелевантнији је **Kaiser – Meyer - Olin** (КМО) тест за мерење адекватности податока и **Bartlett** - ов тест за сферичност. КМО тест је био на вишем нивоу од очекиваног од .50 (КМО=.751) док је Bartlett - ов тест био на значајном нивоу. Главна компонента факторске анализе са „varimax” ротацијом показала је 6 фактора који учествују са 68.52% у укупној варијацији. Само фактори са својственим вредностима (eigenvalues) већим од 1 су разматрани као битни за даљу анализу. Табела 14 показује добијене факторе (statements), компоненте које их сачињавају, разлику (варијацију) објашњену преко сваког фактора и релијабилност мерења.

Кронбахов коефицијент алфа (Cronbach's alpha - α_c) за факторе је у интервалу од 0.452 до 0.854. Пет од шест фактора показују релијабилност мерења изнад 0.60. Први фактор, увођење операције сортирања, у корелацији је са лакоћом и трошковима операције сортирања по боји, сировинском саставу и врсти материјала (својствена вредност - 3.664, варијација - 16.65, α_c - 0.854). Други фактор, лакоћа сортирања (својствена вредност - 3.008, варијација - 13.67, α_c - 0.802) је комбинација постојећих пракса за менаџирање отпада односно начина паковања и трошкова паковања у пластичне вреће или кутије, као и трошкова за одлагање отпада. Трећи фактор, баријере (препреке) за рециклажу, зависи од лакоће и трошкова увођења балирања кројног отпада (својствена вредност - 2.856, варијација - 12.98, α_c - 0.817). Четврти фактор, додатне активности, укључује лакоћу транспорта (организацију одлагања отпада и локацију фабрике), исто као и одговорност према околини (својствена вредност - 2.404, варијација - 10.92, α_c - 0.613). Пети фактор, склоност ка сортирању конфекцијског отпада укључује спремност за увођење сортирања и перцепцију о лакоћи сортирања (својствена вредност - 1.731, варијација - 7.87, α_c - 0.686). Шести фактор, профит (својствена вредност - 1.434, варијација - 6.52, α_c - 0.452), је повезан са перцепцијом о корисности сортирања, односно профитом који се очекује од увођења ове операције. Овај фактор има ниску вредност Кронбахове α_c од 0.45 у поређењу са осталих 5 фактора.

Табела 14. Факторска анализа

Фактор	Својствена вредност (Eigenvalue)	Варијација (%)	Кронбахов (Cronbach alpha - α_c)
1. Увођење сортирања <ul style="list-style-type: none"> • Сортирање према боји је лако • Сортирање према сировинском саставу је лако • Сортирање према врсти материјала је лако • Сортирање према боји је јефтино • Сортирање према врсти материјала је јефтино 	3.664	16.653	0.854
2. Лакоћа сортирања <ul style="list-style-type: none"> • Паковање отпада у пластичне вреће је лако • Паковање отпада у кутије је лако • Паковање отпада у пластичне вреће је јефтино • Трошкови одлагања отпада су ниски 	3.008	13.672	0.802
3. Препреке за сортирање <ul style="list-style-type: none"> • Расположива радна снага • Балирање отпада је лако • Балирање отпада је јефтино • Има купаца за сортирани отпад 	2.856	12.983	0.817
4. Остале активности <ul style="list-style-type: none"> • Организација одлагања отпада је лака • Еколошка свест 	2.404	10.929	0.613
5. Склоност према сортирању <ul style="list-style-type: none"> • Спремност за сортирање • Лакоћа сортирања 	1.731	7.869	0.686
6. Профит <ul style="list-style-type: none"> • Корисност сортирања • Сортирање може бити профитабилно 	1.434	6.520	0.452

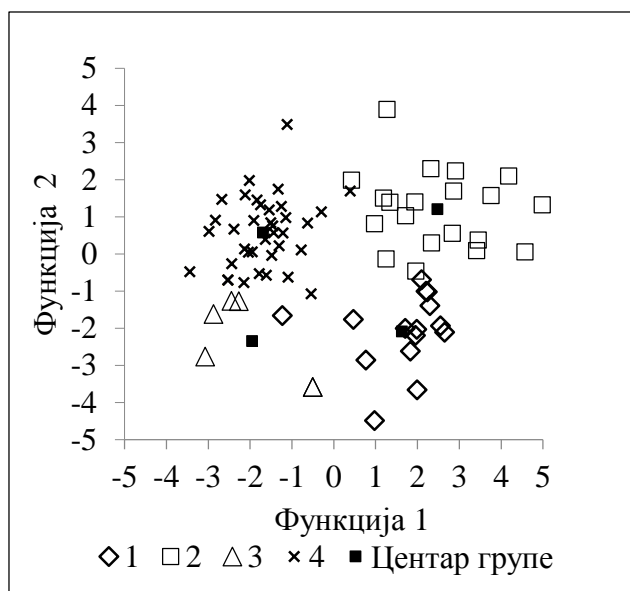
Кластерска анализа: Разлике у ставовима према рециклажи конфекцијског отпада

Хијерархијска кластерска анализа направљена је са циљем да издвоји групе са различитим мишљењем према сортирању конфекцијског отпада, при чему је коришћен **Ward** - ов метод са квадратном **Euclidean** - овом разликом. Са испитивањем распореда

кластерске агломерације, дендограма и припадности одређеном кластеру, разграничавају се 4 кластера. За потврду четири кластера коришћена је дискриминантна анализа (Табела 15) која показује тачност решења од 93.6%. Графички приказ четири кластера на темељу прве две дискриминантне функције дат је на слици 31.

Табела 15. Резултати дискриминантне анализе

Дискриминантна функција	Варијација (%)	Канонична корелација	Wilks – ов lambda λ_w	χ^2 (p)	Тачност решења (%)
1	60.0	0.893	0.040	231.202(0.00)	93.6
2	28.8	0.809	0.199	116.187(0.00)	
3	11.2	0.652	0.576	39.777(0.00)	



Слика 31. Четири кластера у односу на прве две дискриминантне функције

Кластер 1 садржи 19.23% испитиване популације ($n = 15$), кластер 2 – 25.64% ($n = 20$), кластер 3 – 7.69% ($n = 6$) и кластер 4 – 47.44% ($n = 37$). Кластер 1 састоји се од менаџера који показују највећу спремност за увођење сортирања конфекцијског отпада, 93.6 % њих би увели сортирање. 86.7% менаџера из ове групе сматрају да је сортирање лако и профитабилно. Истовремено показују позитивне ставове према лакоћи сортирања (просечно 2.73) и додатним активностима (просечно 3.24) и не гледају на сортирање као на озбиљну препреку (просечно 2.57). Ипак су забринути за процес сортирања на лицу места у току производње (просечно 1.78). Изузетно негативан став имају према трошковима увођења операције сортирања. С обзиром на комплексност сортирања, највеће двоумљење исказују око сортирања према сировинском саставу материјала. За

разлику од текстилних материјала од само једне врсте влакана, сортирање материјала од мешавине са различитим уделом компонената чини процес сортирања изузетно комплексним.

Други кластер састоји се од менаџера који су вољни да уведу сортирање конфекцијског отпада, 85.0%, и сматрају га профитабилним (100%), али само једна половина њих мисли да сортирање може лако да се уведе. Иако они имају позитиван став према увођењу операције сортирања (просечно 2.53), лакоћи сортирања (просечно 3.05), и према додатним активностима (просечно 3.48), препрекама сматрају недостатак радне снаге и тржишта за сортирани отпад и увођење балирања (просечно 1.79).

Трећа, уједно и најмања група састоји се од менаџера који имају изузетно негативне ставове према сортирању конфекцијског отпада. Они сматрају да је сортирање тешко и непрофитабилно и само једна трећина исказује интерес за увођење ових операција. Негативни ставови примећују се према пракси увођења сортирања (просечно 1.28), према препрекама за сортирање (просечно 1.33), лакоћи сортирања (просечно 1.63) и додатним активностима (просечно 1.67).

Четврти кластер се састоји од менаџера који не би хтели да уведу сортирање конфекцијског отпада зато што сматрају да је то тешко, 89.2%, иако 73% мисли да је профитабилно. Иако ови менаџери имају позитиван став према текућим праксама одлагања отпада (лакоћа сортирања, просечно 2.48 и додатне активности, просечно 3.24), они потенцирају постојеће препреке за сортирање (просечно 1.86) и тешкоће код увођења сортирања (просечно 1.86). Горња анализа произилази из табеле 16.

Даље, у анализи је урађено више компаративних тестова за одређивање разлика између четири кластера. Упоређење кластера 1 и 2 са 3 и 4 који се разликују у њиховој спремности ка увођењу сортирања (прва два кластера 1 и 2 имају позитиван, а друга два 3 и 4 негативан став према сортирању) појашњава ограничавајуће факторе за увођење сортирања конфекцијског отпада. Менаџери из кластера 1 и 2 показују спремност да уведу сортирање, иако се разликују у перцепцији о лакоћи сортирања. Кључне разлике између ове две групе леже у ставу према увођењу операције сортирања и према препрекама за сортирање. Негативна перцепција сортирања у кластеру 1 не утиче негативно на њихову спремност да га уведу, чак га и перцепирају као лако. Са друге стране, негативна перцепција препрека за сортирање примећена код менаџера из кластера 2 води према негативном ставу ка увођењу сортирања, али не утиче на њихову спремност да га уведу. Менаџери из кластера 3 и 4 показали су мало спремности за увођење сортирања.

Табела 16. Дескриптивна статистика ставова

Фактор	Кластер				F(Sig.)
	1 (n = 15)	2 (n = 20)	3 (n = 6)	4 (n = 37)	
	M±SD	M±SD	M±SD	M±SD	
Увођење операције сортирања	1.78±0.53 ^a	2.53±0.53 ^b	1.28±0.31 ^a	1.86±0.68 ^a	9.59(.000)
Лакоћа сортирања	2.73±0.58 ^a	3.05±0.63 ^a	1.63±0.39 ^b	2.48±0.67 ^a	8.86(.000)
Препреке за сортирање	2.57±0.96 ^a	1.79±0.63 ^b	1.33±0.52 ^b	1.86±0.66 ^{a,b}	5.81(.001)
Додатне активности	3.24±0.46 ^a	3.48±0.41 ^a	1.67±0.42 ^b	3.24±0.47 ^a	25.93(.000)
Склоност ка сортирању	3.70±0.62 ^a	3.03±1.01 ^a	1.50±0.77 ^b	1.16±0.47 ^b	62.24(.000)
Профит	3.40±0.39 ^{a,b}	3.73±0.30 ^a	3.00±0.32 ^{a,b}	2.92±1.06 ^b	5.11(.003)

a, b – различита слова означавају групе са статистички значајном разликом

Док кластер 3 има негативне ставове по свим испитиваним варијаблама, ставови кластера 4 су различити. Код четвртог кластера, и поред позитивних ставова према активностима текуће праксе за менаџирање отпада, ставови према увођењу операције сортирања и према препрекама за сортирање су негативни. Оваква комбинација фактора ствара различит утицај на спремност за увођење сортирања конфекцијског отпада.

Генерални став менаџера на темељу само комплетно попуњених упитника о рециклажи је негативан. Највећи део менаџера 57.7% изјаснио се да нема жељу за сортирањем отпада у поређењу са 42.3% који би сортирали свој отпад. Главна препрека увођењу сортирања у компанијама је мишљење да је сортирање тешко према мишљењу 65.4% менаџера, а само 34.6% сматрају да је лако. Супротно овоме преовлађују позитивни ставови према корисности сортирања, 87.2% сматра да је корисно, док само 12.8% мисли да није корисно. Ниска свест о савременим праксама управљања текстилним отпадом, као и недовољан капацитет постојећег тржишта за рециклиране производе моделише негативан став македонског топ менаџмента конфекцијских компанија према савременим системима за управљање отпадом. Влада и текстилни кластер морају помоћи текстилним компанијама у стварању тржишта за рециклиране производе, а исто тако морају предузети широку акцију подизања свести произвођача о савременим системима за управљање текстилним отпадом. Неизоставни корак у акцији мора да буде едукација о важности сортирања отпада у компанијама.

3.3. НОВА ИЗОЛАЦИОНА СТРУКТУРА ОД КОНФЕКЦИЈСКОГ ОТПАДА

3.3.1. Коришћени материјали

Као материјал за израду нове изолационе структуре коришћен је конфекцијски отпад, тј. отпад од кројења тканина. Сировински састав тканина је ПЕС, а изабране тканине имају различиту површинску масу и различиту структуру. Отпаци тканина сакупљени су у штипским конфекцијама „Линеа” и „Вабо”. За поређење су узети отпаци механички рециклиране полиестерске плетенине која је прошла процес сецкања и делимичног рашчупавања до влакана, произведена у компанији „Ажур” из Скопља.

Три врсте коришћене ПЕС тканине означене су са **A**, **C** и **D**, а механички рециклирана полиестерска плетенина, тј. делимично рашчупана, са **B**. Тканина **D** разликује се у односу на **A** и **C** тканине и према сировинском саставу, јер садржи 5% Лусга® влакана. Међу тканинама **A**, **C** и **D** постоји велика разлика у вредностима структурних карактеристика. Овај одабир тканина је са циљем утврђивања доприноса основних структурних карактеристика употребљених отпадака на вредност топлотних и акустичних карактеристика структуре, као и на отпорност горења.

Табела 17. Структурне карактеристике тканина

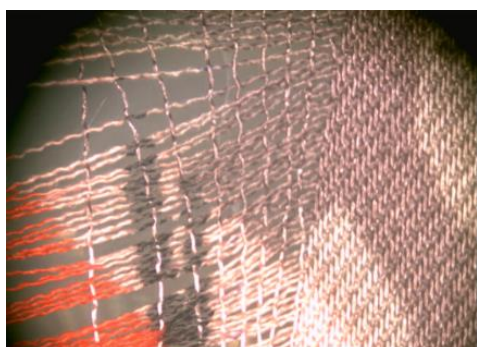
Тканина	A	C	D
h_t (mm)	0.16	1.2	1.6
CV (%)	2.17	1.80	1.38
m (g/m ²)	92	245	272
CV (%)	3.13	1.16	1.38
g_o (cm ⁻¹)	74	37	44
g_p (cm ⁻¹)	45	25	28
T_{to} (tex)	7.4	36	36
T_{tp} (tex)	7.4	36	36
Преплетај тканине	кепер 3/2Z	кепер 3/2Z	кепер 2/1S

Испитивање основних структурних карактеристика тканина (Табела 17) изведено је применом метода које су описане стандардима:

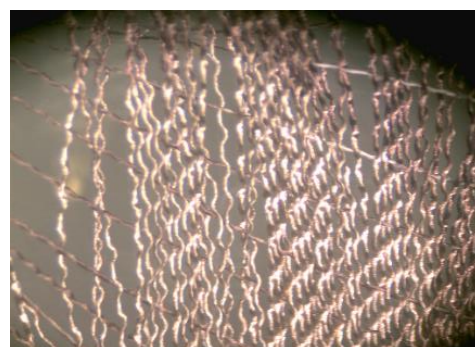
- EN ISO 5084 за дебљину тканине – h_t (mm) [135],
- ISO 3081 за површинску масу која представља масу тканине на јединици површине – m (g/m²) [136],

- ISO 7211-5 за подужну масу пређе (финоће) из узорака тканине, за основу – T_{to} и за потку – T_{tp} (tex) [137],
- BS EN 1049-2 за густину основе – g_o и потке – g_p (cm^{-1}) тј. број жица на 1 cm ширине односно дужине тканине [138].

На сликама 32, 33 и 34 (а - у правцу основе, б - у правцу потке) је приказан начин повезивања основних и поткиних жица, односно одређивање преплетаја тканина А, С и D. Приликом одређивања преплетаја тканина коришћен је инструмент „бинакулар“, а слике су начињене са увећањем од 50 пута.

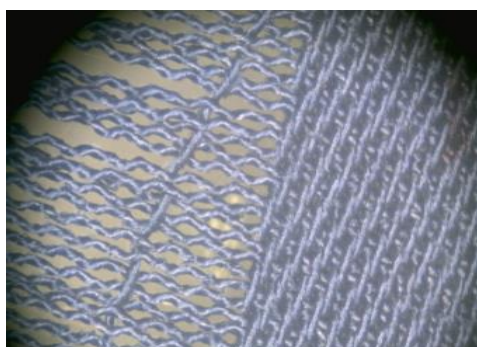


а)



б)

Слика 32. Повезивање основе и потке у тканини А

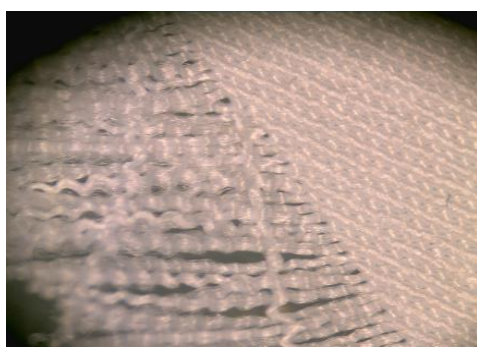


а)

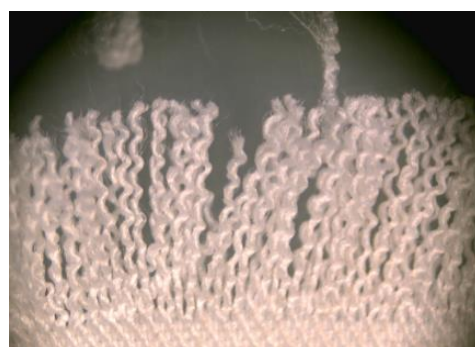


б)

Слика 33. Повезивање основе и потке у тканини С



а)



б)

Слика 34. Повезивање основе и потке у тканини D

Изглед механички рециклиране плетенине делимично у влакнастом стању (рашчупане плетенине) В приказан је на слици 35.



Слика 35. Изглед делимично рашчупане плетенине В

3.3.2. ТОПЛОТНА ИЗОЛАЦИЈА НОВЕ ИЗОЛАЦИОНЕ СТРУКТУРЕ

3.3.2.1. Дизајнирање узорака за мерење топлотне проводљивости

За испитивање топлотне проводљивости нове изолационе структуре припремљено је 10 узорака од конфекцијског отпада тканина А, С и D и механички рециклиране плетенине В. Фаза припреме конфекцијског отпада састоји се из сечења у комадима са правилним или неправилним обликом или се оставља у његовом изворном облику.



а) са ротационим ножевима



б) са вертикалним ножем

Слика 36. Машине за сечење конфекцијског отпада

Сечење у комаде неправилног облика врши се на машини за сечење са ротационим ножевима (Слика 36 а), а сечење у комаде са тачно одређеним димензијама изведено је машином за кројење са вертикалним ножем (Слика 36 б). Изглед исецканог отпада за три узорка приказан је на слици 37.



Слика 37. Изглед исецканог отпада

Ознаке узорака, врста отпада, сировински састав и начин припреме отпада приказани су у табели 18. Са овако припремљеним отпадом пуне се „навлаке” од нетканог текстила који има улогу носеће фолије за стабилизацију узорка. Неткани текстилни материјал је израђен од 100% полипропиленских влакана са површинском масом $m = 50 \text{ g/m}^2$.

Димензије навлаке, дужина, a (mm) и ширина, b (mm), тј. узорака, одређене су према захтевима стандарда за мерење топлотне проводљивости за изолационе материјале и обе износе 600 mm.

При пројектовању структуре коришћене су комерцијалне дебљине од $h = 50, 70$ и 100 mm Tervol[®] - а, које се користе за унутрашњу изолацију у грађевинарству. Из истог разлога, као почетна (пројектована) запреминска маса изабрана је $\rho_p = 115 \text{ kg/m}^3$. Навлаке се пуне припремљеним отпадом тканина А, С и D и рашчупаном плетенином до влакана В, или њиховом комбинацијом, у количини која одговара пројектованој запреминској маси. Полази се од расположиве запремине навлаке од нетканог текстила – V_p (m^3) која је прорачуната као производ дужине, a (mm), ширине, b (mm), и висине односно дебљине h_p (mm), према једначини 38.

$$V_p = a \cdot b \cdot h_p \quad (\text{m}^3) \quad (38)$$

Према овој запремини мери се тачно одређена количина отпада да би се постигла пројектована запреминска маса узорка. Запремина добивеног узорка после прошивања V прорачунава се према једначини 39:

$$V = a \cdot b \cdot h \quad (\text{m}^3) \quad (39)$$

где је:

h – дебљина узорка после прошивања.

Табела 18. Врста и начин припреме отпада

Ред.број	Ознака узорка	Врста отпада	Сировински састав (%)	Припрема отпада
1	A ₁	конфекцијски отпад-тканина	100 ПЕС	делимично сецкан, комади неправилног облика
2	A ₂	конфекцијски отпад-тканина	100 ПЕС	ситно сецкан, комади неправилног облика
3	A ₃	конфекцијски отпад-тканина	100 ПЕС	у изворном облику, без сецкања
4	A ₄	конфекцијски отпад-тканина	100 ПЕС	у изворном облику, без сецкања
5	B	конфекцијски отпад-делимично рашчупана плетенина	70/25/5 ПЕС/памук/ Lycra®	механички рециклиран
6	C ₁	конфекцијски отпад-тканина	100 ПЕС	сецкан, комади средњих димензија 6 x 4cm
7	C ₂	конфекцијски отпад-тканина	100 ПЕС	сецкан, комади средњих димензија 8 x 4 cm
8	D	конфекцијски отпад-тканина	95/5 ПЕС/ Lycra®	сецкан, комади средњих димензија 8 x 4 cm
9	ABC	конфекцијски отпад-тканина А конфекцијски отпад-делимично рашчупана плетенина В конфекцијски отпад-тканина С		А-ситно сецкан, комади неправилног облика В-делимично рашчупана плетенина С-сецкан, комади средњих димензија 6 x 4 cm
10	ABD	конфекцијски отпад-тканина А конфекцијски отпад-делимично рашчупана плетенина В конфекцијски отпад-тканина D		А-ситно сецкан, комади неправилног облика В-делимично рашчупана плетенина D-сецкан, комади средњих димензија 8 x 4 cm

Запреминска маса (густина), пре и после прошивања (ρ_p или ρ) прорачунава се као однос масе m_0 и одговарајуће запремине узорка (V_p или V) према једначини 40:

$$\rho_p = \frac{m_0}{V_p}; \rho = \frac{m_0}{V} \quad \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \quad (40)$$

Узорци израђени од отпада исте тканине, A₁, A₂, A₃ и A₄ разликују се међусобно по начину припреме отпада, односно према димензијама комадића. У узорак A₁ ставља се делимично исецкан материјал од конфекцијског отпада ПЕС тканине А са

неправилним обликом комадића. У узорак A_2 ставља се ситно сецкан материјал од конфекцијског отпада ПЕС тканине А са неправилним обликом комадића. Димензије навлаке од нетканог текстила за узорке A_1 и A_2 су $a = 600 \text{ mm}$, $b = 600 \text{ mm}$, $h = 50 \text{ mm}$. Узорак A_3 припрема се од отпада ПЕС тканине А у његовом оригиналном облику (без сецкања) и са њим се пуни навлака са димензијама $a = 600 \text{ mm}$, $b = 600 \text{ mm}$, $h = 70 \text{ mm}$. Узорак A_4 припрема се од отпада ПЕС ткаенине А у његовом оригиналном облику (без сецкања) и њиме се пуни навлака са димензијама $a = 600 \text{ mm}$, $b = 600 \text{ mm}$, $h = 100 \text{ mm}$. У узорак В ставља се материјал добијен механичком рециклажом полиестерске плетенине са сировинским саставом 70/25/5 ПЕС/памук/Луста[®]. Узорци C_1 и C_2 припремају се од конфекцијског отпада ПЕС тканине С и разликују се међусобно само у степену сецкања комадића (код C_1 је отпад исецкан у комадиће правоугаоне форме средњих димензија од 6 x 4 cm, док је код C_2 отпад исецкан у комадиће правоугаоне форме средњих димензија од 8 x 4 cm. Узорак D припремљен је од сецканог отпада тканине D у комадићима са димензијама 8 x 4 cm. Узорак ABC припремљен је као комбинација са једнаким масеним уделом конфекцијског отпада од тканина А и С и рециклиране плетенине В. Узорак ABD припремљен је као комбинација са једнаким масеним уделом конфекцијског отпада од тканина А и D и рециклиране плетенине В. Димензије навлаке за узорке В, C_1 , C_2 , D, ABC и ABD су исте, $a = 600 \text{ mm}$, $b = 600 \text{ mm}$, $h = 50 \text{ mm}$.

У следећем кораку извршена је стабилизација, односно фиксирање нове структуре прошивањем. Узорци се прошивају са 4 штепа по дужини и ширини на растојању од 15 cm. Прошивање узорака извршено је на машини приказаној на слици 38.



Слика 38. Машина за прошивање (штепање) узорака

Готови узорци изгледају као „јастук”, један од њих приказан је на слици 39.



а - изглед готовог узорка

б - зумирани део узорка

Слика 39. Узорак за мерење топлотне проводљивости

Структурне карактеристике узорака за мерење топлотне проводљивости пре и после прошивања дати су у табели 19, где је:

h_p – почетна расположива дебљина, тј. висина навлаке од нетканог текстила (mm),

V_p – почетна расположива запремина навлаке од нетканог текстила (m³),

ρ_p – пројектована запреминска маса (kg/m³),

m_o – маса узорка од конфекцијског отпада (kg),

h – дебљина узорка после прошивања (mm),

V – запремина узорка после прошивања (m³),

ρ – запреминска маса узорка после прошивања (kg/m³).

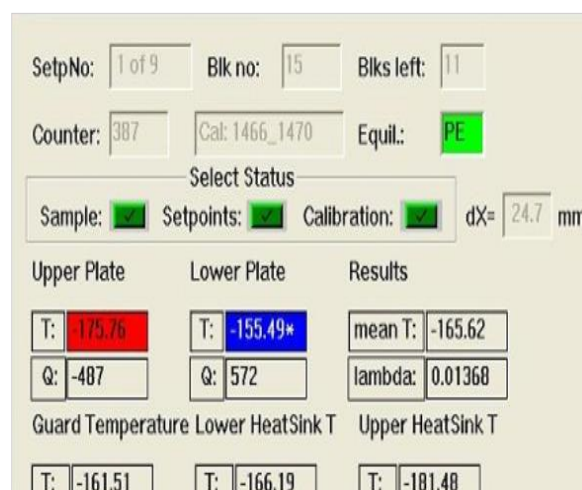
Табела 19. Структурне карактеристике узорака за мерење топлотне проводљивости

Ред. број	Узорак	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	215.63
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	226.41
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	126.99
6	C ₁	50	0.0180	115	2.070	22.955	0.0083	249.40
7	C ₂	50	0.0180	115	2.070	21.615	0.0078	265.38
8	D	50	0.0180	115	2.070	33.064	0.0119	173.95
9	ABC	50	0.0180	115	2.070	34.940	0.0126	164.29
10	ABD	50	0.0180	115	2.070	35.300	0.0127	162.99

3.3.2.2. Метод мерења топлотне проводљивости

Мерење топлотне проводљивости узорка извршено је апаратом Heat flow meter FOX600 (Слика 40 а), производ фирме Lasercomp у лабораторији фабрике Knaufinsulation у Сурдулици, Р. Србија. Апарат ради по стандардима ASTM C518, ISO 8301 и користи софтвер WinTherm32 Version 2.30.21 (Слика 40 б).

Потребне димензије узорка за испитивање на овом апарату су $a \cdot b = 600 \times 600$ mm, максимална дебљина узорка је до $h = 8$ цола, односно 203 mm. Генерални принцип рада Heat flow meter - а FOX600 темељи се на једнодимензионалном закону Фурје - а (једначина 8). Узорак се поставља између две плоче са различитим температурама и чека се стабилизација температурног поља, односно успостављање равнотеже што значи да је температура иста у свакој тачки узорка. На почетку мерења, после спуштања горње плоче, инструмент аутоматски мери дебљину узорка - h .



а – апарат Heat flow meter FOX600

б – софтвер WinTherm32 Version 2.30.21

Слика 40. Апарат и софтвер за мерење топлотне проводљивости

Температурни градијент се одређује разликом између температуре топле T_t и хладне плоче T_h тј. $\Delta T = T_t - T_h$ и дебљине узорка Δh . Средњи температурни градијент (dT/dx) једнак је $(\Delta T/\Delta h)$. Пре почетка мерења инструмент се калибрира са узорком који има познату топлотну проводљивост.

Електрични сигнал из трансдуктора (претварача) Q (μV) је пропорционалан са топлотним флуksom q :

$$q = \frac{\lambda_{cal}(T_{cal})\Delta T_{cal}}{\Delta x_{cal}} = S_{cal}(T_{cal})Q \quad (41)$$

Физичка својства трансдуктора мењају се са температуром, те је због тога неопходно извршити калибрацију инструмента, чиме се добија фактор калибрације S_{cal} . Димензије

овог фактора су $Wm^{-2}\mu V^{-1}$ или $Wm^{-2}mV^{-1}$. Сваки од ова два трансдуктора има властиту температуру и због тога се јављају два калибрациона фактора, S_{cal} и T_{cal} . Калибрациони фактори су карактеристике самог инструмента. Они се користе за прорачун топлотне проводљивости λ док траје мерење:

$$\lambda_{test} = \frac{S_{cal}(T_{test})Q\Delta x}{\Delta T_{test}} \quad (42)$$

Свака плоча има своју температуру. Калибрационе факторе треба прорачунати за задате температуре и тиме се добијају две вредности за λ . Средња вредност од ове две вредности λ је крајњи резултат теста [133].

3.3.2.3. Резултати мерења топлотне проводљивости и дискусија

Истраживање у овом делу је вођено у неколико смерова. Основни циљ је утврдити каква је топлотна изолација нове структуре и упоредити је са стандардним вредностима код конвенционалних изолационих материјала (од неорганских влакана и пенасте структуре), као и са изолацијом комерцијалних изолационих производа од текстила у облику влакана. Даље, истраживан је утицај степена ситњења тканине, њене структуре и присуства Лусгра[®] влакана, тј. еластина на топлотну изолацију.

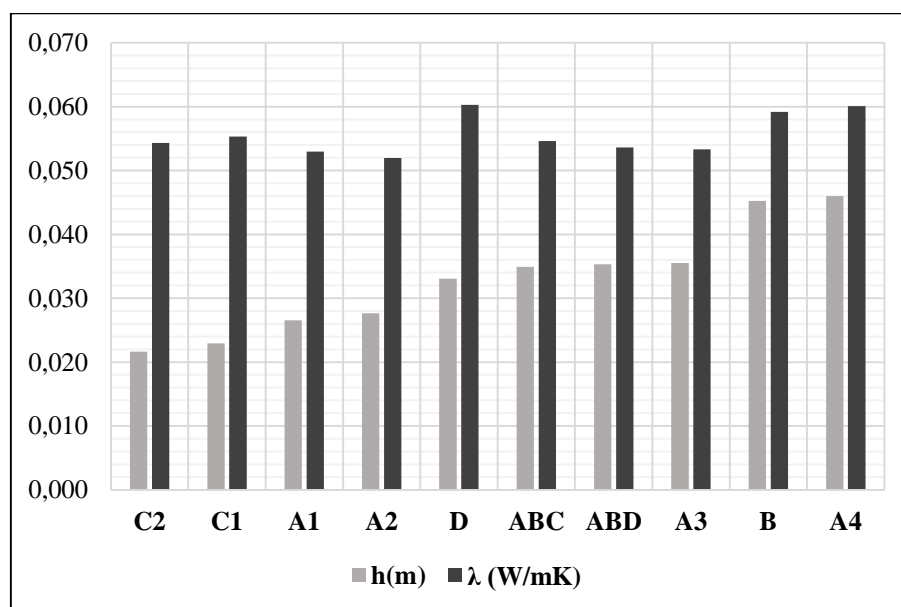
У табели 20 приказани су резултати мерења топлотне проводљивости λ (W/mK). Вредности топлотне отпорности тј. изолације R (m^2K/W) прорачунате су према једначини 26. Измерене вредности коефицијента топлотне проводљивости λ су у границама од 0.0520 W/mK код узорка A₂ до 0.0603 W/mK код узорка D. Добијене вредности су блиске вредностима топлотне проводљивости код стандардних изолационих материјала $\lambda = 0.030 - 0.045$ W/mK, као и вредностима топлотне проводљивости комерцијалних изолационих структура од текстилног отпада у влаканастом стању, где је најчешће $\lambda = 0.039 - 0.041$ W/mK.

Измерене вредности топлотне проводљивости испитиваних узорака најближе су вредностима топлотне проводљивости код изолационих полиестерских панела добијених термичким рециклирањем, код којих је $\lambda = 0.041 - 0.053$ W/mK (неки од испитиваних узорака чак имају и мањи коефицијент топлотне проводљивости).

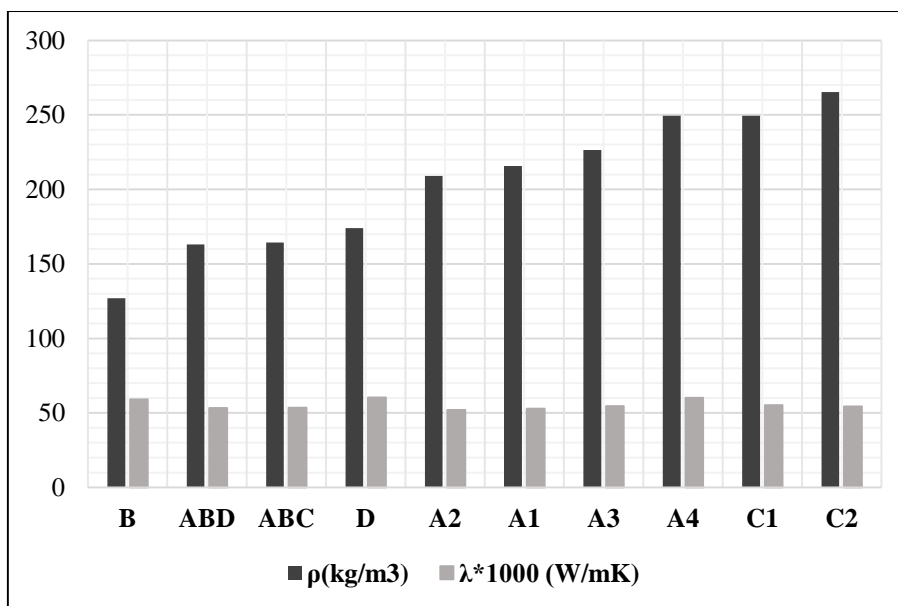
Табела 20. Топлотна проводљивост $-\lambda$ и топлотна изолација $-R$ и R^*

Ред. број	Узорак	λ (W/mK)	R (m ² K/W)	R^* (m ² K/W)
1	A1	0.0529	0.5017	1.889
2	A2	0.0520	0.5317	1.924
3	A3	0.0546	0.6505	1.830
4	A4	0.0601	0.7660	1.664
5	B	0.0592	0.7639	1.689
6	C1	0.0553	0.4154	1.808
7	C2	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

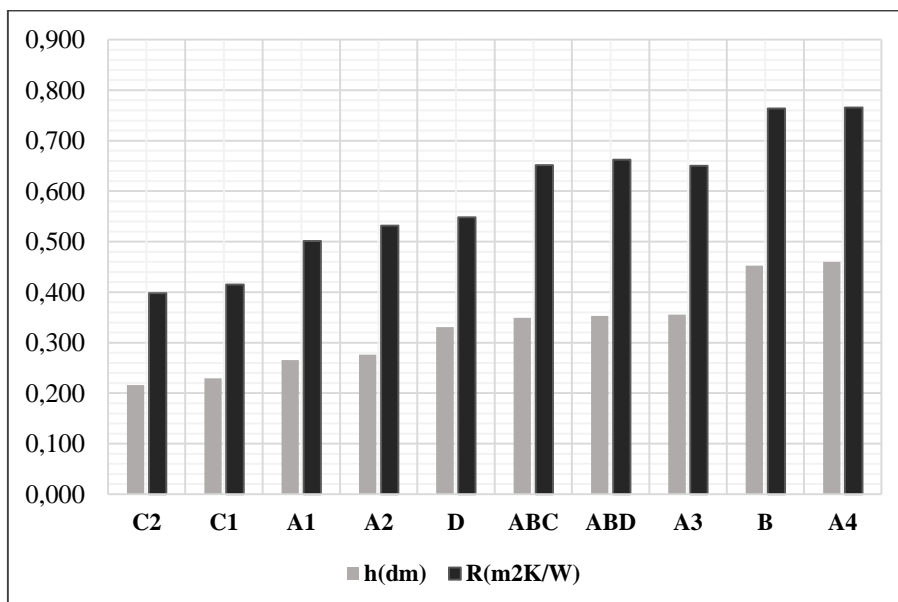
На слици 41 приказане су вредности топлотне проводљивости λ заједно са вредностима дебљине узорка h , док на слици 42, поред топлотне проводљивости λ узорка, могу да се виде вредности густине, тј. запреминске масе ρ .



Слика 41. Дебљина $-h$ и топлотна проводљивост $-\lambda$



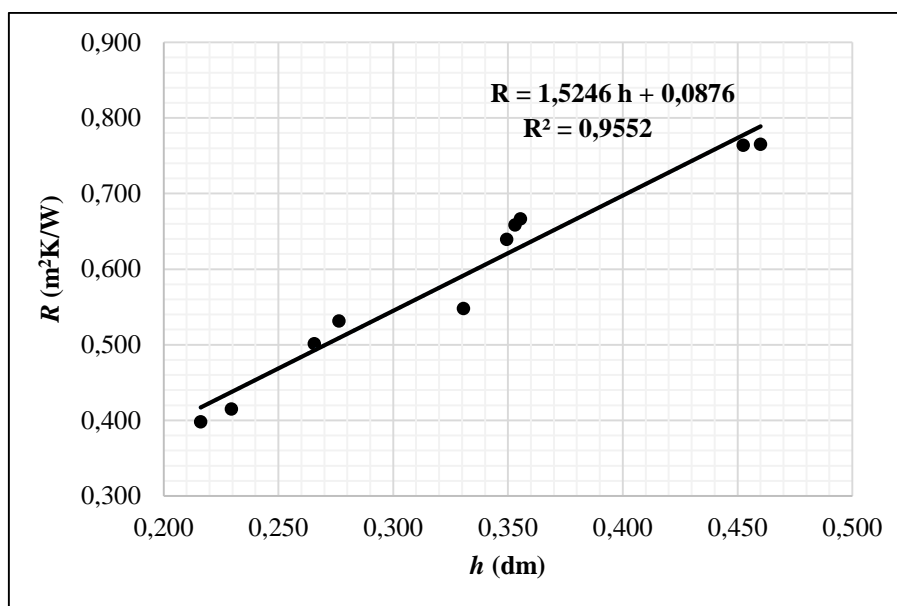
Слика 42. Запреминска маса – ρ и топлотна проводљивост – λ



Слика 43. Топлотна изолација – R и дебљина – h

Између дебљине узорака h и топлотне изолације R (Слике 43 и 44) примећује се јасно изражена корелација, тј. линеарна зависност. Коефицијент корелације између дебљине и топлотне изолације износи $r = 0.98$, а коефицијент детерминације $R^2 = 0.96$ (Слика 44). Због директне зависности топлотне изолације од дебљине мора се обратити пажња на промену дебљине узорака после прошивања која проузрокује и промену запреминске масе. И поред исте почетне запреминске масе – ρ_p после прошивања сви узорци имају различиту вредност запреминске масе. Коефицијент варијације за вредности запреминске масе после прошивања – ρ је $CV = 22.27\%$. Коефицијент

корелације између промене дебљине – Δh и промене запреминске масе – $\Delta \rho$, узорака износи $r = 0.98$.



Слика 44. Зависност топлотне изолације - R и дебљине - h

Табела 21 приказује промену дебљине – Δh (%) и запреминске масе – $\Delta \rho$ (%) узорака у односу на почетне вредности ових величина. Промена дебљине је у границама од 9.526% до 56.770%, а запреминске масе од 10.435%, до 130.783%. Овако велике разлике јављају се као резултат великих разлика у површинској маси тканина А, С и D, и структури делимично рашчупане плетенине В, као и различитих димензија комадића, тј. различитог начина припреме отпада пре пуњења навлака.

Табела 21. Промена дебљине – Δh и запреминске масе – $\Delta \rho$

Ред. број	Узорак	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

Најмању промену дебљине и запреминске масе има узорак В ($\Delta h = 9.526\%$ и $\Delta \rho = 10.435\%$), а затим следе друга два узорка АВD ($\Delta h = 29.400\%$ и $\Delta \rho = 41.739\%$) и АВС ($\Delta h = 30.120\%$ и $\Delta \rho = 42.870\%$) који, такође, садрже В компоненту.

Ако проценат промене дебљине разматрамо као фактор отпора према механичким деформацијама у току прошивања, онда су узорци који садрже влакнасту компоненту отпорнији у односу на остале узорке направљене само од комадића конфекцијског отпада, односно, присуство влакнасте компоненте повећава хомогеност и стабилност узорака. Што је већи степен уситњености конфекцијског отпада, то је већи и отпор на механичку деформацију током прошивања. Овај закључак изводи се на основу тога што је код узорака од тканине А проценат промене дебљине и запреминске масе мањи код узорака са сецканим отпадом (A_2 и A_1) у односу на узорке код којих је отпад остао у његовом оригиналном облику (A_3 и A_4). Иста дискусија важи и за узорке тканине С, где узорак за ситнијим комадићима C_1 има мању деформацију током прошивања у односу на узорак C_2 . Мора се нагласити да је процентуална промена дебљине и запреминске масе релативна јер се рачуна у односу на почетну расположиву дебљину узорака од 50, 70 или 100 mm. Не може се тачно одредити дебљина узорка после пуњења навлаке, а пре прошивања, због тога што он није стабилизван.

Стабилност узорака за испитивање топлотне проводљивости (као и фактора који на њу утичу) је битан моменат који треба имати у виду у процесу производње нове изолационе структуре, јер током примене, као изолација код преградних зидова, нова изолациона структура треба да стоји у вертикалном положају и не сме долазити до клизања и смицања материјала.

Да би могли оцењивати утицај степена уситњетости отпада, површинске масе такнине и садржај Луста[®] влакана на топлотну изолацију, испитивани узорци треба да имају исту дебљину. Због директне пропорционалности топлотне изолације и дебљине, дебљина свих узорака своди се на 100 mm. Прорачунава се топлотна изолација узорака за дебљину од 100 mm и означава се са R^* (Табела 20). Њене вредности су у границама од $R^* = 1.658 \text{ m}^2\text{K/W}$ код узорка D до $R^* = 1.924 \text{ m}^2\text{K/W}$ код узорка A_2 . Узорци ознаке А за које је употребљена тканина најмање површинске масе показују незнатно бољу топлотну изолацију у односу на узорке С и D где је употребљена тканина веће површинске масе. Разлике у вредностима топлотне изолације R^* нису толико велике ако узмемо у обзир велике разлике у површинским масама код тканина А, С, D (92, 245 и 272 g/m^2 респективно). Генерално, са повећањем површинске масе тканине смањује се

топлотна изолација. (Ово је генерално запажање јер постоји разлика у сировинском саставу између А и С тканина са једне стране и D тканине са друге стране). Примећује се да код узорака направљених од исте врсте тканине, тј. њеног отпада од кројења А, највећу изолацију има узорак од најситнијих комада А₂, а најмању А₄ припремљен од несецканог отпада тканине А. Уствари, узорци А₁ и А₂ припремљени од ситнијих комадића, имају бољу топлотну отпорност него А₃ и А₄ припремљени од несецканог отпада тканине А. С обзиром на чињеницу да оба узорка са ситнијим комадићима имају бољу топлотну отпорност, тј. већу изолацију, значи да већи степен уситњености тканине утиче на топлотну изолацију, односно, омогућава већу топлотну изолацију.

У овом разматрању не сме се занемарити запреминска маса. Узорци А₁ и А₂ имају мању запреминску масу ($\rho = 215.6 \text{ kg/m}^3$ и $\rho = 209.1 \text{ kg/m}^3$) у односу на А₃ и А₄, ($\rho = 226.4 \text{ kg/m}^3$ и $\rho = 249.4 \text{ kg/m}^3$ респективно). Већа запреминска маса повећава коефицијент топлотне проводљивости смањујући тиме топлотну изолацију. Код веће запреминске масе на јединицу запремине имамо већу количину тканине, а мање ваздуха, тако да ће кондуктивни топлотни трансфер бити већи. Коефицијент корелације између запреминске масе и топлотне изолације код узорака од тканине А износи $r = -0.99$.

Од узорака који су начињени само од отпадака тканина А₁, А₂, А₃, А₄, С₁, С₂ и D најмању топлотну изолацију има узорак D где је $R^* = 1.658 \text{ m}^2\text{K/W}$, што је, уосталом, и најмања вредност топлотне изолације свих узорака. Ово нас наводи на мишљење да присуство Лусга® влакана (5%) смањује топлотну изолацију. Комбиновани узорци ABC и ABD имају веома блиске вредности топлотне изолације ($R^* = 1.866 \text{ m}^2\text{K/W}$ и $R^* = 1.876 \text{ m}^2\text{K/W}$ респективно) што значи да присуство једне трећине различите компоненте није показало знатан утицај на вредност топлотне изолације.

Горња анализа је на основу малих разлика у вредностима топлотне изолације R^* . У реалном физичком смислу, тј. из угла људске перцепције, (као и према вредности коефицијента варијације $CV = 5.44\%$) разлике у топлотној изолацији R^* су незначајне. То би значило да се нова изолациона структура може правити од исецканог конфекцијског отпада од ПЕС тканина са различитим структурним карактеристикама или као комбинација са материјалом делимично у стању влакана. Из ове дискусије најважније је запажање да је топлотна изолација новог изолационог производа упоредива са комерцијалним производима. За поређење добијених вредности топлотне изолације испитиваних узорака тј. нове текстилне структуре, послужиће подаци из табеле 22.

Табела 22. Поређење топлотне изолације новог изолационог производа са комерцијалним производима

Изолациони производ	ρ (kg/m ³)	h (mm)	R^* (m ² K/W)
Нови производ	126.99 – 265.38	100	1.658 - 1.924
Mettise изолација	120	100	2.38
	50	50	1.25
	50	100	2.50
Eurotherm изолација	15 - 18	70	1.89

Према табели 22 може се закључити да нова изолациона структура од ПЕС сецканог конфекцијског отпада има већу запреминску масу и мању топлотну изолацију у односу на Mettise изолацију при истој дебљини. При овом упоређивању треба узети у обзир да је Mettise изолација добијена рециклирањем тканина до влакана, а код нове изолационе структуре (код 7 од 10 узорака) овај процес није уопште примењен. Нови производ има веома блиску вредност топлотне изолације са Eurotherm - ом (експандиран полистирен) али је у овом случају драстично већа разлика у запреминској маси као и различита дебљина. Мали додатак влакнасте структуре у нови изолациони производ и већи степен уситњености конфекцијског отпада смањиће запреминску масу, а повећати топлотну изолацију и стабилност структуре.

Значајно повећана запреминска маса није проблем који би повећао цену коштања овог изолационог производа јер је улазни материјал ПЕС отпад, који има симболичну цену, са једне стране, а са друге је врло тежак за рашчупавање.

3.3.3. ЗВУЧНА ИЗОЛАЦИЈА НОВЕ ИЗОЛАЦИОНЕ СТРУКТУРЕ

3.3.3.1. Дизајнирање узорака за мерење звучне апсорпције

Звучна изолација нове изолационе структуре, као и било ког другог материјала оцењује се према вредности коефицијента апсорпције звука α (%). Испитивања су извршена на Природно - математичком факултету, на Институту за физику у Скопљу.

Узорци за мерење коефицијента апсорпције звука припремљени су од истих материјала, конфекцијског отпада ПЕС тканина А, С и D (Табела 17) и рашчупане ПЕС плетенине В (Слика 35) припремљених на начин приказан у табели 18. Са овако припремљеним отпадом пуне се пластичне цеви са пречником $d = 12$ cm и дужином $l = 10$ cm, односно запремином $V = 0.00113$ m³.

Табела 23. Маса конфекцијског отпада – m_o за припрему узорака за мерење звучне апсорпције

Узорак	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	B	C ₁	C ₂	D	ABC	ABD
m_o (g)	243.6	236.3	255.8	281.8	143.5	281.8	299.9	196.5	185.7	184.2

У цев се ставља количина материјала за пуњење која одговара запреминској маси узорака припремљених за мерење топлотне проводљивости тј. запреминске масе после прошивања ρ (kg/m³), према табели 19. Цев се „затвара” са нетканим текстилним материјалом (коришћен и код узорака за мерење топлотне проводљивости). Потребна количина отпада за пуњење цеви m_o је дата у табели 23, а изглед готових узорака на слици 45.



Слика 45. Изглед готовог узорка (B) за мерење звучне апсорпције

3.3.3.2. Метод мерења звучне апсорпције

За мерење коефицијента апсорпције звука α (%) коришћени су:

- **Микрофон А4 mi-10,**
- **Звучник : KYE Systems Corp Multimedia hi fi speaker system sp-dijametar,**
- **Компјутер,**
- **GoldWave софтвер** за генерисање и обраду (филтрирање) звучних сигнала,
- **OriginPro 8.5.1 софтвер** за обраду графичких записа звучних сигнала.

Шематски приказ апаратуре за мерење звучне апсорпције приказан је на слици 46.

Поступак мерења изводи се по следећем редоследу:

1. Генерише се звучни сигнал преко софтвера GoldWave у трајању од 30 секунди на 6 различитих (номиналних) фреквенција 125, 250, 500, 1000, 2000 и 4000 Hz (5 секунди за сваку фреквенцију) који пролази кроз узорак. Пправе се три мерења за сваки узорак.

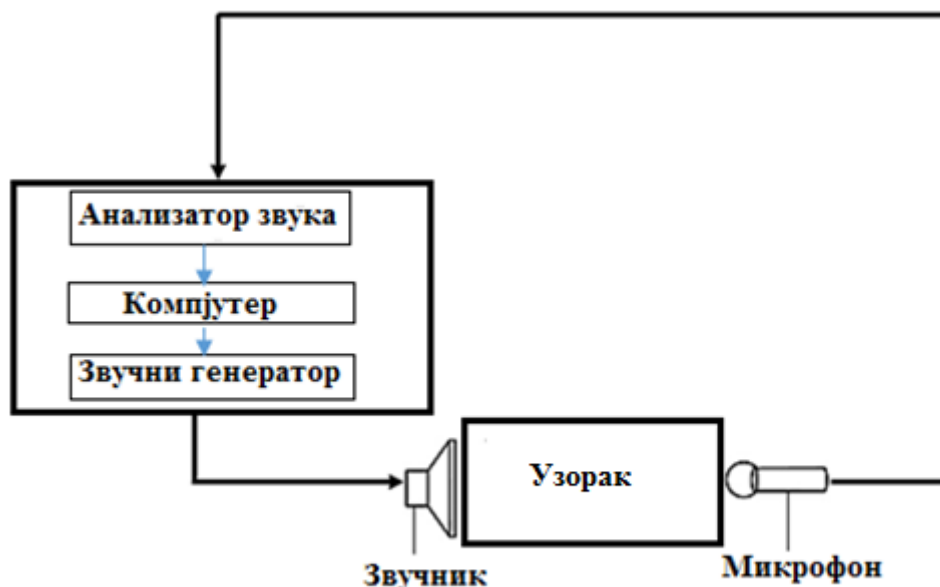
2. Излазни звучни сигнал обрађује се, односно филтрира, по опсезима за сваку фреквенцију. За фреквенцију од 125 Hz у опсегу од 100 - 140 Hz, за 250 Hz опсег филтрирања је од 235 - 265 Hz, за 500 Hz је 480 - 520 Hz, за 1000 Hz 950 - 1050 Hz, за 2000 Hz 1920 - 2080 Hz и за 4000 Hz 3900 - 4000 Hz. За филтрирање звучног сигнала користи се исти софтвер, GoldWave.
3. Филтрирани снимци отварју се софтвером OriginPro 8.5.1 и добијају се графици помоћу којих се могу очитати вредности амплитуде излазног сигнала за сваку фреквенцију.
4. Исти поступак понавља се за одређивање референтне вредности, односно, за ваздух и код референтне вредности читају се амплитуде звучног сигнала на сваку од 6 номиналних фреквенција.
5. Звучна апсорпција узорка, тј. коефицијент звучне апсорпције, α (%) рачуна се према једначини:

$$\alpha = 100 - \left(\frac{A_{iz}}{A_{ref}} \right) \cdot 100 \quad (\%) \quad (43)$$

где је:

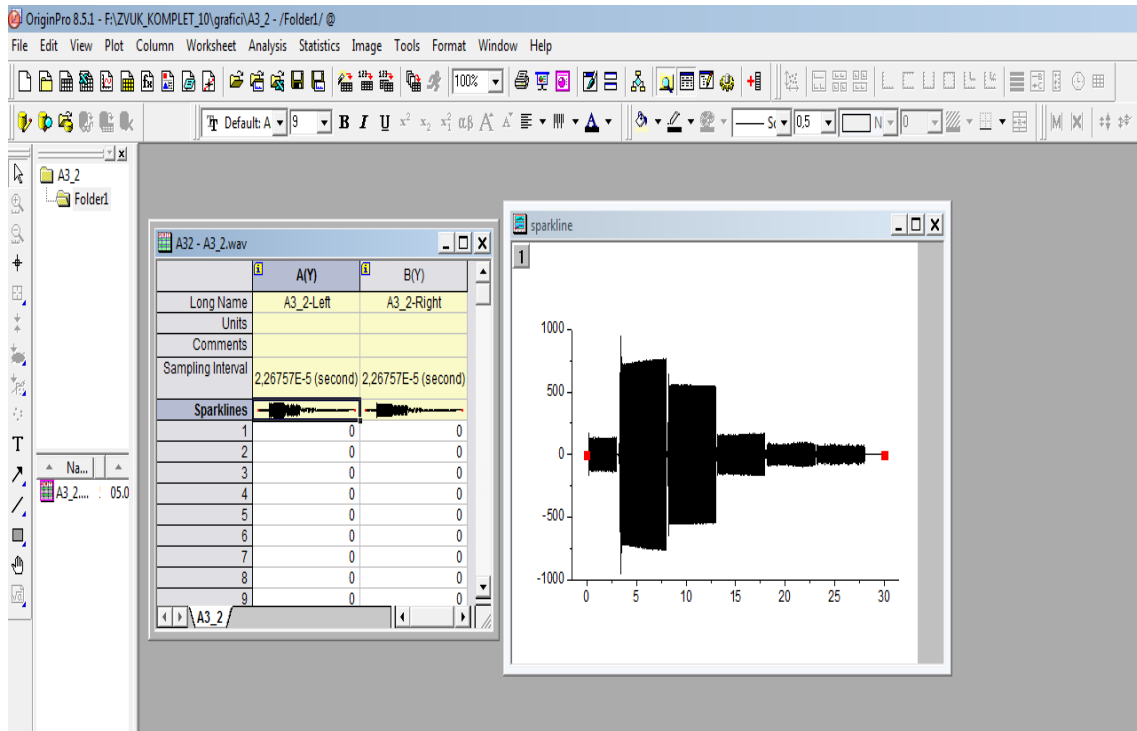
A_{iz} – амплитуда излазног звучног сигнала за одређену фреквенцију,

A_{ref} – референтна вредност амплитуде звучног сигнала за одређену фреквенцију.

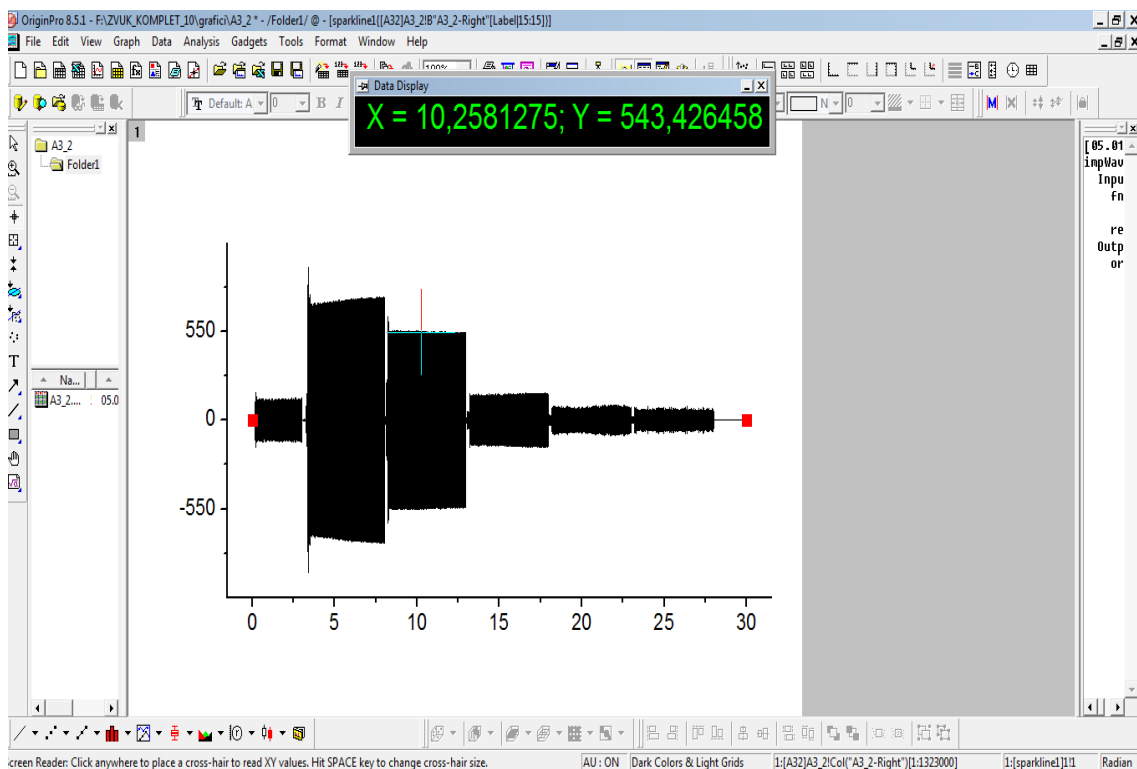


Слика 46. Шематски приказ апаратуре за мерење звучне апсорпције

На слици 47 је приказана примена OriginPro 8.5.1 за обраду звучних сигнала, а на слици 48 начин читавања амплитуде звучног сигнала.



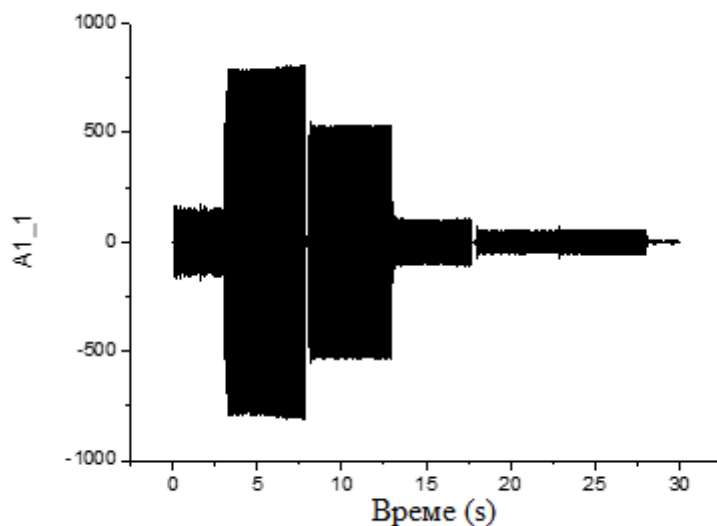
Слика 47. Обрада снимка звучног сигнала у OriginPro 8.5.1



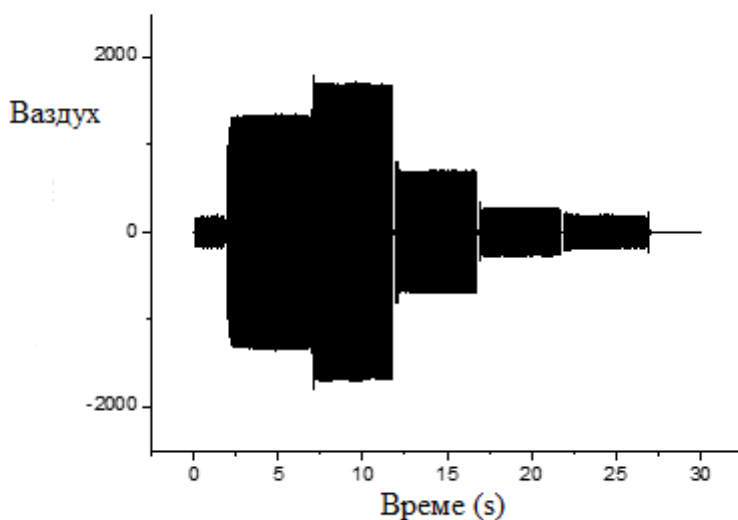
Слика 48. Очитавање амплитуде звучног сигнала

3.3.3.3. Резултати мерења звучне апсорпције и дискусија

Слика 49 је пример графичког приказа обрађеног звучног снимка (једно мерење за узорак A_1), а слика 50 за референтну вредност (за ваздух). Сви остали графички прикази обрађених звучних сигнала у програму OriginPro 8.5.1. од којих се добијају вредности амплитуда (од три мерења за сваки узорак) приказани су као Прилог 3. Вредности амплитуда су дате у Прилогу 4 (Табела П.4.1).



Слика 49. Графички приказ вредности амплитуде излазног звучног сигнала – A_{iz} за A_1 (прво мерење)



Слика 50. Графички приказ референтне вредности амплитуде звучног сигнала – A_{ref} (за ваздух)

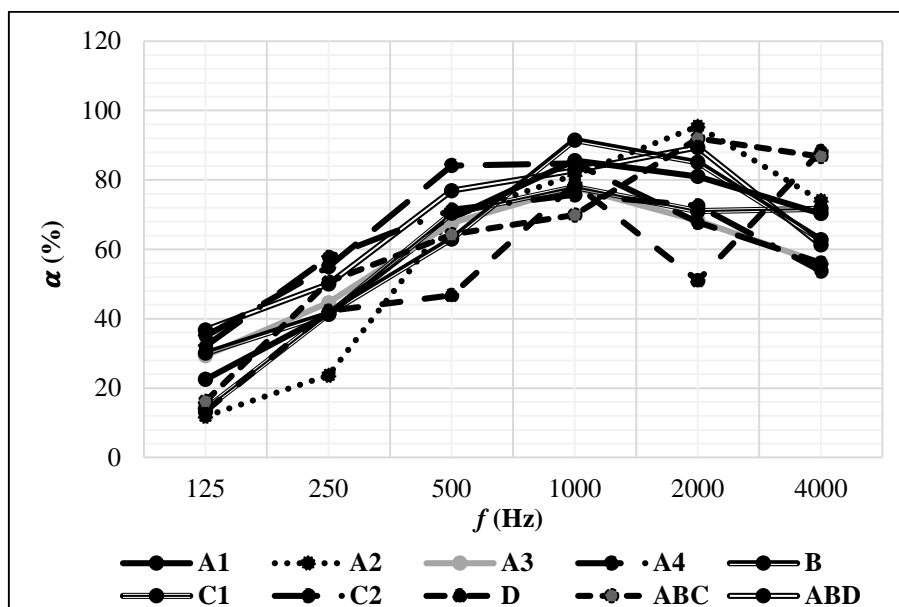
Коефицијент звучне апсорпције α (%) прорачунат је по једначини 43, а *NRC* (коефицијент редукције звука) као средња вредност коефицијента звучне апсорпције у интервалу од 250 - 2000 Hz. У табели 24 су приказане вредности коефицијента звучне апсорпције узорак за изабране фреквенције α (%), просечне вредности апсорпције свих узорак на одређеним фреквенцијама и вредности *NRC* (%).

Звучни изолатори функционишу тако што блокирају звук из ваздуха, свака шупљина у структури омогућава цурење звука на исти начин као кад вода пролази кроз материјал. Испитиване изолационе структуре показују карактеристике апсорпције звука типичне за влакнасте материјале. Криве апсорпције звука код свих 10 узорак имају исти тренд са максимумом апсорпције у интервалу од 1000 Hz до 2000 Hz. Побољшање апсорпције на вишим фреквенцијама типично је за порозне структуре зато што оне функционишу према механизму дисипативне апсорпције која је изражена на вишим фреквенцијама. Примећује се да најмању апсорпцију узорци имају код најнижих фреквенција. За фреквенцију од 125 Hz α је у границама од 11.89% код узорка A₂, до 36.76% код ABD. Просечна вредност апсорпције свих узорак за фреквенцију од 125 Hz је 24.13%. Највеће вредности звучне апсорпције измерене су на 1000 Hz где је најнижа апсорпција 69.90% а највиша 91.50%. Просечна вредност на овој фреквенцији је 80.63%. За вредност од 2000 Hz најнижа апсорпција је 50.99% за узорак D, а највиша 95.43% за A₂, што је уопште највиша измерена вредност звучне апсорпције. Просечна вредност апорпције свих узорак за ову фреквенцију је 77.35%, а за 4000 Hz 68.09%.

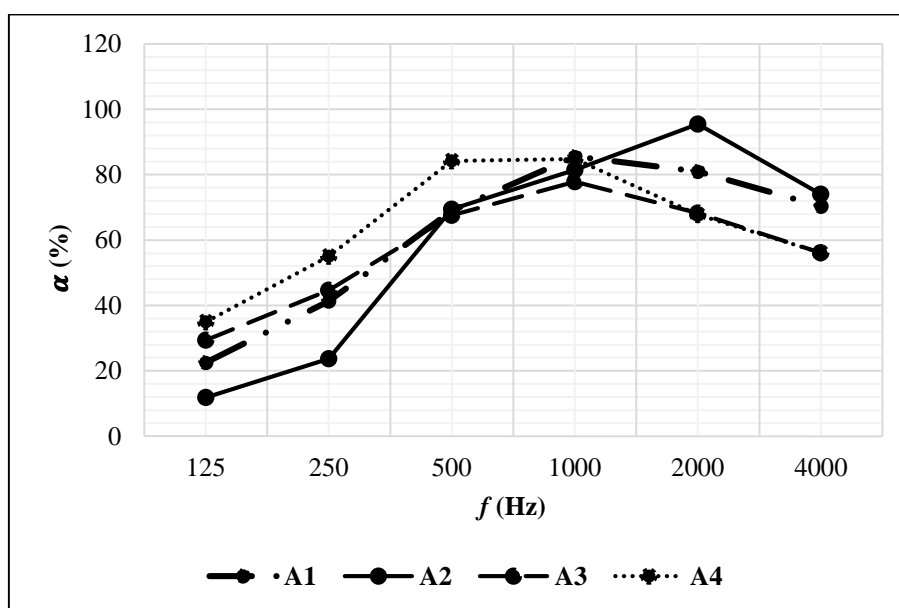
Табела 24. Апсорпција звука α (%) и *NRC* (%)

Ред. број	Узорак	α (%)						<i>NRC</i> (%)
		125 (Hz)	250 (Hz)	500 (Hz)	1000 (Hz)	2000 (Hz)	4000 (Hz)	250 - 2000 (Hz)
1	A ₁	22.52	41.36	68.94	85.56	80.99	70.33	69.21
2	A ₂	11.89	23.69	69.45	81.45	95.43	73.99	67.51
3	A ₃	29.37	44.62	67.57	77.83	68.27	56.07	64.57
4	A ₄	34.95	55.01	84.16	84.78	67.78	56.07	72.93
5	B	30.09	41.53	63.00	91.50	85.05	62.81	70.27
6	C ₁	14.05	41.28	70.40	77.97	70.99	71.68	65.16
7	C ₂	32.07	57.72	71.36	75.70	72.59	53.76	69.34
8	D	13.33	42.20	46.74	78.89	50.99	88.25	54.71
9	ABC	16.22	50.60	64.25	69.90	91.98	86.71	69.18
10	ABD	36.76	50.02	76.93	82.75	89.38	61.27	74.77
	просек	24.13	44.80	68.28	80.63	77.35	68.09	67.77

На слици 51 приказане су криве звучне апсорпције свих узорака у зависности од фреквенције. На слици 52 приказане су криве апсорпције у зависности од фреквенције за узорке припремљене од истог материјала, тканине А, тј. њеног конфекцијског отпада са различитим начином припреме. Највећа вредност апсорпције измерена је за узорак А₂ на фреквенцији од 2000 Hz, $\alpha = 95.43\%$. Остала три узорка имају максимум апсорпције на 1000 Hz.

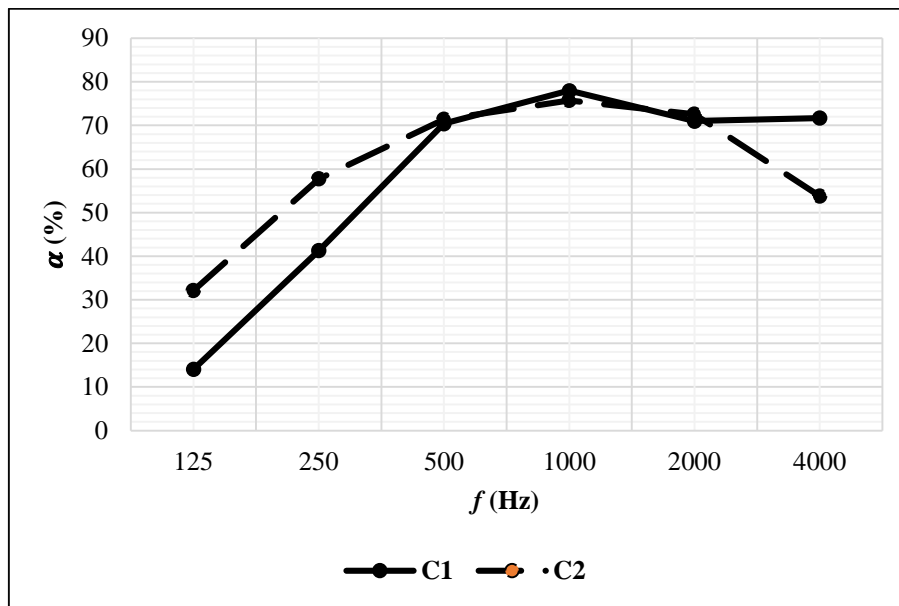


Слика 51. Звучна апсорпција α (%) свих узорака у зависности од фреквенције f (Hz)

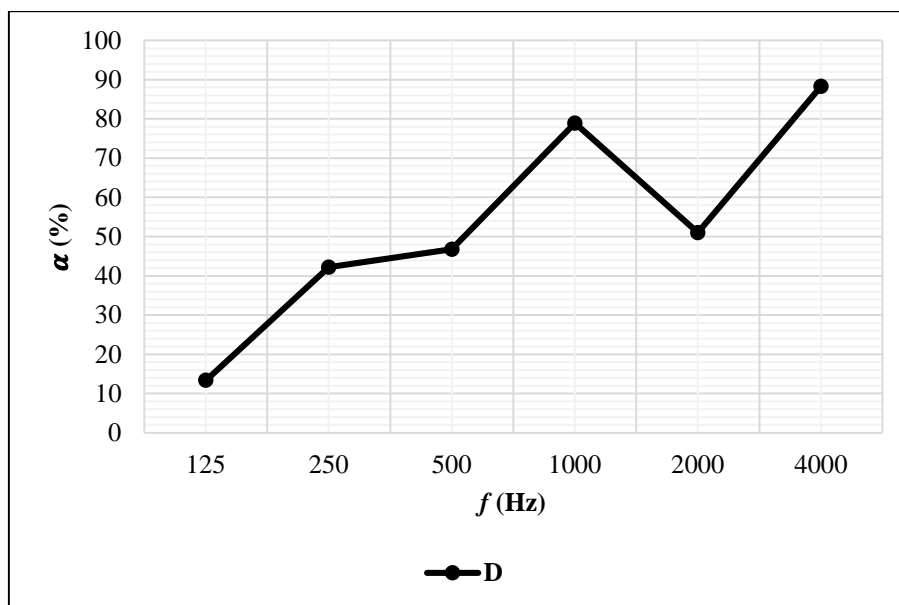


Слика 52. Звучна апсорпција α (%) узорака од тканине А у зависности од фреквенције f (Hz)

На слици 53 приказане су криве апсорпције у зависности од фреквенције за узорке припремљене од истог материјала, конфекцијског отпада тканине С. Оба узорка имају максимум звучне апсорпције на 1000 Hz, за узорак C₁ $\alpha = 77.97\%$, а за C₂ $\alpha = 75.70\%$. На слици 54 приказана је крива апсорпције у зависности од фреквенције за узорак D. Код овог узорка максимум звучне апсорпције је на 4000 Hz, $\alpha = 88.25\%$ што представља одступање од генералног тренда.

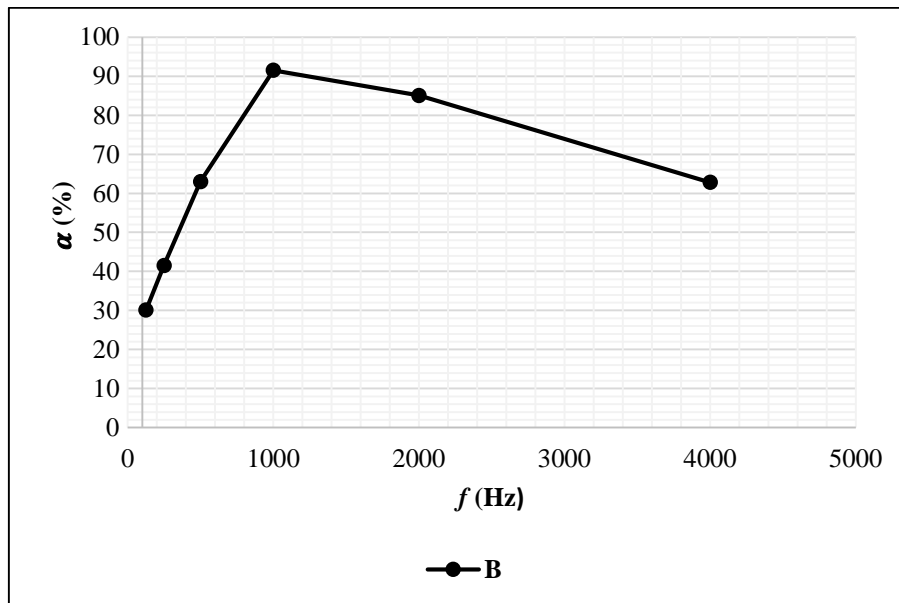


Слика 53. Звучна апсорпција α (%) узорака од тканине С у зависности од фреквенције f (Hz)

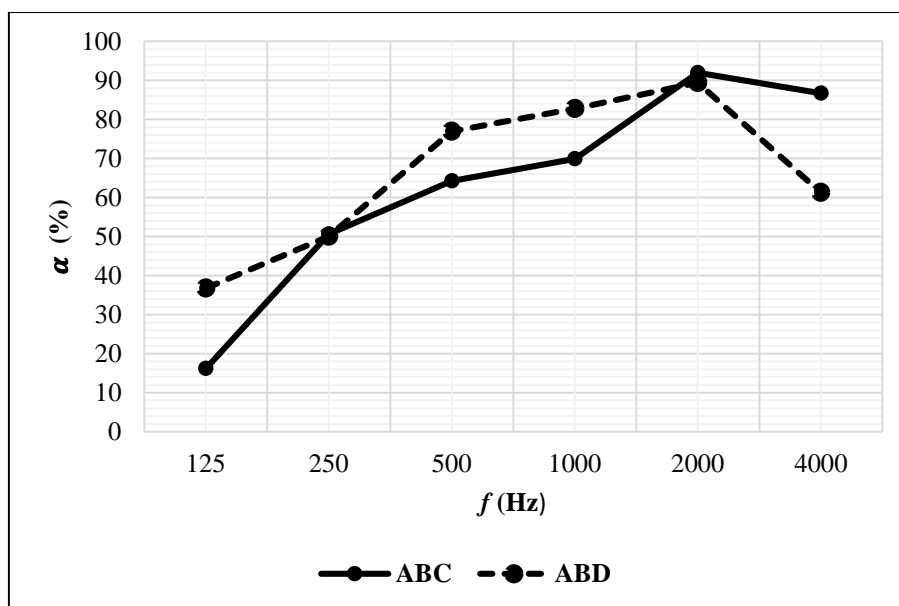


Слика 54. Звучна апсорпција α (%) узорка од тканине D у зависности од фреквенције f (Hz)

На слици 55 приказана је крива апсорпције у зависности од фреквенције за узорак припремљен од делимично рашчупане плетенине В. Код овог узорка максимум звучне апсорпције је на 1000 Hz, $\alpha = 91.50\%$. На слици 56 приказане су криве апсорпције у зависности од фреквенције за узорке припремљене као комбинација материјала А, В и С и А, В и D. Оба узорка показују максималну апсорпцију на фреквенцији од 2000 Hz, за ABC $\alpha = 91.98\%$, а за ABD $\alpha = 89.38\%$.

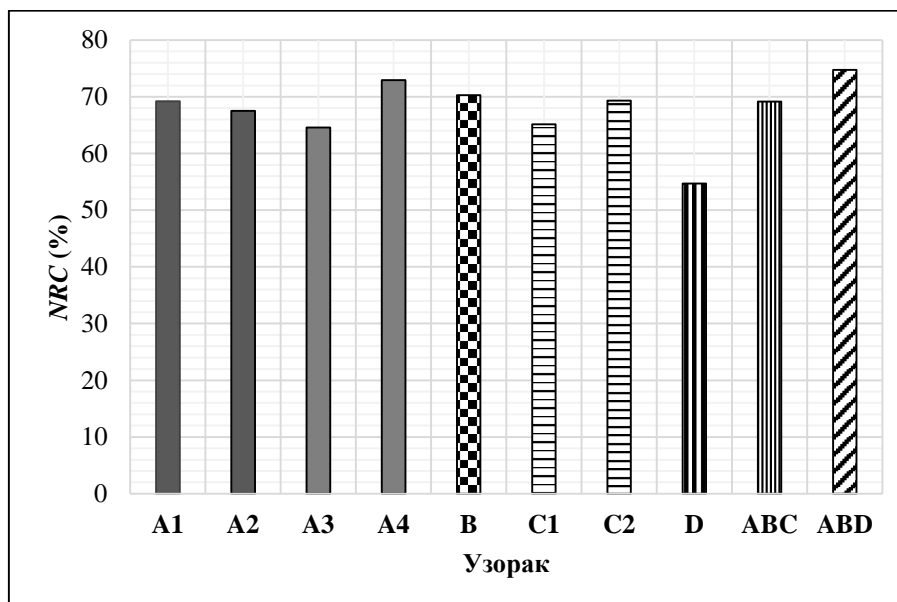


Слика 55. Звучна апсорпција α (%) узорка од делимично рашчупане плетенине В у зависности од фреквенције f (Hz)

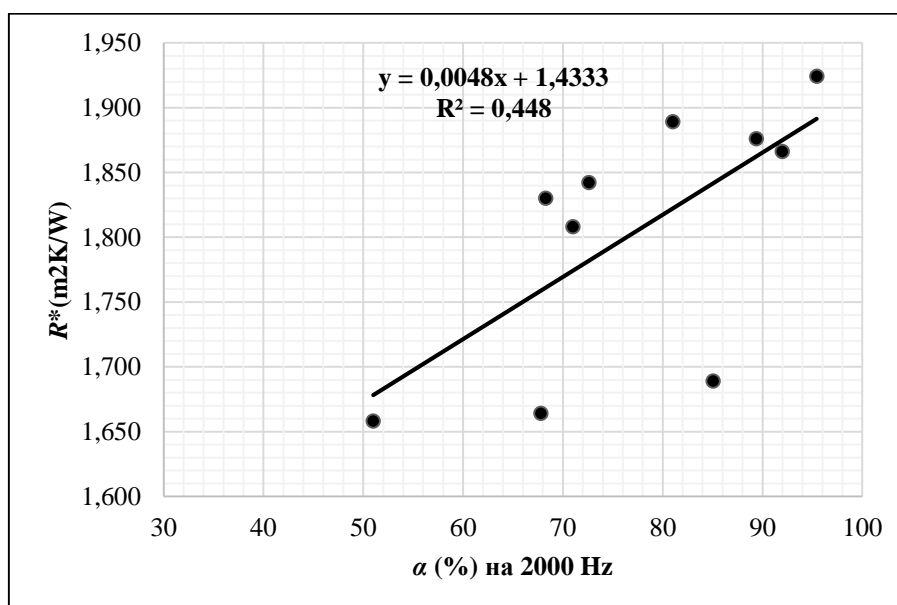


Слика 56. Звучна апсорпција α (%) узорка ABC и ABD у зависности од фреквенције f (Hz)

Вредности NRC – а приказане на слици 57 су у границама од 54.71% до 74.77%, а коефицијент варијације $CV = 7.7\%$. Ово значи да без обзира на различите материјале и начин њихове припреме, са аспекта људске перцепције звука, а на темељу коефицијента варијације NRC – а, разлике звучне изолације код испитиваних узорака нису значајне као и код топлотне изолације.



Слика 57. NRC испитиваних узорака



Слика 58. Зависност топлотне изолације – R^* и звучне апсорпције – α

Ако се размотри корелација између топлотне изолације – R^* и коефицијента звучне апсорпције – α на различитим фреквенцијама, онда се може закључити да је она највећа

на фреквенцији од 2000 Hz (Слика 58). Коефицијент корелације износи $r = 0.67$. Не примећује се значајна корелација између топлотне изолације – R^* и коефицијента редукције звука – NRC .

Много битније је запажање да су добијене вредности за NRC упоредиве са звучном апсорпцијом конвенционалних изолационих материјала (Табела 25). Према истраживању [86] камена вуна са дебљином од $h = 50$ mm и запреминском масом од $\rho = 150$ kg/m³ има $NRC = 75.7\%$. Већи део производа од камене вуне има $NRC = 85\%$ [140]. Поређење нове изолационе структуре са каменом вуном, стакленом вуном и полистиреном из табеле 25 није потпуно одговарајуће због различитих дебљина.

Табела 25. Поређење звучне апсорпције новог изолационог производа са комерцијалним производима

Изолациони материјал	ρ (kg/m ³)	h (mm)	NRC (%)
Нови изолациони производ	126.99 – 265.38	100	54.71 - 74.77
Стаклена вуна	50	50	66.3
Камена вуна	80	50	63.8
Полистирен	28	50	51.8
Inno-Therm/Mettise	25	100	85

Вредности звучне изолација нове изолационе структуре најсличније су онима код Inno-Therm/Mettise изолационих материјала који за дебљину од $h = 100$ mm и запреминску масу $\rho = 25$ kg/m³ имају коефицијент звучне апсорпција $NRC = 85\%$ У овом случају поређење је релевантније зато што су дебљине оба материјала исте, а разлика је само у запреминској маси. И у овом случају, као и код топлотне изолације, мора се нагласити да је запреминска маса нове структуре много већа у односу на комерцијалне Inno-Therm/Mettise изолационе материјале.

3.3.4. СТЕПЕН СТАРЕЊА И БИОДЕГРАДАЦИЈЕ НОВЕ ИЗОЛАЦИОНЕ СТРУКТУРЕ

3.3.4.1. Метод испитивања степена старења и биодеградације

За испитивање старења и биодеградације отпада од кројења тканина А, С и D и делимично рашчупане плетенине В коришћен је метод који се темељи на стандарду ISO 11721-1 [141] са одређеном модификацијом у погледу димензија испитиваних тканина. Стандард прописује димензије тканине за испитивање старења и биодеградације 5 x 5

cm, али у овом испитивању се не може испунити тај услов зато што су димензије и начин припреме материјала онакви како је већ описано у табели 18. Идеја је да се оцени биодеградација материјала А, В, С и D у потпуно природним условима и у облику материјала у којем су вршена и остала испитивања, тј. топлотна проводљивост и звучна апсорпција.

Од сваког узорка (претходно припремљеног за мерење топлотне проводљивости) А₁, А₂, А₃, А₄, В, С₁, С₂, D, ABC и ABD узима се одређена количина тј. 100 g материјала и ставља се у врећицу од нетканог текстила (који је служио као навлака за пуњење код узорка за мерење топлотне проводљивости), те се закопа у земљу. Узорци остају у земљи 3 месеца (90 дана), после чега се ваде, истресају од земље, ситног камења и све остале нечистоће. У следећем кораку узорци се перу у чистој води и суше на собној температури. Степен старења одређује се субјективно на основу визуелног прегледа материјала.

На крају се мери количина опраног и исушеног материјала и рачуна степен његове биодеградиције. Степен биодеградације оцењује се преко процента губитка масе материјала, према једначини:

$$m_z = \frac{m_o - m_k}{m_o} 100 (\%) \quad (44)$$

где је:

m_z – губитак масе (%),

m_o – почетна маса отпада тј. маса пре закопавања у земљу (g),

m_k – крајња маса отпада тј. после откопавања, прања и сушења (g).

3.3.4.2. Резултати степена старења и биодеградације коришћених материјала

Визуелни преглед узорка ископаних из земље после 3 месеца (Слика 59) показује да код материјала нема никаквих видљивих промена у односу на његов спољашни изглед. Откопани узорци после истресања земље, камења и прашине и свих осталих нечистоћа (чак и пре прања) изгледају потпуно исто као и пре три месеца. Чак и код узорка од рашчупане плетенине В, који је делимично у облику влакана и садржи и памучну компоненту, нема видљивих промена нити у боји, нити било каквог оштећења.

Губитак масе материјала за све узорке, као показатељ биолошке разградивости, прорачунат је према једначини 44, а резултати су дати у табели 26 и на слици 60.



а - пре вађења из земље

б - после вађења из земље, истресања прања и сушења

Слика 59. Визуелни изглед узорака за оцену старења и биодеградације

Губитак масе, m_z код свих узорака је у границама, од 0 - 0.3% што значи да практично и нема губитка масе. Код 4 од укупно 10 узорака (A_3 , A_4 , C_2 , и D) губитак масе је 0%, код 3 узорака (A_1 , C_1 , и ABD) износи само 0.1%. Два узорака (A_2 и ABC) показала су губитак масе од 0.2%, а један узорак, B , има губитак масе од 0.3%.

Табела 26. Губитак масе

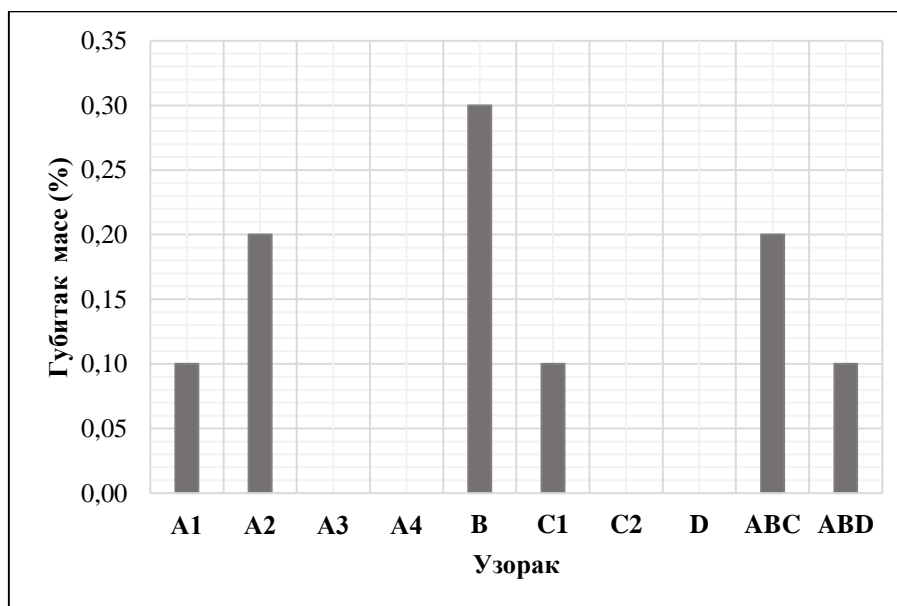
Ред. број	Узорак	m_o (g)	m_k (g)	m_z (%)
1	A_1	100	99.9	0.1
2	A_2	100	99.8	0.2
3	A_3	100	100.0	0.0
4	A_4	100	100.0	0.0
5	B	100	99.7	0.3
6	C_1	100	99.9	0.1
7	C_2	100	100.0	0.0
8	D	100	100.0	0.0
9	ABC	100	99.8	0.2
10	ABD	100	99.9	0.1

Ако се посматра губитак масе код узорака од чисто полиестерских тканина A_1 , A_2 , A_3 и A_4 са једне стране, C_1 и C_2 са друге стране, и ако се узме у обзир велика разлика у површинским масама између A и C тканине (92 и 245 g/m² респективно), може се констатовати да ова разлика није показала утицај на губитак масе.

Присуство Lycrе® у тканини D , као и највећа вредност површинске масе код ове тканине, такође, није показало никакав утицај на губитак масе зато што код овог узорака

он износи 0% али иста вредност се јавља и код два узорка од тканине А и једног узорка од тканине С. Највећи губитак масе (условно речено) износи 0.3% и примећује се код материјала од узорка В. Ова вредност је веома мала и сасвим мало се разликује од осталих и поред разлике у сировинском саставу, односно, присуство памучне компоненте као и разлике у облику материјала, тј. делимично влакнастог стања. Комбиновани узорци АВС и АВД показују исти тренд у губитку масе (0.2% и 0.1% респективно) као и узорци од само једне компоненте.

Резултати степена старења и биоразградивости само потврђују да је ПЕС бионеразградив материјал и да остаје дуго на депонијама.



Слика 60. Губитак масе

У овом контексту треба размотрити истраживања о еколошком отиску полиестерских материјала као и поређење еколошког отиска класичних изолационих материјала и изолације од текстилног отпада.

Испитивање импакта животног циклуса изолационих панела од ПЕТ упоређиван је са конвенционалним изолаторима [116]:

- панели полистирена са топлотном проводљивошћу $\lambda = 0.028 \text{ W/mK}$ и густине $\rho = 32 \text{ kg/m}^3$,
- полиуретански изолациони панели, са топлотном проводљивошћу $\lambda = 0.030 \text{ W/mK}$ и густине $\rho = 32 \text{ kg/m}^3$,

- изолациони панели од кенаф влакана (композитни материјал на бази природних влакана) са топлотном проводљивошћу $\lambda = 0.038 \text{ W/mK}$ и густине $\rho = 40 \text{ kg/m}^3$,
- камена вуна на бази природних минерала и рециклираног post consumer отпада, са додатком везивног средства и средством за импрегнацију са топлотном проводљивошћу $\lambda = 0.032 \text{ W/mK}$ и густине $\rho = 37 \text{ kg/m}^3$.

Према овом истраживању из табеле 27 види се да изолација од полиестера и камене вуне показује најбољи импакт на животну средину рачунато укупно у све три категорије. Ако се посматра читав животни циклус ПЕС материјала, почевши од почетних сировина преко фазе примене до самог краја животног циклуса, може се закључити да ипак полиестер не чини толику штету као што се мисли.

Табела 27. Рангирање различитих изолационих производа према импакту, [116]
(1 - најбољи импакт, 5 - најгори импакт)

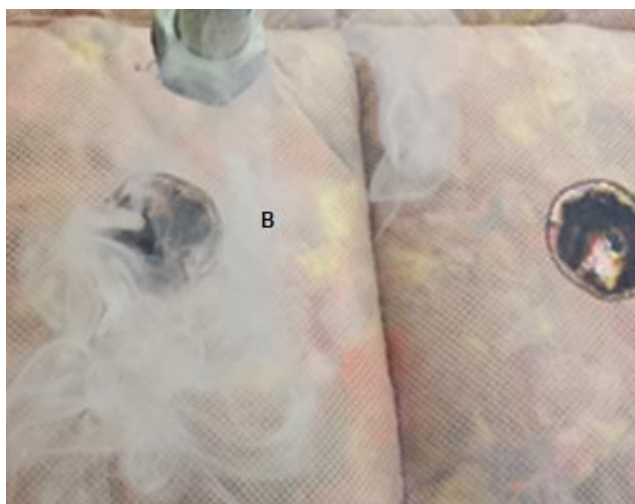
Импакт категорија	GWP	Киселост	Фотохемиска оксидација
ПЕТ панели	2	1	1
Панели полистирена	4	4	2
Панели кенафа	3	5	3
Камена вуна	1	2	5
Полуретанска пена	5	3	4

3.3.5. ЗАПАЉИВОСТ НОВЕ ИЗОЛАЦИОНЕ СТРУКТУРЕ

3.3.5.1. Метод испитивања запаљивости

Испитивање запаљивости извршено је на истим узорцима на којима је вршено мерење топлотне проводљивости. Метод који је коришћен, BS 4790 познат је као Hot Metal Nut Test [142]. Код овог метода стандардни М16 некорозивни челични хексагонални завртањ (матица) загрева се у Муфловој пећи на 900°C , а затим се за време од три секунде ставља на испитивани узорак (Слика 61). Посматра се и бележи свака промена и мери се време горења.

На крају теста мери се највећи радијус и дубина оштећеног (сагорелог) места.



Слика 61. Тест запаљивости

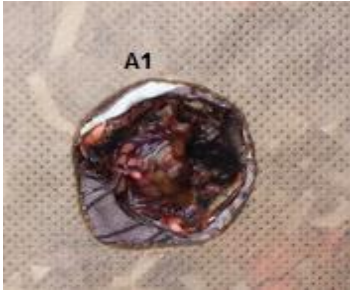
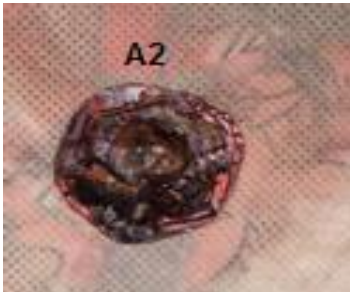


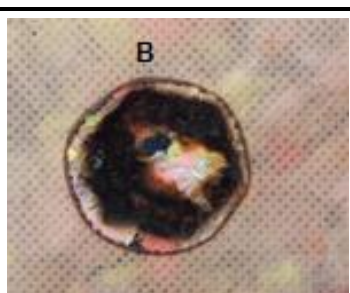
3.3.5.2. Резултати испитивања запаљивости и дискусија

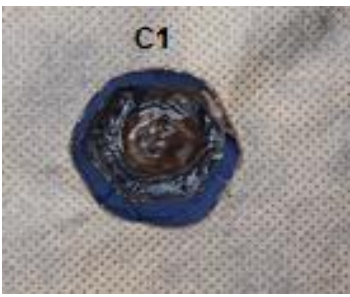
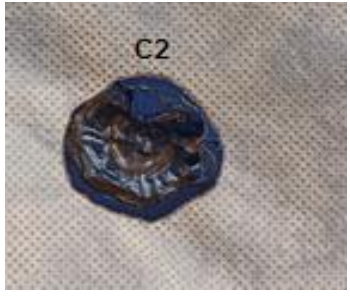


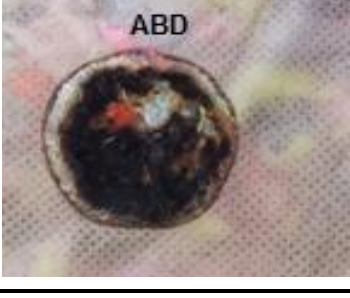
Резултати теста дати су у табели 28 где је приказан визуелни изглед узорка на месту постављања угрејаног завртња, радијус r (cm) и дубина насталог оштећења H (cm). Радијус оштећеног места је у границама од 1.60 cm код узорка D до 2 cm код узорка A₁ и A₂, док се дубина оштећеног места креће између 0.3 cm код узорка D и 1.3 cm код A₁ и A₂. Најмање оштећење има узорак од отпада тканине D са највећом површинском масом. Ова тканина, како је већ поменуто, садржи и 5% Лусга® влакана што такође утиче на отпорност запаљивости, тј. на степен оштећења. Највећи радијус и дубина оштећења примећује се код узорка од тканине са најмањом површинском масом А. Ако размотримо узорке од отпада тканине А види се да код A₁ и A₂ угрејани завртњак пропада дубље и ствара круг већег радијуса због тога што је отпад тканине исецкан у много мањим комадићима у односу на A₃ и A₄ који су припремљени од несецканог отпада.

Код оба узорка од отпада тканине С јавља се иста вредност за радијус и дубину оштећења 1.75 cm и 1 cm респективно.

Код 9 од десет узорка уопште се не јавља пламен, него долази само до топлеења. Једино код узорка В, сасвим краткотрајно (две секунде), после уклањања завртња примећују се слабе искрице пламена, што је резултат присуства памучне компоненте. Овде је један део површине круга истопљен, а један сагорео, али је дубина оштећења веома мала, 0.4 cm.

Табела 28. Запаљивост узорака

Узорак	r (cm)	CV (%)	H (cm)	CV (%)	Изглед узорка после теста	Визуелно запажање
A ₁	2	2.5	1.3	3.8		Узорак се само топи, скупља се у току топљења, нема појаве пламена.
A ₂	2	2.5	1.3	1.9		Узорак се само топи, скупља се у току топљења, нема појаве пламена.
A ₃	1.75	0.57	1.1	3.6		Узорак се само топи, скупља се у току топљења, нема појаве пламена.
A ₄	1.75	0.57	1.1	3.6		Узорак се само топи, скупља се у току топљења, нема појаве пламена.
B	1.75	1.7	0.4	1.25		Местимично топљење, слабо скупљање, искрице пламена које се одмах гасе.

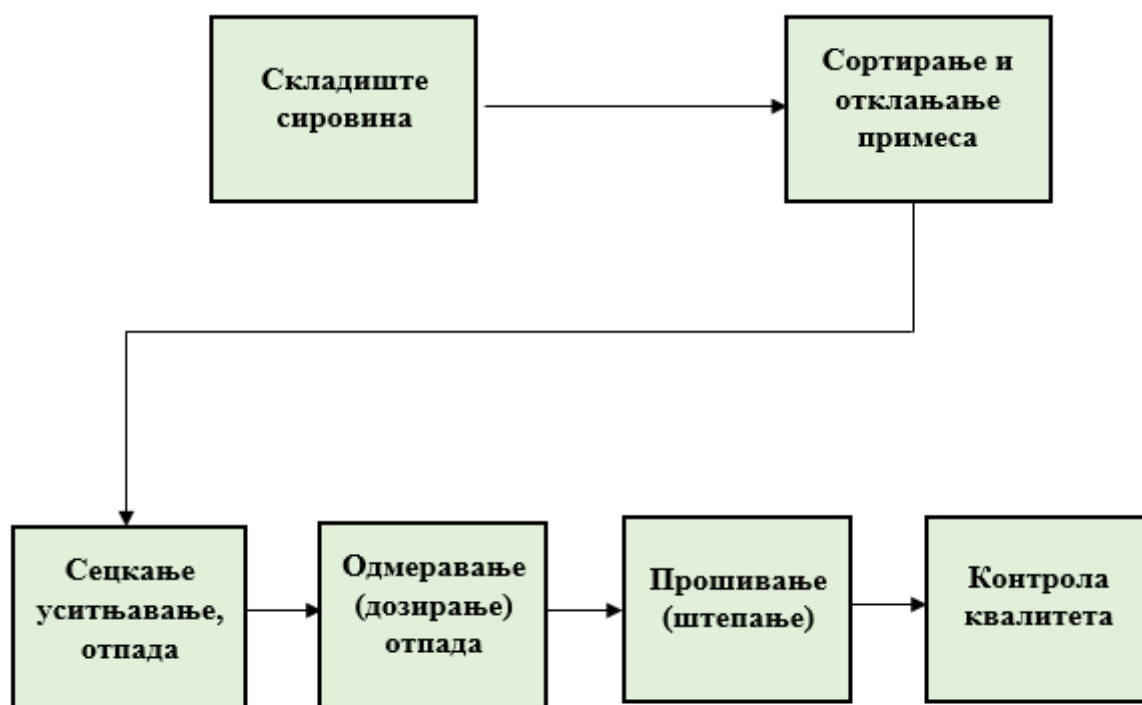
C₁	1.75	1.7	1.0	4.0		Узорак се само топи. јачо се скупља, нема пламена
C₂	1.75	1.14	1.0	4.0		Узорак се само топи, јачо се скупља, нема пламена.
D	1.60	3.12	0.3	4.0		Узорак се само топи, јачо се скупља, нема пламена.
ABC	1.80	2.22	0.6	3.8		Узорак се само топи, скупља се, нема појаве пламена.
ABD	1.75	1.14	0.5	3.8		Узорак се само топи, скупља се, нема појаве пламена.

Код комбинованих узорака ABC и ABD, мало већег оштећења има код ABC и оно веома личи на оштећење код узорака од тканине А, док код ABD више наликује на узорак В, што зависи од тога која компонента је била више заступљена на месту постављања завртња. Скупљање материјала током топљења јавља се код свих 10 узорака али је најизраженије код узорака од отпада тканина С и D (може се приметити

и на сликама у табели 28), тј. код тканина веће површинске масе. Имајући у виду да се ради о веома високој температури, око 900 °С, може се слободно тврдити да су узорци веома отпорни на запаљивост у директном контакту са загрејаним телом.

3.3.6. ПРЕДЛОГ ТЕХНОЛОШКЕ ЛИНИЈЕ ЗА ПРОИЗВОДЊУ НОВЕ ИЗОЛАЦИОНЕ СТРУКТУРЕ

Принцип производње нове изолационе структуре, према предлогу технолошке линије (Слика 62) који следи, веома је сличан принципу припреме узорака за мерење топлотне проводљивости.



Слика 62. Предлог технолошке линије за производњу нове изолационе структуре

Погон за производњу нове изолационе структуре треба да садржи 6 технолошких целина:

1. Складиште сировина (конфекцијског отпада)
2. Транспорт сировина до линије за сортирање и отклањање примеса
3. Транспорт сировина до ваге за одмеравање и уређаја за дозирање
4. Линија за сецање (уситњавање) конфекцијског отпада
5. Линија за прошивање (штепање)
6. Линија за контролу квалитета.

Фаза припреме конфекцијског отпада састоји се од сортирања и отклањања металних примеса. У почетној фази производног процеса конфекцијски отпад се подвргава ситњењу, тј. сецкању са одређеним интензитетом. Затим следи стабилизација структуре и то прошивањем, односно, прошивањем структуре између две носеће фолије. Погон за производњу нове изолационе структуре треба да располаже са: **машином за сецкање са ротационим ножевима и машином за прошивање (штепање).**

За сецкање конфекцијског отпада може се користити машина GM800C (кинеске производње) приказана на слици 36 а, која је коришћена у фази припреме отпада од тканине А за узорке А₁ и А₂ за мерење топлотне проводљивости. Карактеристике ове машине су:

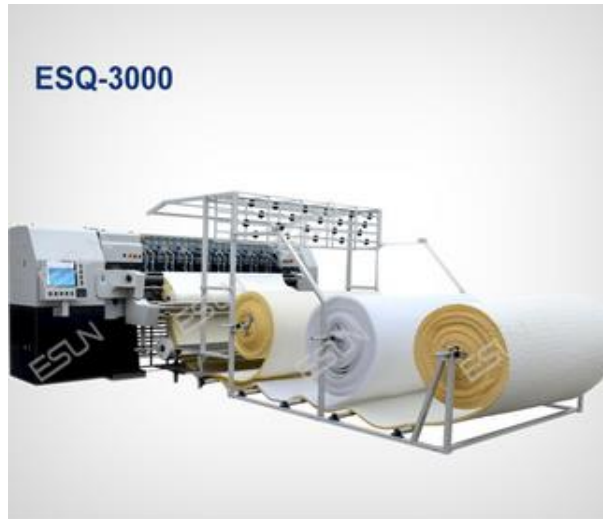
- капацитет: 500 - 800 kg/h,
- снага: 5.5 kW,
- димензије: 3200 x 1000 x 1100 mm и
- тежина: 800 kg.

На тржишту постоји велики избор потпуно аутоматизованих и компјутеризованих машина за прошивање. Може се користити машина са континуираним дејством (једна алтернатива је модел ESQ - 3000, кинеске производње) за добијање ролни или машина са рамом (на пример, модел АВМ XL6000М, америчке производње) за добијање панела са тачно одређеним димензијама. Машина за прошивање са континуираним дејством може се видети на слици 63. Основне техничке карактеристике машине ESQ - 3000 су:

- брзина: 80 - 230 m/h,
- снага: 8 kW,
- димензије: 10000 x 4500 x 1600 mm,
- ширина материјала: 2450 mm и
- тежина: 4500 kg.

Машина за прошивање са рамом приказана је на слици 64. Основне техничке карактеристике машине XL6000М су:

- стандардне димензије материјала: 245 x 275 cm,
- максималне димензије материјала: 356 x 356 cm,
- максимална брзина шивења: 2500 min⁻¹ и
- тежина машине: 1587 kg.



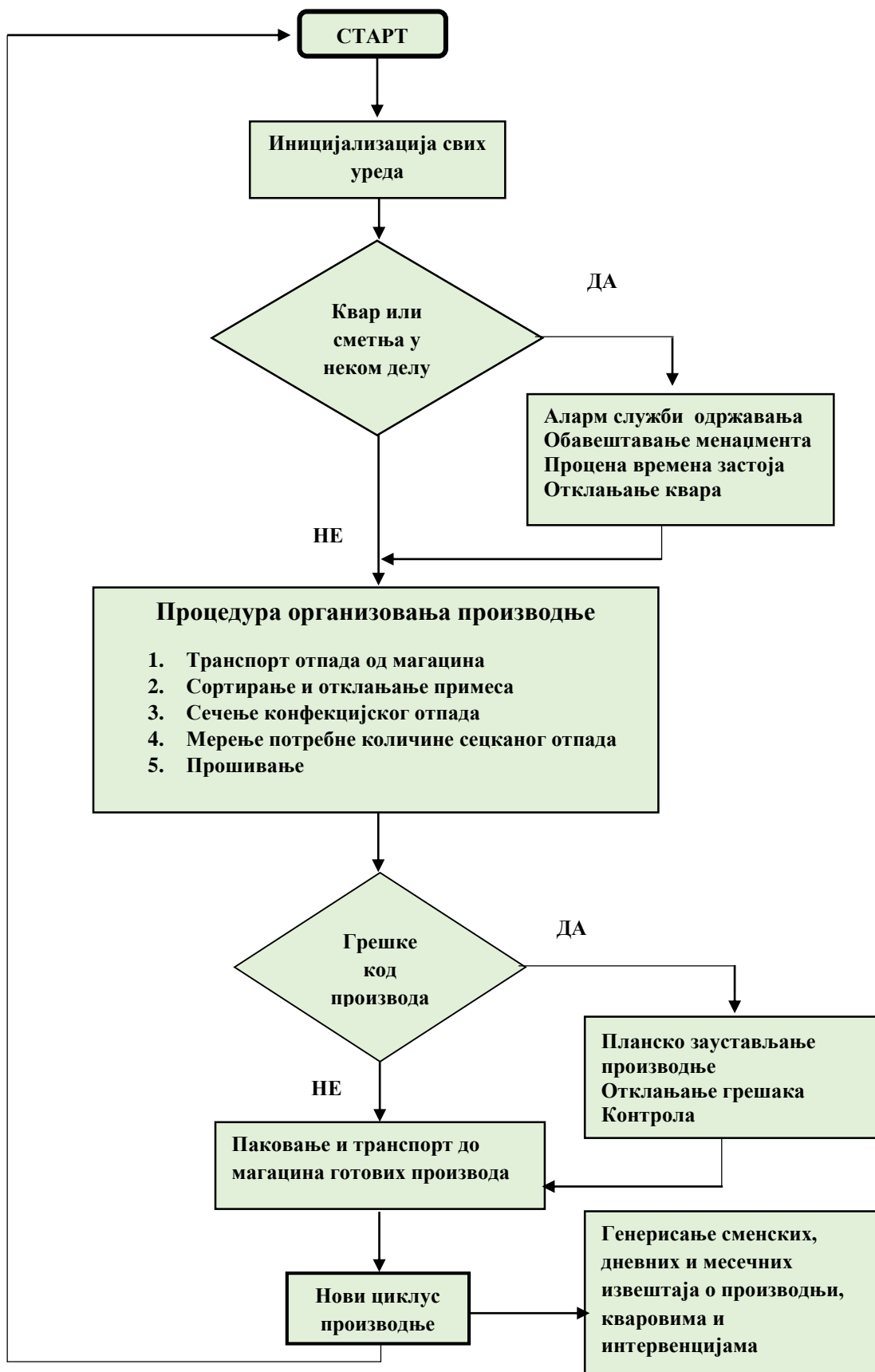
Слика 63. Компјутеризована машина за прошивање, ESQ - 3000

За транспорт сировина може се користити транспортни уређај, или евентуално, ручни транспорт. За отклањање металних примеса најбоља опција је машина са магнетима. Ово су уређаји који се уобичајено користе у текстилним погонима. Производни процес нове изолационе структуре је веома кратак и једноставан и није енергетски захтеван.



Слика 64. Компјутеризована машина за прошивање, XL - 6000M

Блок дијаграм производње новог изолационог материјала приказан је на слици 65.



Слика 65. Блок дијаграм производње новог изолационог материјала

4. ЗАКЉУЧАК

Конфекцијска индустрија у Македонији оставља иза себе 1.7 kg отпада по становнику на годишњем нивоу. Иако је овај отпад вредан ресурс зато што је нов, чист, задржаних физичко - механичких својстава и не тражи никакав третман пре рециклаже, највећи део конфекцијских компанија бацају га и, заједно са осталим комуналним отпадом, он завршава на депонијама.

Баријере за његову рециклажу су објективне и субјективне природе. Објективно, већи део конфекцијских компанија су малог и средњег обима (29.7% и 51.4% респективно) са недовољно средстава за индивидуалне инвестиције у рециклажи. Осим тога, већи део отпада су тканине које садрже Лусга® влакна што отежава процес рециклаже.

Према добијеном моделу субјективна баријера за рециклажу отпада одевне индустрије је негативан став македонских топ - менаџера у односу на сортирање и припрему конфекцијског отпада за даље процесирање, као главних предуслова за рециклажу. Већи део менаџера (58.5%) изјаснио се да не жели да уведе сортирање отпада у поређењу са 40.7% који би хтели да га сортирају. Само 1.2% компанија већ сортирају и продају свој отпад. Главна препрека за увођење сортирања отпада у конфекцијским компанијама лежи у мишљењу да је увођење сортирања тешко према 66.3% испитаника, док је за 32.6% лако. Супротно овоме, преовлађује став да је сортирање корисно према 84.9%, а некорисно је за 14.1% испитаника. Као кључни фактори, односно препреке увођењу сортирања наведени су: недовољан број радника, тешко изводљиво сортирање по боји и сировинском саставу и увођење балирања као метода паковања сортираног отпада.

Ниска свест о савременим праксама и технологијама за управљање отпадом и недовољни капацитет постојећег тржишта за рециклиране производе моделише негативан став македонског менаџмента. Менаџерима треба помоћи развојем тржишта за отпад и едукацијом о важности сортирања отпада у самим компанијама.

Како је рециклажа релативно енергетски захтеван процес који поново ствара отпад, уместо на тржиште за рециклажу, боља алтернатива тренутно је искористити конфекцијски отпад ПЕС тканина за производњу изолационих материјала за кровове и преградне зидове у зградама. Према предлогу технолошке линије за израду изолационих материјала, технологија је сасвим једноставна: сечење отпада и стабилизација структуре прошивањем. Добијена структура на овај начин је јефтина,

има добру топлотну и звучну изолацију и високу отпорност запаљивости. Коефицијент топлотне проводљивости λ је у границама од 0.0520 W/mK до 0.0603 W/mK, топлотна изолација R^* од 1.658 m²K/W до 1.924 m²K/W, звучна апсорпција тј. NRC од 54.71% до 74.77%.

Вредности ових карактеристика су упоредиве са комерцијалним изолационим материјалима, како са конвенционалним (минерална вуна и полистирен), тако и са изолационим производима од рециклираног текстила у облику влакана, са том разликом што је за исту вредност топлотне изолације код нове изолационе структуре од конфекцијског отпада полиестерских тканина потребна већа запреминска маса, односно, већа количина тканина. Имајући у виду да се као сировина користе отпаци, ово не представља проблем већ одличну могућност да се смањи загађење околине и да се добије јефтина и еколошки чиста изолација. Ово је нарочито важно за отпад ПЕС тканина јер су оне биолошки неразградиве (према добијеним резултатима, губитак масе је у границама од 0 – 0.3%), тако да остају веома дуго на депонијама.

Анализа добијених резултата у експерименталном делу показује да се може користити конфекцијски отпад ПЕС тканина са различитом дебљином и површинском масом. Што је већи степен уситњавања конфекцијског отпада, то је структура хомогенија и има бољу топлотну изолацију. Додатак отпада у делимично влакнастом стању има позитиван утицај на стабилност и хомогеност изолационе структуре.

Примена текстилног отпада ПЕС тканина као изолационог материјала носи економски и еколошки бенефит зато што је материјал лако доступан и јефтин, производни процес једноставан, производ има тржишну одрживост и конкурентну цену, али је употреба ограничена на унутрашње зидове и кровне конструкције.

У прилогу горенаведних чињеница је и еколошки тренд у развоју изолационих материјала за зграде усмерен ка замени конвенционалних материјала новим еколошким производима без негативног утицаја на околину и људско здравље.

Добијени резултати се могу користити за даља истраживања у овој области, посебно у смеру одговора на питање који је најадекватнији начин уградње нове изолационе структуре код преградних зидова.

5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Designn2.com, Energetska efikasnost građevinskih-objekata - Design N2', <http://www.designn2.com/home/energetska-efikasnost-građevinskih-objekata>. [Pristup: 05.03.2012.]
- [2] European Commission, Directive 2002/91/Ec of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the Energy Performance of Buildings, *Official Journal of the European Communities*, 2003
- [3] 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
- [4] Wikipedia, Thermal conduction, http://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_conduction, [Pristup: 13.04.2012.]
- [5] Papadopoulos, A.M., Avgelis, A., Karamanos A. Composite Insulating Materials as a Tool for the Reduction of Cooling Loads, *in: International Conference: Passive and Low Energy Cooling 803 for the Built Environment*, 2005, 803-808, Santorini, Greece
- [6] Papadopoulos, A.M. (2005) State of the Art in Thermal Insulation Materials and Aims for Future Developments, *Energy and Buildings*, 37 (1), 77-86
- [7] Jelle, B. P., Gustavsen, A., Baetens R. (2010) The Path to the High Performance Thermal Building Insulation Materials and Solutions of Tomorrow, *Journal of Building Physics*, 34 (2), 99-123
- [8] Inno-thermB®. Natural Thermal and Acoustic Insulation, <http://www.inno-therm.com/> [Pristup: 27.11.2012.]
- [9] Lerelais.org, 2015. <http://www.lerelais.org>. [Pristup:13.02.2013.]
- [10] 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.]
- [11] Maximizing Reuse and Recycling of UK Clothing and Textiles, Department For Environment, Food and Rural Affairs by Oakdene Hollins - Defra, *Research report*, 2009
- [12] Tammemagi, H. *Waste Crisis*, Oxford University Press, 2000, pp.19 - 34, 51-53
- [13] Tremier, A. et al. (2014) Global Assessment for Organic Resources and Waste Mangement ORBIT 2012, *Waste and Biomass Valorization*, 5 (3), 429-431
- [14] Božić, L.A. & Kušić. H. *Upravljanje Otpadom*, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, 2012, str.1-3, 8-13
- [15] Srebrenkoska, V. et.al. Enviromental Sustainability and Industry, *in:Sustainable Technologies*, Ed. Zavargo Z., Novi Sad: University of Faculty and Technology, 2013, pp. 55-62
- [16] Srebrenkoska, V. et al. Treatment of Textile Wastes, *in:Sustainable Technologies and Chemical Industry*, Ed. Jašić M., et.al., Tuzla:Tehnološki Fakultet, 2013, pp. 129-135
- [17] Kates, R.W. et al. (2005) What is Sustainable development?, *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 47 (3), 8-21

- [18] Pavunc, M. et al. (2014) Tekstil u Kontekstu Održivog Razvoja, *Tekstil*, 63 (5-6), 195-203
- [19] Caulfield, K. Sources of Textile Waste in Australia, Discussion paper, 2009. <http://www.nacro.org.au/wp-content/uploads/2013/04/TEXTILE-WASTE-PAPER-March-2009-final.pdf> . [Pristup: 12.2.2012.]
- [20] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and the International Cotton Advisory Committee (ICAC), A summary of the World Apparel Fibre Consumption Survey 2005-2008, 2011
- [21] Chen, H.L. & Burns, L.D. (2006) Environmental Analysis of Textile Products, *Clothing and Textiles Research Journal*, 24 (3), 248-261
- [22] Hawley, J.M. (2006) Digging for Diamonds: A Conceptual Framework for Understanding Reclaimed Textile Products, *Clothing and Textiles Research Journal*, 24 (3), 1-14
- [23] Shenxun, Y. *Prevention of Waste from Textile in Sweden*, Master of Science Thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm, 2012
- [24] Larney, M. & Aardt, AM. (2010) Case study : Apparel Industry Waste Mangement: A Focus on Recycling in South Africa, *Waste Mangement&Research*, 28 (1), 36-43
- [25] Sakthivel, S. et al. (2012) Source & Effective Utilisation of Textile Waste in Tiripur, *Indian Textile Journal*, 122 (4), 22-26
- [26] Ec.europa.eu, <http://ec.europa.eu/research/growth/gcc/projects/>, [Pristup: 15.1.2013,]
- [27] Wwf.panda.org, Cotton Farming, 2015. http://wwf.panda.org/about_our_earth/about_freshwater/freshwater_problems/thirsty_crops/cotton/, [Pristup: 24.02.2014.]
- [28] Kazakevičiūtė, G. et al. (2008) A Survey of Textile Waste Generated in Lithuanian Textil Apparel and Soft Furniture Industries, *Environmental Research, Engineering and Management*, 2 (44), pp. 41-48.
- [29] Влада на Р. Македонија, (2008) Предлог на Стратегија за Управување со Отпад на Република Македонија, 2008 – 2020 година
- [30] Google.com, Recycled Fibres, From virgin to eternity, CSR factsheet planet, - Google Search, 2015. https://www.google.com/search?q=Recycled+Fibres%2C+From+virgin+to+eternity%2C+CSR+factsheet+planet%2C&ie=utf-8&oe=utf-8&aq=t&rls=org.mozilla:en-US:official&client=firefox-a&gws_rd=ssl, [Pristup: 12.3.2013.]
- [31] Голомеова, С. & Крстева, С. (2011) Управување со Цврст Текстилен Отпад, *Природни Ресурси и Технологии*, 5 (5), 167-174
- [32] Domina, T. & Koch, K. (1997) The Textile Waste Lifecycle, *Clothing and Textiles Research Journal*, 15 (2), 96-102
- [33] Burza.com.hr.<http://burza.com.hr/novac/eko-ideje/2008/02/recikliranje-i-ponovno-koristenje-tekstila/>, [Pristup: 15.01.2014.]
- [34] T-waste.com. www.twaste.com/recycling, [Pristup: 20.1.2013.]
- [35] Urosević, S. (2009) Recikliranje Tekstila - Nove Tendencije i Obaveze prema Glavnom Cilju Globalnog Očuvanja Životne Sredine, *Ecologica*, 16 (54), 173-180
- [36] Wang Y. *Recycling in Textiles*, Cambridge: Woodhead Publishing in Textiles, 2006, pp. 10-20

- [37] Grasso, M.M. (1996) Recycling Fabric Waste - the Challenge Industry, *Journal of the Textile Institute*, 87 (1), 21-30
- [38] Стаменковић, М. & Трајковић Д. *Практикум из Технологије Предења*, Лесковац: Технолошки факултет, 2011, стр.28-39
- [39] Брашнарлов, В. & Јорданов Б. *Основи на текстилното производство*, Скопје: Просветно дело, 1989, стр.45-49
- [40] Okyung.koreasme.com, OKYUNG International Co., Ltd, Nilit Cordura, Supplex, Tactel, i-MEL, Kolon fashion material, Sensil, Asahi Kasei, KB seiren, 2015. http://okyung.koreasme.com/en/p3_ecosensor.html, [Pristup: 12.3.2013.]
- [41] Arshad, K. & Mujahid, M. *Biodegradation of Textile Materials*, Master thesis in Textile Technology, University of Boras, Sweden, 2011, pp.21-38
- [42] Falkiewicz-Dulik, M. et al., *Handbook of Biodegradation, Biodeterioration and Biostabilization*, Toronto: ChemTec Publishing, 2010, pp.28-30
- [43] Van der Zee, M. et al. (1995) Structure - biodegradation relationships of polymeric materials & Effect of degree of oxidation of carbohydrate polymers, *Journal of Environmental Polymer Degradation*, 3 (4), 235-242
- [44] Wang, Y. Fibre and Textile Waste Utilization, *Waste and Biomass Valorization*, 2010, 1 (1), 135-143
- [45] Europos Parlamentas (2006/2175(INI) Europos Parlamento rezolucija dėl teminés atlieku perdirbimo strategijos, <http://www.europarl.europa.eu>, [Pristup: 20.02.2013.]
- [46] Report by Textile Reuse and Recycling Players on the Status of the Industry in Europe, recycling.org.uk/Report_Ouvertes_Project_June2005%5B1%5D.pdf, [Pristup: 19.03.2013.]
- [47] Wikipedia, List of countries by GDP (PPP) per capita, 2015. [http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_GDP_\(PPP\)_per_capita](http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_GDP_(PPP)_per_capita) [Pristup: 03.04.2013.]
- [48] Altun, Ş. (2012) Prediction of Textile Waste Profile and Recycling Opportunities in Turkey, *FIBERS&TEXTILES in Eastern Europe*, 20 (5), 16-20
- [49] Закон за управување со отпадот во Р. Македонија, *Службен весник на Р. Македонија бр.68/2004 и 71/2004*
- [50] Влада на Р. Македонија, Национален план за управување со отпад на Р.Македонија, 2008 - 2014
- [51] Министерство за животна средина и просторно планирање на Р. Македонија, Физибилити Студија за Донесување на Национални Критериуми за Доделување на Еколошка Ознака на Текстил, декември 2008
- [52] Agrawal, S.K. et al. (2013) Utilization of Textile Apparel Waste in Clay Brick, *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology (IJARET)*, 4 (7)
- [53] Stepanovic, J. et al. (2015) Predicting the Behavior of Nonwoven Geotextile Materials Made of Polyester and Polypropylene, *Textile Research Journal*, November 5, doi:10.1177/0040517515612366. 53
- [54] Stepanovic, J. et al. (2014) Elongation Modeling of Nonwoven Geotextile Materials, *Industria Textila*, 65 (2), 90-94

- [55] Trajkovic, D. et al. (2015) The Prediction of Elastic Limit of Nonwoven Geotextiles Made of Virgin and Recycled Polyester Fibers, *Tekstil ve Konfeksiyon*, 25 (3), 229-235
- [56] Stepanovic, J. et al. Analysis of Deformation Characteristics of Non-woven Geotextiles PES Material of Fibre, in: *Internacional Scientific Conference, 10th Conference of Chemists, Technologists and Environmentals of Republic of Srpska*, Banja Luka, 2013
- [57] Vasile, S. & Langenhove, L.V. (2004) Automotive Industry a High Potential Market for Nonwoven Sound Insulation, *Journal of Textile and Apparel Technology and Management*, 3 (4), 2-5
- [58] Qashou, I. *An Investigation of The Radiative Heat Transfer Through Fibrous Thin Sheets*, Dissertation, NC University, pp.17-24
<http://repository.lib.ncsu.edu/ir/bitstream/1840.16/5563/3/etd.pdf>,
 [Pristup: 19.02. 2103.]
- [59] Scribd, Prenos Toplote, 2015.
<https://www.scribd.com/doc/210965254/Prenos-Toplote>,
 [Pristup: 09.01. 2103.]
- [60] Kozar, I., *Fizika Zgrade*,
<http://www.gradri.uniri.hr/adminmax/files/class/Toplina.pdf>.
 [Pristup: 26.04.2013]
- [61] Karamanos, A. Heat Transfer Phenomena in Fibrous Insulating Materials, http://www.geolan.gr/sappek/docs/publications/article_6.pdf.
 [Pristup: 7.03.2013.]
- [62] Matusiak, M. (2006) Investigation of the Thermal Insulation Properties of Multilayer Textiles, *FIBERS & TEXTILES in Eastern Europe*, 14 (5), 299–307
- [63] Pan, N. & Gibson P. *Thermal and Moisture Transport in Fibrous Materials*, Cambridge:Woodhead Publishing, CRC Press, 2006, pp.36-44
- [64] Abdel-Rehim, Z.S. (2006) Textile Fabrics as Thermal Insulators, *Autex Research Journal*, 6 (3), 148
- [65] Haghi, A. K. *Heat & Mass Transfer in Textiles*, World Scientific and Engineering Academy and Society Press (WSEAS Press), 2011, <http://www.wseas.us/e-library/conferences/2011/Haghi/Haghi.pdf>, [Pristup: 7.03.2013.]
- [66] Павлов, Д. & Начев, В. Раководство за Лабораторно Упразнение по Техническа Термодинамика, Софија: Технически универзитет, 1984
- [67] Saville, B.P. *Physical Testing of Textiles*, Cambridge:Woodhead Publishing, , 1999, pp. 209-234
- [68] Oglakcioglu, N. & Marmarali, A. (2007) Thermal Comfort Properties of Some Knitted Structures, *FIBERS & TEXTILES in Eastern Europe*, 15 (5-6), 64-65
- [69] Ozcelik, G. et al. (2007) Study of Thermal Properties of Textured Fabrics, *FIBERS & TEXTILES in Eastern Europe*, 15, 1 (60), 55-58
- [70] Gunesoglu, S. et al. (2005) Thermal Contact Properties of 2-Yarn Fleece Knted Fabrics, *FIBERS & TEXTILES in Eastern Europe*, 13, 2 (50), 46-50
- [71] Bhattacharjee, V.K. & Kothari, D. (2008) Prediction of Thermal Resistance of Woven Fabrics. Part II: Heat Transfer in Natural and Forced Convective Environments, *The Journal of The Textile Institute*, 99 (5), 443-449

- [72] Pan, N. et al. Effective Thermal Conductivity of Fibrous Materials, *NTC Project: S08-CD04*, 2011. <http://www.ntcresearch.org/pdf-rpts/Bref0611/S08-CD04-11.pdf>, [Pristup: 7.03.2013.]
- [73] Roshan, S. *Textiles in sport*, Cambridge: Woodhead Publishing, 2005, pp. 177-182
- [74] Milenković, Lj. et al. (1999) Comfort Properties of Defense Protective Clothings, *The Scientific Journal Facta Universitatis*, 1 (4), 101-106
- [75] Matusiak, M. & Sikorski, K. (2011) Influence of the Structure of Woven Fabrics on their Thermal Insulation Properties, *FIBERS & TEXTILES in Eastern Europe*, 19, 5 (88), 46-53
- [76] Marmarali, A. et al. Thermal Comfort Properties of Some New Yarns Generation Knitted Fabrics, in: *Autex World Textile Conference*, Izmir, Turkey, 2009
- [77] Hatch, K.L. et al. (1990) In Vivo Cutaneous and Perceived Comfort Response to Fabric: Part I: Thermophysiological Comfort Determinations for Three Experimental Knit Fabrics, *Textile Research Journal*, 60 (7), 405-412
- [78] Morris, G. J. (1953) Thermal Properties of Textile Materials, *Journal of the Textile Institute Transactions*, 44 (10), 449-476
- [79] Trajković, D. et al. (2014) Physiological Characteristics of the Socks Made from Bamboo and Conventional Fibres, *Advanced technologies*, 3, (1), 59-65
- [80] Epps, H.H. (1988) Insulation Characteristics of Fabric Assemblies, *Journal of Industrial Textiles*, 17 (3), 212-218
- [81] Fayala, F. et al. (2008) Neural Network for Predicting Thermal Conductivity of Knit Materials, *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 3 (4), 53-60
- [82] Jayaraman, K. A. *Acoustical Absorptive Properties of Nonwovens*, Master of Science Thesis, North Carolina State University, pp.2-20, <http://repository.lib.ncsu.edu/ir/bitstream/1840.16/626/1/etd.pdf>, [Pristup: 15.3 2012.]
- [83] Tascan, M. et al. (2008) Effects of Fiber Denier, Fiber Cross-Sectional Shape and Fabric Density on Acoustical Behavior of Vertically Lapped Nonwoven Fabrics, *Journal of Engineered Fibers and Fabric*, 3 (2), 32-38
- [84] www2.siba.fi. Oy/ML, Basics of Acoustics B– Sound and tone, <http://www2.siba.fi/akustiikka/index.php?id=36&la=en>, [Pristup: 12.02.2013.]
- [85] Kurtović, H. *Onove tehnicke akustike*, Beograd, Naučna knjiga 1982, pp. 23, 414-415
- [86] Srivastava, R. K. (2006) An Estimation of Correlation on Thermo-Acoustic Properties of Mineral Wool, *Journal of Scientific & Industrial research*, 65 (3), 232-236
- [87] Measurement of the Acoustic Properties of Acoustic Absorbers http://www.inceusa.org/nc07/links/Muehleisen_plenary_acoustic_properties_materials.pdf, [Pristup:15.01.2014.]
- [88] Hoda, S. S. (2009) Factors Influencing Acoustic Performance of Sound Absorptive Materials, *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3 (4), 4610-4617
- [89] Bies, D.A. *Acoustical Properties of Porous Materials*, Beranek L.L. Ed., 1988, pp.245-260
- [90] Lewis, H. B. & Daglas, H.B., *Industrial Noise Control, Fundamentals and Applications*, 2nd edition, New York: Marcel Dekker, 1994, pp.300-310

- [91] Yang, S. & Wei-Dong, Y. (2011) Air Permeability and Acoustic Absorbing Behavior of Nonwovens, *Journal of Fiber Bioengineering and Informatics*, 3 (4), 187-202
- [92] Shoshani, Y. & Yakubov, Y. (2001) Use of Nonwovens of Variable Porosity as Noise Control Elements, *International Nonwovens Journal*, 10 (4), 23-28
- [93] Shoshani, Y. & Rosenhouse, G. (1992) Noise Insulating Blankets Made of Textiles, *Applied Acoustics*, 35 (2), 129-138
- [94] Shoshani, Y. (1991) Noise Absorption by Combinations of Woven and Nonwoven Fabrics, *Journal of Textile Institute*, 82(4), 500-503
- [95] Wang, C. & Torng, J. (2001) Experimental Study of the Absorption Characteristics of Some Porous Fibrous Materials, *Applied Acoustics*, 62 (4), 447-459
- [96] Narang, P. P. (1995) Material Parameter Selection in Polyester Fibre Insulation for Sound Transmission and Absorption, *Applied Acoustics*, 45 (4), 335-358
- [97] Shoshani, Y. & Yakubov, Y. (2000) Numerical Assessment of Maximal Absorption Coefficients for Nonwoven Fiberwebs, *Applied Acoustics*, 59 (1), 77-87
- [98] Grf.bg.ac.rs. Грађевински факултет
http://www.grf.bg.ac.rs/p/learning/termoizolacioni_materijali_1387814173320.pdf,
 [Pristup: 4.03.2013.]
- [99] Tuna, M. (2013) Evaluation of Insulation Materials in the Context of Sustainability Criteria, *Asian Transactions on Basic and Applied Sciences*, 3 (2), 38-46
- [100] Hr.wikipedia.org. http://hr.wikipedia.org/wiki/Toplinska_izolacija,
 [Pristup: 09.05.2012.]
- [101] Ravago. Ravago - Uvijek nešto novo, <http://www.ravago.hr/products/>,
 [Pristup: 12.06.2012.]
- [102] Asdrubali, F. Green and Sustainable Materials for Noise Control in Buildings, *in: 19-th International Congress on Acoustics*, Madrid, 2007
- [103] Електрични апарати и уреди,
http://elektrichniaparati.weebly.com/uploads/5/4/8/7/5487717/materijali_za_toplinska_izolacija.pdf,” [Pristup: 12.02.2014.]
- [104] Naima.org www. Insulate Today Save Tomorrow: NAIMA North American Insulation Manufacturers Association, <http://naima.org>. [Pristup: 15.02.2013.]
- [105] Hr.wikipedia.org. Toplinska izolacija zgrada,
http://hr.wikipedia.org/wiki/Toplinska_izolacija_zgrada,
 [Pristup: 10.05.2013.]
- [106] Министерство за животна средина и просторно планирање на Р. Македонија Национален План за Управување со Отпад 2009 - 2015
- [107] Paiva, A. et al. Textile Subwaste as a Thermal Insulation Building Material, *in: International Conference on Petroleum and Sustainable Development*, Sinagore, 2011, 26, 78-82
- [108] Jelle, B. P. et al. (2010) The Path to the High Performance Thermal Building Insulation Materials and Solutions of Tomorrow, *Journal of Building Physics*, 34 (2), 99-123
- [109] Zach, J. et al. (2012) Performance Evaluation and Research of Alternative Thermal Insulations Based on Sheep Wool, *Energy and Buildings*, 49,246-253
- [110] Blog.emap.com. EMAP,
<http://blog.emap.com/footprint/2011/08/11/scotlands-waste-textiles-turned-into-insulation>, [Pristup: 15.04.2014.]

- [111] Debnath, S. (2010) Thermal Insulation, Compression and Air Permeability of Polyester Needle-Punched Nonwoven, *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, 35, 38-44
- [112] Wps.pearsoncustom.com.
http://wps.pearsoncustom.com/wps/media/objects/7608/7791478/FA110_Ch02.pdf
 [Pristup: 05.03.2014.]
- [113] Li, L., Fray, M. & Browning K.J. (2010) Biodegradability Study on Cotton and Polyester fabrics, *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 5 (4), 42-53
- [114] Valverde, I.C. et al. (2013) Development of New Insulation Panels Based On Textiles Recycled Fabrics, *Waste and Biomass Valorization*, 4 (1), 139-146
- [115] D'Alessandro, F. & Pispola, G. Sound Absorption Properties of Sustainable Fibrous materials in an Enhanced Reverberation Room, *in congress: Enviromental Noise Control*, 2005, Rio de Janeiro, Brazil
- [116] Intini, F. & Kühtz, S. (2011) Recycling in Buildings: an LCA Case Study of a Thermal Insulation Panel Made of Polyester Fiber, Recycled From Post-Consumer PET Bottles, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 6 (4), 306-315
- [117] Cherrett, N. et al. Ecological Footprint and Water Analysis of Cotton, Hemp and Polyester, *Report prepared for and reviewed by BioRegional Development Group and World Wide Fund for Nature – Cymru*, Stockholm Environment Institute, 2005
- [118] Индикатори одрживог развоја: Србија и свет - Indikator,
<http://indicator.sepa.gov.rs/o-indikatorima/indikator-odrzivog-razvoja-srbija-i-svet#ekoloski>, [Pristup: 05.02.2014.]
- [119] Sule, A. (2012) Life Cycle Assesment of Clothing Process, *Research Journal of Chemical Sciences*, 2 (2), 87-89
- [120] En.wikipedia.org
http://en.wikipedia.org/wiki/Global-warming_potential#Calculating_the_global-warming_potential, [Pristup: 14.02.2014.]
- [121] Oecotextiles.wordpress.com. Carbon footprint | OECOTEXTILES,
<https://oecotextiles.wordpress.com/category/carbon-footprint-2/>,
 [Pristup: 24.10 2014.]
- [121] Kalliala, E. M. & Nousiainen, P. (1999) Life Cycle Assessment Environmental Profile of Cotton and Polyester - Cotton Fabrics, *Autex Research Journal*, 1 (1), 8-20
- [123] Tedresearch.net. The home of sustainable textile design research «Textiles Environment Design,
http://www.tedresearch.net/media/files/Polyester_Recycling.pdf, 2013
 [Pristup:15.01.2013.]
- [124] Life Cycle Assessments of Natural Fibre Insulation Materials, *Study funded by DEFRA*, Final Report 2008, http://eiha.org/media/attach/372/lca_fibre.pdf,
 [Pristup: 05.07.2103.]
- [125] Tta.org.mk. Трговско текстилно здружение,
<http://www.tta.org.mk/>, [Pristup: 15.04.2103.]
- [126] Здружение на текстилната индустрија, Стопанска комора на Македонија, Информација за Текстилната Индустрија во Р. Македонија, Штип, 2010 г.
- [127] Влада на Р. Македонија, Национален План за Управување со Отпад на Р. Македонија 2008 - 2014 г.

- [128] Влада на Р. Македонија, Предлог на Стратегија за Управување со Отпад на Р. Македонија, 2008 - 2020 г.
- [129] Humana-bulgaria.org.
<http://www.humana-bulgaria.org/en>, [Pristup: 04.04.2013.]
- [130] Stat.gov.mk. Државен завод за статистика, <http://www.stat.gov.mk>, [Pristup: 13.04.2012.]
- [131] ESBA - European Small Business Alliance, [Esba-europe.org](http://www.esba-europe.org).
<http://www.esba-europe.org/pdf/MSE%20brochure%20web.pdf>, [Pristup: 2.12.2012.]
- [132] Tomovska, E & Zafirova, K. Investigation on Waste Produced by Apparel Manufacturers, in: *XXI Congress of Chemists and Technologists of Macedonia*, Ohrid, 2010
- [133] Divita, D. B. & Dillard, B.G. (1999) Recycling Textile Waste, an Issue of Interest to Sewn Products Manufacturers, *Journal of the Textile Institute*, 90 (1), 14-26
- [134] Ajzen, I. (1991) The Theory of Planned Behavior, *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50 (2), 179-211
- [135] EN ISO 5084, Textiles - Determination of Thickness of Textiles and Textile Products, 1996
- [136] ISO 3801, Textiles - Woven fabrics - Determination of Mass per Unit Length and Mass per Unit Area, 1977
- [137] ISO 7211-5, Textiles - Woven fabrics -Construction -Methods of Analysis - Part 5: Determination of Linear Density of Yarn Removed From Fabric, 1984
- [138] BS EN 1049-2, Textiles - Woven fabrics - Construction-Methods of analysis - Determination of Number of Threads per Unit Length, 1994
- [139] Lasercomp.com.
<http://www.lasercomp.com/Tech%20Papers/Methods/Heatlow%20Meter%20Theory%20of%20test%20%20method.pdf>, [Pristup: 07.11.2013]
- [140] Rockfon.com, Noise reduction coefficient (NRC) - ROCKFON North America - stone wool ceilings.
<http://www.rockfon.com/performance/acoustics/how+to+compare+ceiling+acoustic+s-c8-hide/noise+reduction+coefficient+%28nrc%29>, [Pristup: 7.06.2013.]
- [141] ISO 11721, Textiles - Determination of Resistance of Cellulose - Containing Textiles to Micro-Organisms - Soil Burial Test-Part 1: Assessment of Rot-Retardant Finishing, 2001
- [142] BS 4790, Method for Determination of the Effects of a Small Source of Ignition on Textile Floor Coverings (Hot Metal Nut Method), 1987

ПРИЛОГ 1

Табела П.1.1. Извоз конфекцијских производа из Македоније у 2010. г.

Бр.	Назив	Тона (t)
1	Мушке памучне кошуље	2.395
2	Женске памучне кошуље и блузе	1.658
3	Женске кошуље и блузе од синтетичких влакана	1.361
4	Женске панталоне од синтетичких влакана	1.468
5	Мушке јакне и сакои од синтетичких влакана	621
6	Мушке панталоне од синтетичких влакана	764
7	Памучне мушке панталоне и шорцеви	1.075
8	Памучне женске панталоне и шорцеви	736
9	Женске јакне и сакои од синтетичких влакана	400
10	Памучне мајице и поткошуље кратких рукава, плетене или хеклане	995
11	Поткошуље и мајице кратких рукава, плетене или хеклане од других материјала	523
12	Женске блузе, кошуље - блузе плетене или хеклане од вештачких влакана и синтетичких	527
13	Постељине, плетене или хеклане	1.041
14	Сукње и сукње - панталоне од синтетичких влакана	396
15	Хаљине од синтетичких влакана	241
16	Друга мушка одећа од вештачких и синтетичких влакана	379
17	Памучне женске блузе, кошуље, кошуље – блузе, плетене или хеклане	603
18	Друга мушка одећа од памука	435
19	Женски капути, мантили, пелерине од вуне и финих животињских влакана	198
20	Женске и девојачке јакне и сакои од памука	159
21	Женске и девојачке јакне и сакои од вуне и финих животињских влакана	159
22	Друга женска и девојачка одећа од вештачких и синтетичких влакана	363
23	Памучне мушке јакне и сакои	231
24	Женске и девојачке панталоне и шорцеви од других текстилних материјала	202
25	Памучне хаљине	113
26	Памучне сукње и сукње - панталоне	132
27	Женске и девојачке јакне и сакои од других текстилних материјала	93
28	Мушке гаће (дуге или кратке) од памука, плетене или хеклане	279
29	Мушке и дечачке кошуље од вештачких и синтетичких влакана	107
30	Женске и девојачке панталоне и шорцеви од вуне и финих животињских влакана	101
31	Сукње и сукње - панталоне од вуне и финих животињских влакана	101
32	Друга мушка и дечачка одећа	31
33	Женске и девојачке блузе, кошуље, кошуље - блузе, плетене или хеклане од других текстилних материјала	124
34	Сукње и сукње - панталоне од других текстилних материјала	62

35	Џемпери са или без закопчавања, пуловери, прслуци и слично, од памука, хеклани	144
36	Хаљине од синтетичких влакана, плетене или хеклане	139
37	Свилене женске и девојачке блузе, кошуље и кошуље - блузе	29
38	Мушке и дечачке панталоне од вуне и финих животињских влакана	71
39	Женски комплети од синтетичких влакана	36
40	Мушки и дечачки капути, мантили, пелерине од вештачких и синтетичких влакана	26
41	Женске и девојачке блузе, кошуље, кошуље - блузе од других текстилних материјала	49
42	Капути, мантили, пелерине осим тар. бр. 6203 од вештачких и синтетичких влакана	41
43	Мушки и дечачки капути, мантили, пелерине од вуне или финих животињских влакана	68
44	Спаваћице и пиџаме од памука, плетене или хеклане	154
45	Хаљине од вештачких влакана	55
УКУПНО		18.885

Ауторови прорачуни према публикацији Спољнотрговинска робна размена Р. Македоније за 2010. г. Државног завода за статистику, [130]

Табела П.1.2. Увезене сировине за конфекцијску индустрију у 2010. г.

Бр.	Назив	тона (t)
1	Памучне тканине са садржајем 85% или више памука, површинска маса до 200 g/m ² , од пређе различитих боја, платнени преплетај	1.137
2	Памучне тканине са садржајем 85% или више памука, површинска маса до 200 g/m ² , од пређе различитих боја, друге тканине	590
3	Памучне тканине са садржајем 85% или више памука, површинска маса већа од 200 g/m ² , фарбане, друге тканине	1.126
4	Друге тканине од синтетичких влакана, ПЕС или ПЕС и вискозни рејон	956
5	Друге тканине са садржајем 85% или више ПЕС филамента или нетекстурираног ПЕС филамента	329
6	Плетени или хеклани материјали са ширином већом од 30 cm и 5% еластомерне пређе осим тар. број 6001, без гумених нити	432
7	Памучне тканине са садржајем 85% или више памука, површинска маса мања од 200 g/m ² , фарбане, платнени преплетај	447
8	Остале плетене или хеклане тканине од памука, фарбане	1.262
9	Тканине од синтетичких штапел влакана са садржајем мање од 85%, ПЕС у мешавини са памуком, фарбане, тројични или четворојични кепер укључујући и укрштени кепер	718
10	Памучне тканине са садржајем мање од 85% памука, мешавине са вештачким и синтетичким влакнима, површинска маса већа од 200 g/m ² , тројични или четворојични кепер укључујући и укрштени кепер, фарбане	648
11	Друге тканине од синтетичких штапел влакана са садржајем 85% или више	319

12	Памучне тканине са садржајем 85% или више памука површинска маса већа од 200 g/m ² , трожични или четворожични кепер укључујући и укрштени кепер, фарбане	518
13	Друге тканине од влачене вуне или финих животињских влакана у мешавини претежно или само са вештачким или синтетичким штапел влакнима	367
14	Памучне тканине са садржајем 85% или више памука, површинска маса до 200 g/m ² , фарбане, друге тканине	724
15	Остале тканине са садржајем 85% или више текстурираног ПЕС филамента, фарбане	498
16	Остале тканине са садржајем 85% или више текстурираног ПЕС филамента, штампане	141
17	Друге тканине од синтетичких ПЕС штапел влакана, од полиестерских влакана у мешавини претежно или само са вуном или финим животињским влакнима	199
18	Ланене тканине, са садржајем 85% или више лана	160
19	Памучне тканине са садржајем 85% или више памука, површинска маса мања од 200 g/m ² , штампане, платнени преплетај	87
20	Памучне тканине са садржајем памука мање од 85%, површинска маса мања од 200 g/m ² , у мешавини претежно или само са вештачким или синтетичким влакнима, фарбане, платнени преплетај	245
21	Остали плетени или хеклани производи од синтетичких влакана, фарбани	452
22	Остале тканине са садржајем 85% или више филамената полиамида, штампане	42
23	Друге тесне тканине од вештачких или синтетичких влакана	302
24	Плетенине за мајице (Т - shirts), плетене или хеклане, од памука	631
25	Остале тканине са садржајем 85% или више филамената полиамида, фарбане	134
26	Друге тканине од синтетичких штапел влакана	109
27	Импрегнисане, превучене или ламиниране тканине са пластичним масама осим оних из тар. бр. 5902 са полиуретаном	214
28	Памучне тканине са садржајем 85% или више памука, површинска маса мања од 200 g/m ² , белене, платнени преплетај	273
29	Други плетени или хеклани производи од вештачких влакана, штампани	126
30	Друге тканине од синтетичких штапел влакана са садржајем мање од 85% таквих влакана, у мешавини претежно или само са памуком, површинска маса већа од 170 g/m ² , фарбане, друге тканине	153
31	Тканине од синтетичких штапел влакана са садржајем мање од 85% таквих влакана у мешавини претежно или само са памуком, површинска маса мања од 170 g/m ² од пређе различитих боја, друге тканине	656
32	Памучне тканине са садржајем мање од 85% памука у мешавини претежно или само са вештачким или синтетичким влакнима, површинска маса мања од 200 g/m ² , фарбане, друге тканине	159
33	Друге тканине са садржајем 85% или више свиле или свилених отпадака, осим бурет свиле	24
34	Други плетени или хеклани производи од вештачких влакана, фарбани	280

35	Памучне тканине са садржајем мање од 85% памука, у мешавини претежно или само са вештачким или синтетичким влакнима, површинска маса мања од 200 g/m ² , од пређа различитих боја	125
36	Друге тканине од синтетичких филамената, фарбане	270
37	Памучне тканине са садржајем мање од 85% памука, у мешавини претежно или само са вештачким или синтетичким влакнима, површинска маса мања од 200 g/m ² , од пређе различитих боја, платнени преплетај	132
38	Друге тканине са садржајем 85% или више вештачких филамената или сличних производа, фарбане	137
39	Неткани текстил, укључујући импрегнисане, превучене, прекривене или ламиниране производе од вештачких или синтетичких филамената, површинска маса од 25 - 75 g/m ²	167
40	Тканине од чешљане вуне или чешљаних финих животињских влакана, у мешавини само са вештачким или синтетичким влакнима	78
41	Тканине од чешљане вуне или чешљаних финих животињских влакана са садржајем од 85% или више вуне или финих животињских влакана	53
42	Памучне тканине са садржајем мање од 85% памука, у мешавини претежно или само са вештачким или синтетичким влакнима са површинском масом већом од 200 g/m ² , штампане, трожични или четврожични кепер укључујући и укрштени кепер	108
43	Тканине од синтетичких штапел влакана са садржајем мање од 85% у мешавини претежно или само са памуком, површинска маса до 170 g/m ² , фарбане од ПЕС	185
44	Други плетени или хеклани производи од синтетичких влакана, од пређе различитих боја	232
45	Памучне тканине са садржајем од 85% или више памука, површинска маса до 200 g/m ² , штампане, платнени преплетај	152
46	Друге тканине са садржајем 85% или више ПЕС филамената	180
47	Тканине од чешљане вуне или чешљаних финих животињских влакана са садржајем 85% или више вуне или финих животињских влакана површинска маса до 200 g/m ²	48
48	Памучне тканине са садржајем мање од 85% памука, у мешавини претежно или само са вештачким или синтетичким влакнима, површинска маса већа од 200 g/m ² , фарбане, друге тканине	103
49	Друге тканине које садрже 85% или више синтетичких филамената, фарбане	330
УКУПНО		16.758

Ауторови прорачуни према публикацији Спољнотрговинска робна размена Р. Македоније за 2010. г. Државног завода за статистику, [130]

ПРИЛОГ 2

АНКЕТНИ УПИТНИК

Основни подаци

Име фирме:
Адреса фирме:
Број запослених:
Директор:
Контакт: (телефон или e-mail)

Молим Вас да одговорите на следећа питања, резултати упитника намењени су за потребе научног истраживања из области текстилног отпада.

На питања са више понуђених одговора треба заокружити слово испред једног од њих. На **6** - то питање одговорите према датом упутству. На нека питања (**7, 8 и 9**) треба да заокружите **ДА** или **НЕ**, а на питања са бројем од **10 - 28**, заокружите број од **1 - 4** према датом упутству испред десетог питања).

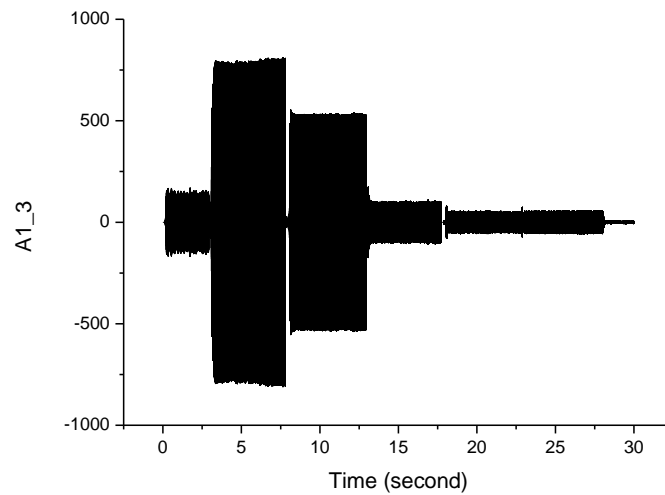
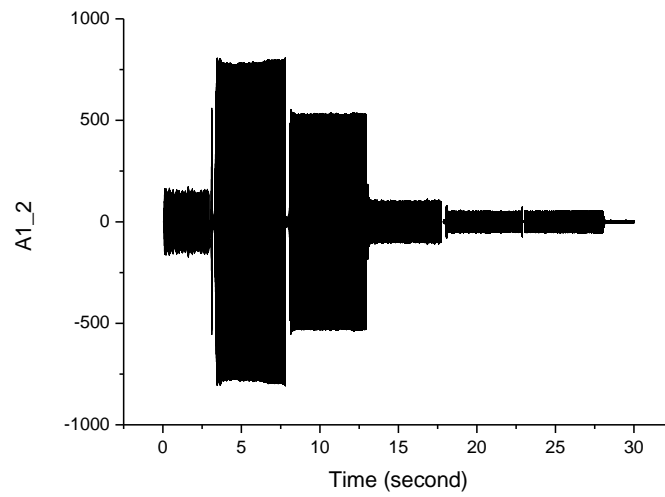
<i>I део</i>				
1	Какву врсту текстилног отпада ствара ваша фирма?			
	a	текстилна влакна	b остаци пређе и руна	c остаци кројења
	d	неткани текстил (на пример. флизелин и сл.)	e друго (спецификујте)	
2	Какав је сировински састав материјала са којима ради ваша фирма?			
	a	памук (100%) и/или вискоза (100%)	b мешавине памука	c синтетика (100%)
	d	вуна (100%)	e мешавине вуне	f различит сировински састав
3	Са каквом врстом текстилних материјала најчешће радите?			
	a	тканине	b плетенине	c тканине и плетенине
	d	неткани текстил		
4	Колики % од укупне количине материјала са којима сте радили прошле године (приближно) садрже Лусга® влакна?			
	a	0	b 0 - 30	c 30 - 50
	d	50 - 70	e 70 - 100	
5	У шта скупљате текстилни отпад?			
	a	пластичне вреће	b картонске кутије	c директно у контејнер
	d	балира се у бале	e друго? (наведите шта)	
6	Да ли у врећама, балама или контејнеру са текстилним отпадом ваше фирме има и предмета другог порекла? (ако има означите бројем од 1 - 4, 1 за оно чега има највише, а 4 најмање)			
	a	НЕ	b пластика	c метални делови (игле и сл.)
	d	картон и папир	e калем, дугмад и сл.	
<i>II део</i>				
7	Да ли бисте прихватили сортирање отпада?		ДА	НЕ
8	Да ли мислите да је сортирањето отпада лако увести?		ДА	НЕ
9	Да ли мислите да сортирање отпада може бити корисно?		ДА	НЕ
<i>Код следећих исказа од 10-28 заокружите један број од 1 до 4 (1-потпуно се не слажем, 2 – не слажем се, 3-слажем се, 4-потпуно се слажем)</i>				

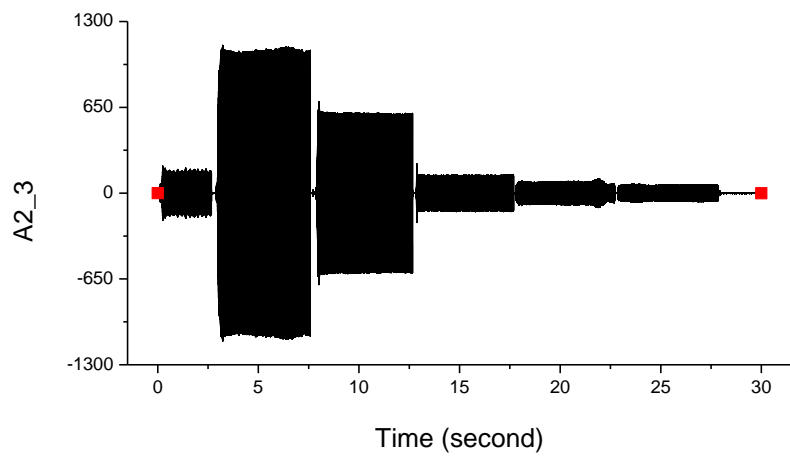
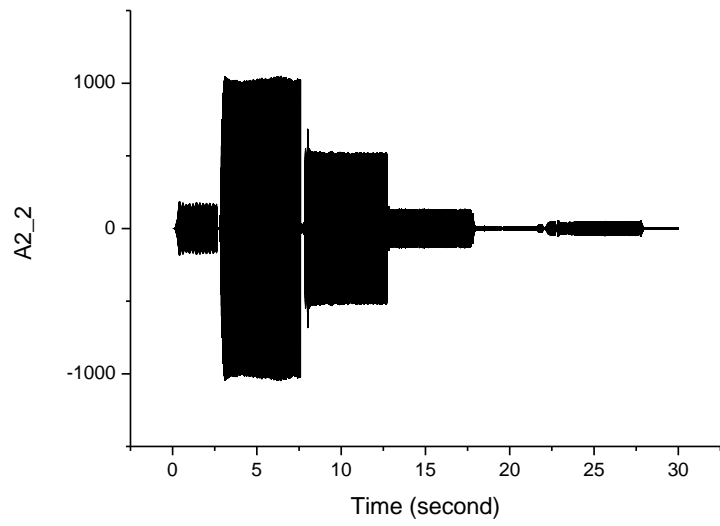
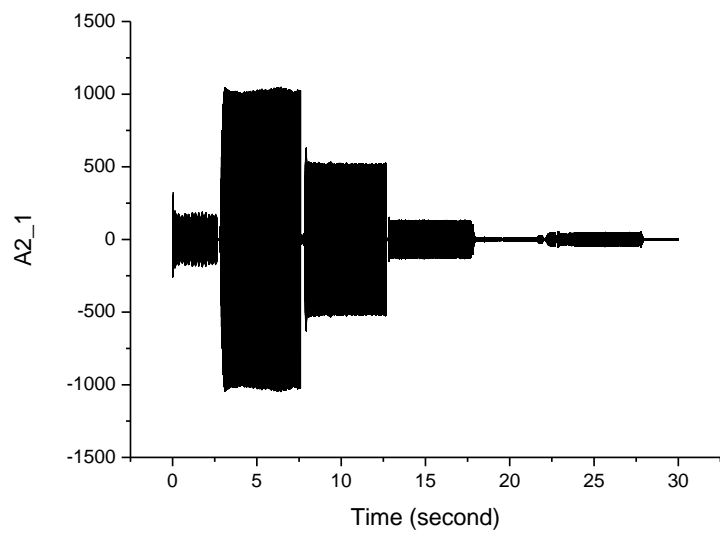
10	Имамо довољно радника за сортирање отпада.			1	2	3	4
11	Сортирање отпада по боји је лако.			1	2	3	4
12	Сортирање отпада по сировинском саставу је лако.			1	2	3	4
13	Сортирање отпада по врсти материјала (тканина/плетенина) је лако.			1	2	3	4
14	Балирање отпада је лако.			1	2	3	4
15	Паковање отпада у пластичне вреће је лако.			1	2	3	4
16	Паковање отпада у кутије је лако.			1	2	3	4
17	Организација изношења отпада је једноставна.			1	2	3	4
18	Локација фабрике је повољна за лако транспортовање отпада.			1	2	3	4
19	Сортирање отпада по боји је јефтино.			1	2	3	4
20	Сортирање отпада по сировинском саставу је јефтино.			1	2	3	4
21	Сортирање отпада по врсти материјала (тканина/плетенина) је јефтино.			1	2	3	4
22	Балирање отпада је јефтино.			1	2	3	4
23	Паковање отпада у пластичне вреће је јефтино.			1	2	3	4
24	Паковање отпада у кутије је јефтино.			1	2	3	4
25	Трошкови за транспорт отпада су ниски.			1	2	3	4
26	Сортирање отпада може бити профитабилно.			1	2	3	4
27	Постоје заинтересовани купци за сортирани отпад.			1	2	3	4
28	Очување животне средине је битно за нашу фирму.			1	2	3	4
III-део							
29	Ко износи отпад из ваше фирме?						
	a	комунално предузеће	b	лиценцирана компанија	c	невладина организација	
	d	индивидуално лице	e	компанија за рециклажу отпада			
30	Колики су трошкови ваше фирме за поступање са текстилним отпадом (приближно) (за скупљање, сортирање, паковање и изношење)?						
	a	мање од 1% оперативног буџета	b	од 1 - 2% оперативног буџета	c	2 - 3% оперативног буџета	
	d	од 3 - 5% оперативног буџета	e	више од 5% оперативног буџета			
31	Који је главни разлог због којег НЕ продајете текстилни отпад?						
	a	транспортни трошкови	b	трошкови сортирања и паковања	c	недостатак заинтересованих купаца	
	d	законска регулатива	e	недовољан профит			
32	Под којим условима бисте сортирали и продавали свој отпад?						
	a	уговор са компанијама за рециклажу или са индивидуалним купцима на дуже време	b	ако купци сами узимају отпад из ваше фирме и сами плаћају транспортне трошкове	c	ако је остварени профит већи од трошкова за скупљање и сортирање	
	d	ако је остварени профит од продаје отпада бар 5% од буџета фирме	e	под никаквим условима			

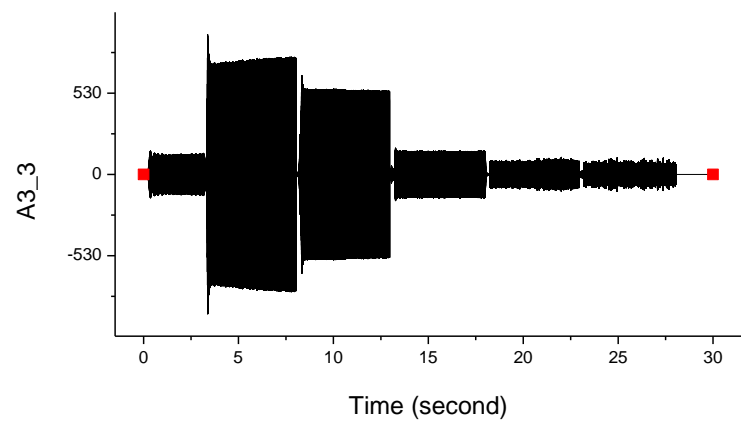
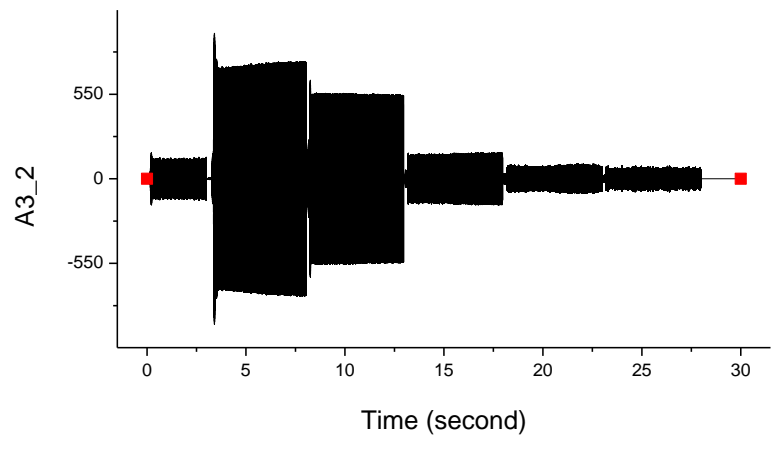
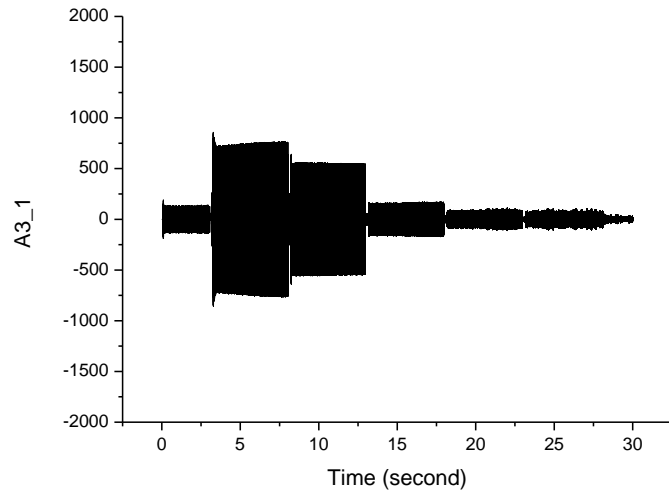
Хвала на сарадњи!

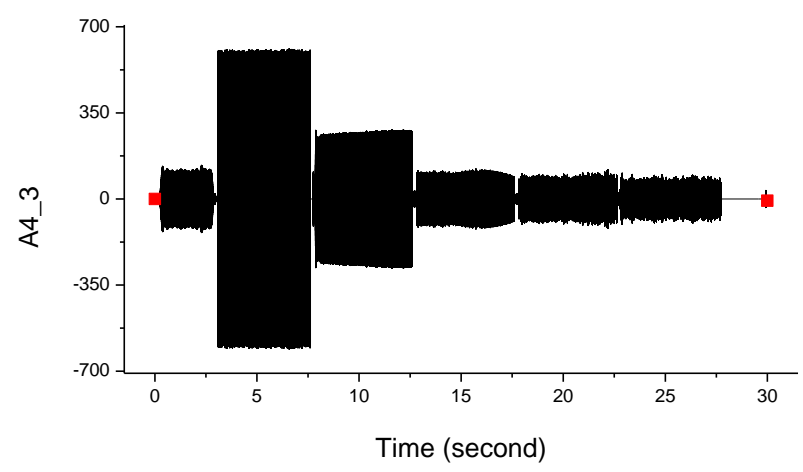
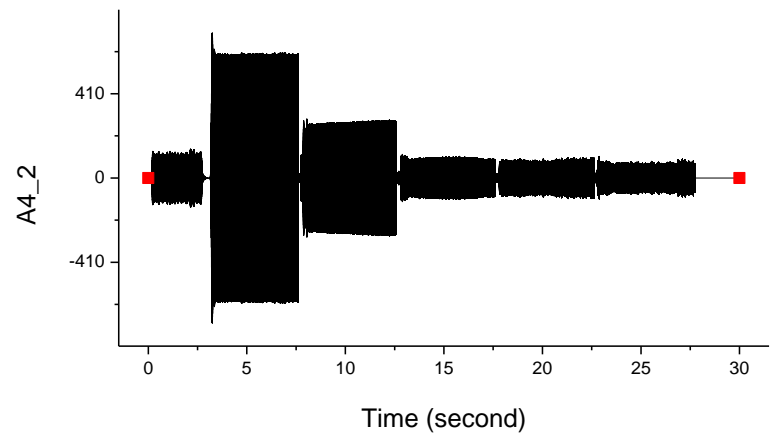
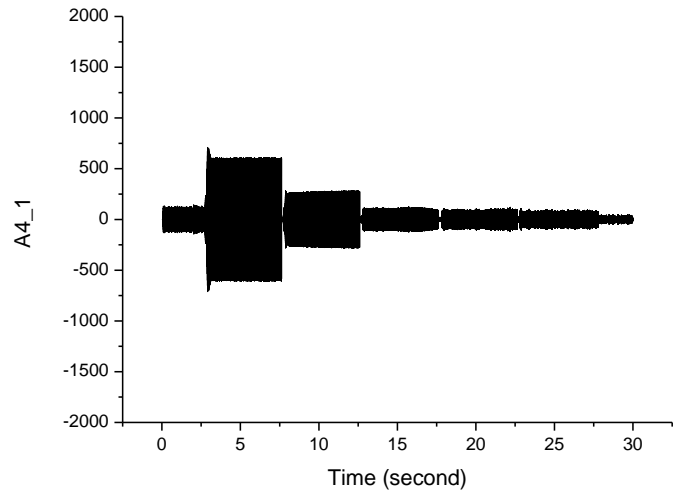
ПРИЛОГ 3

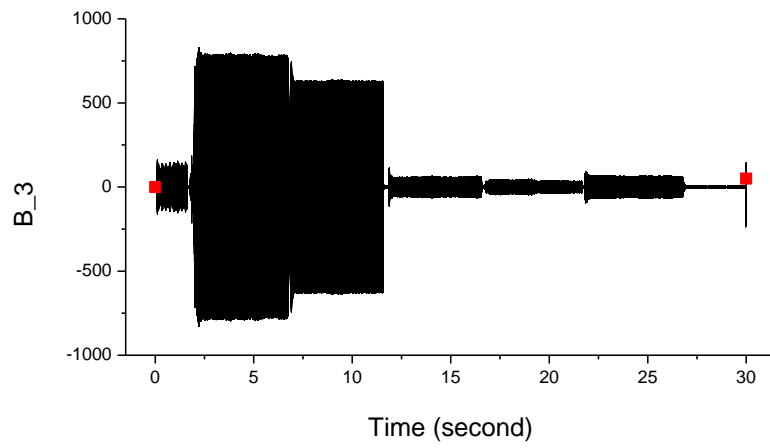
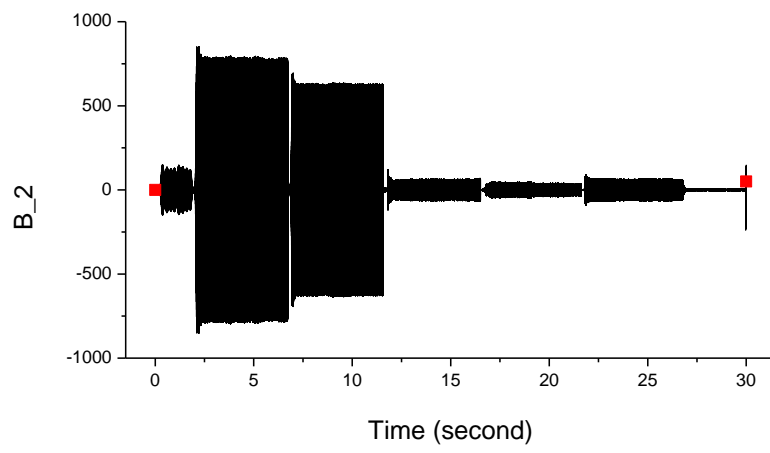
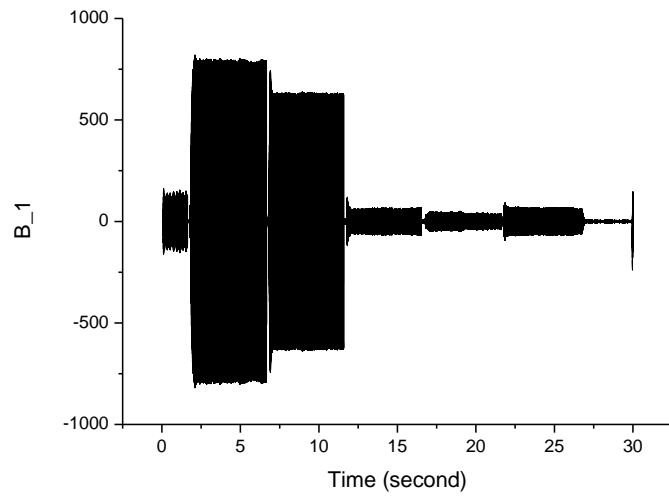
Графички прикази обрађених звучних сигнала у програму OriginPro 8.5.1

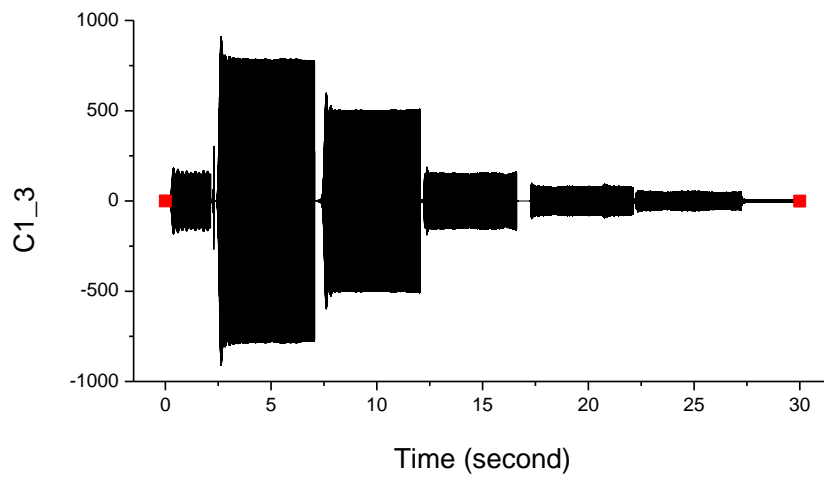
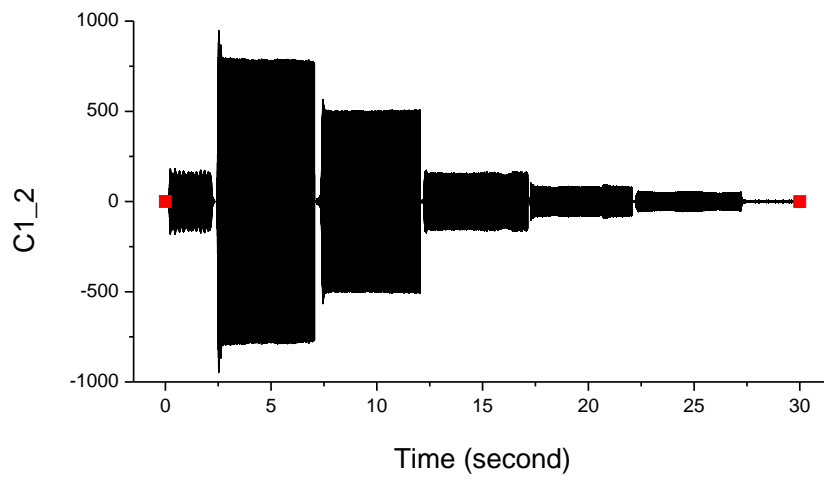
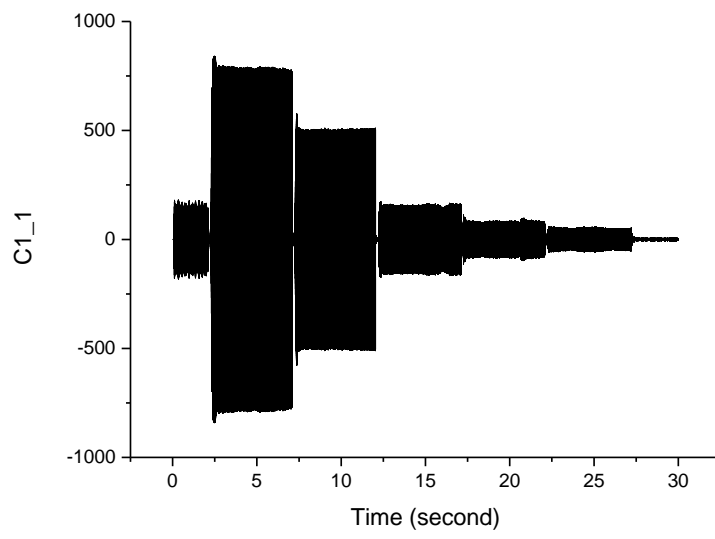


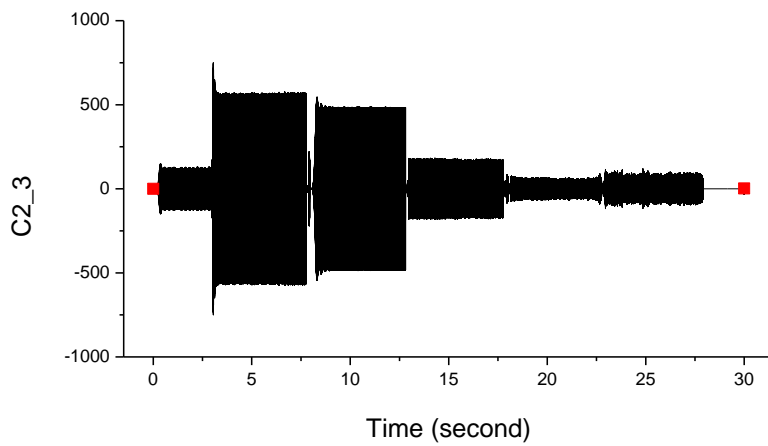
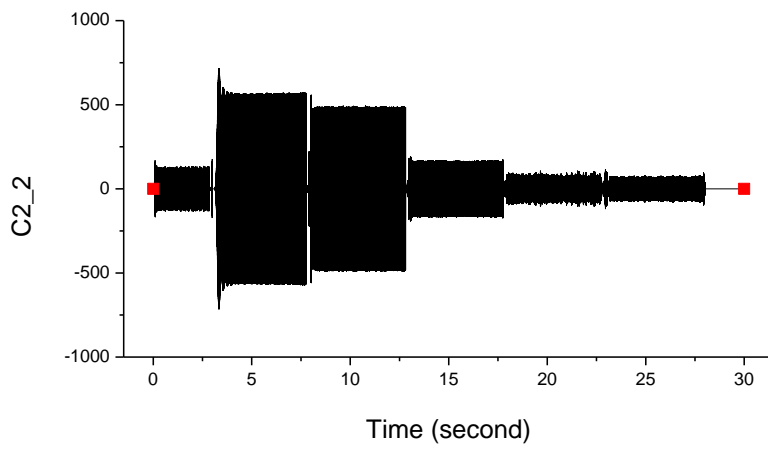
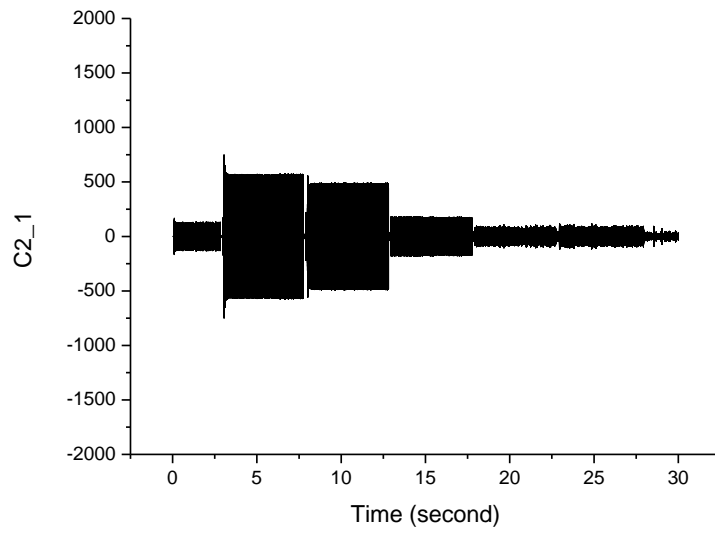


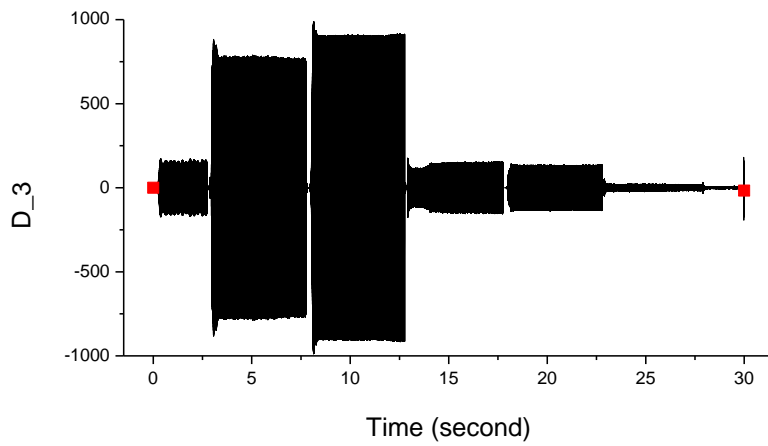
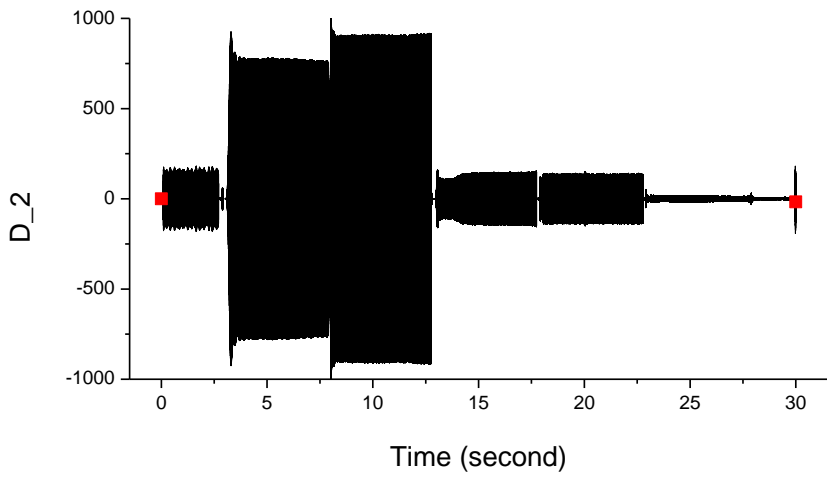
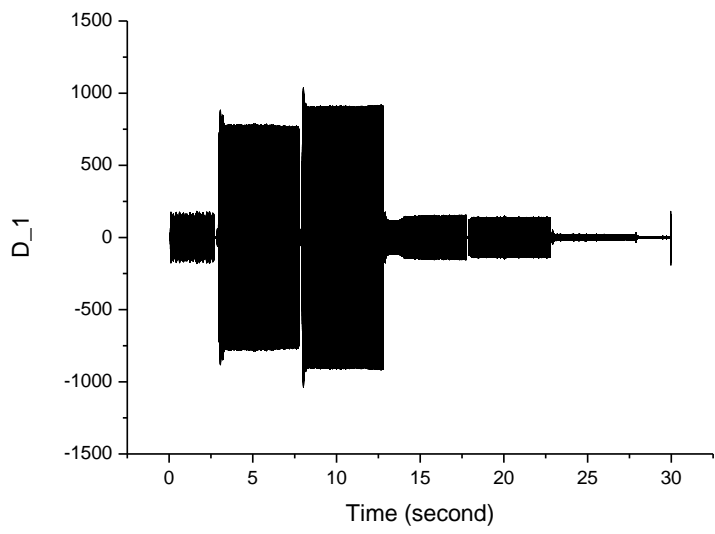


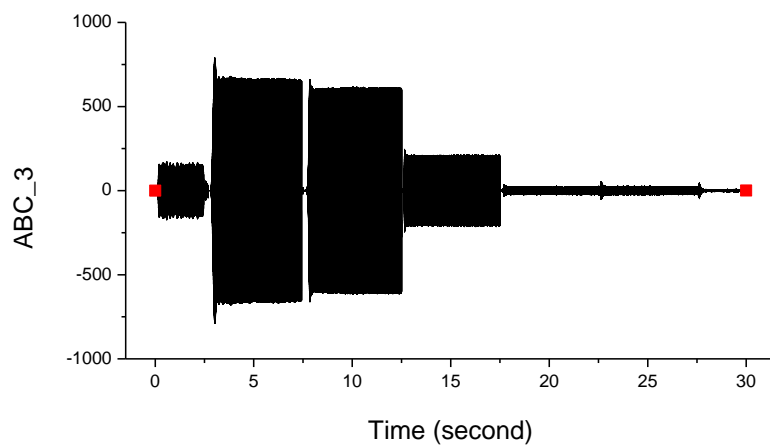
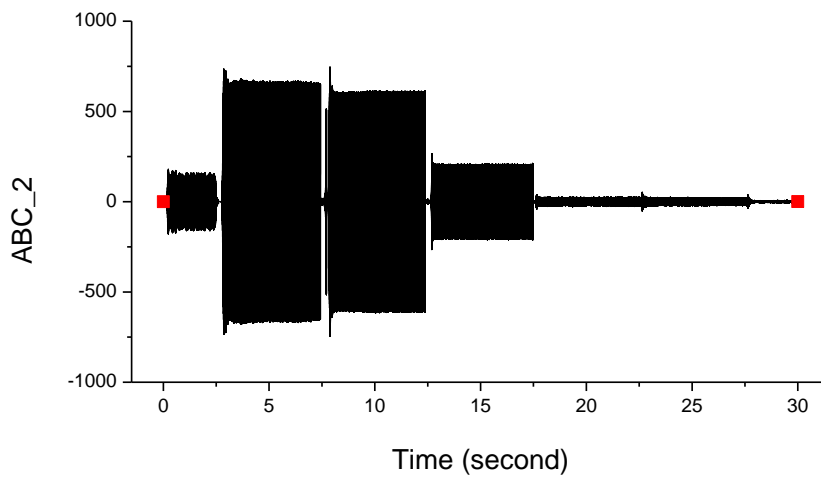
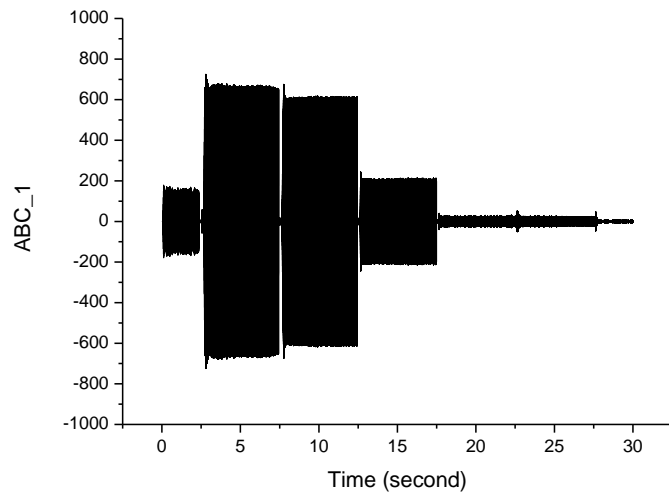


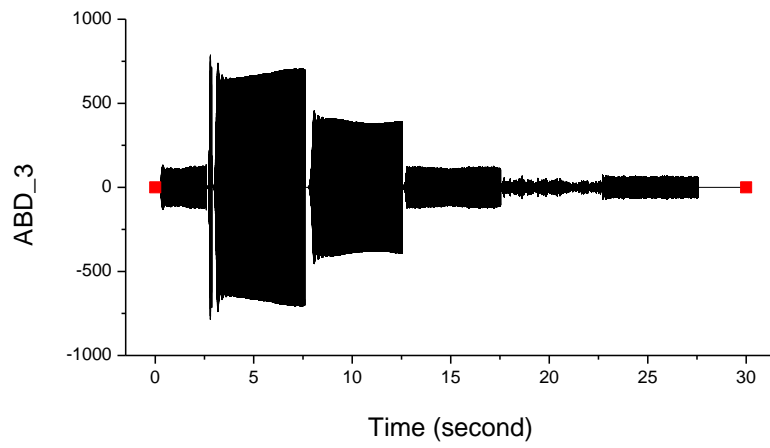
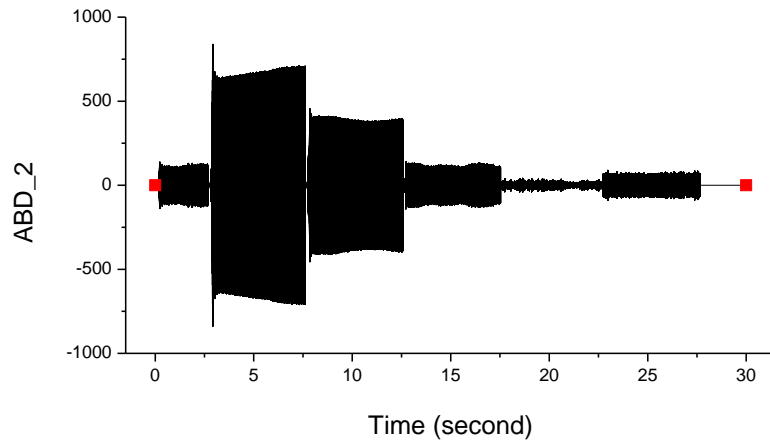
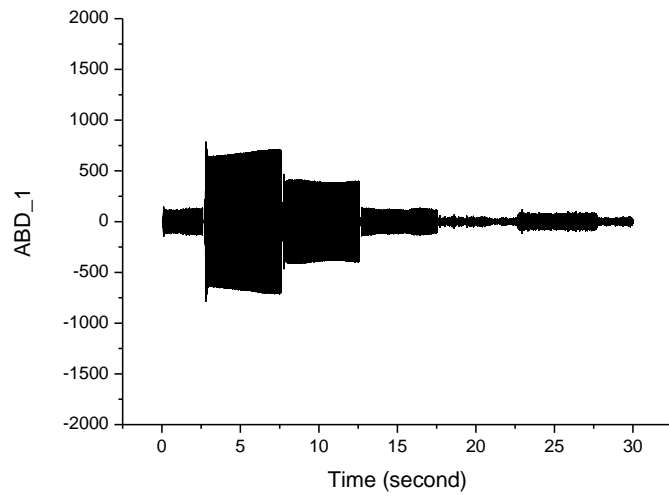












ПРИЛОГ 4

Табела П.4.1. Амплитуда излазног звучног сигнала A_{iz} и апсорпција звука α (%)

Висина звука звучника (80%)													
Номинална фреквенција	f (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	Коефицијент апсорпција звука α (%) на одређену фреквенцију f (Hz)					
Филтер, доња граница	f_{min}	100	235	480	950	1920	3900						
Филтер, горња граница	f_{max}	140	265	520	1050	2080	4100						
Референтна вредност амплитуде A_{ref}		185	1338	1698	690	270	173						
Узорак	Вредност амплитуде A_{iz}							125	250	500	1000	2000	4000
A ₁	A1_1	141	789	530	102	50	55	23.78	41.03	68.79	85.22	81.48	68.21
	A1_2	145	780	526	101	52	47	21.62	41.70	69.02	85.36	80.74	72.83
	A1_3	144	785	526	96	52	52	22.16	41.33	69.02	86.09	80.74	69.94
A ₂	A2_1	161	1018	522	128	12	45	12.97	23.92	69.26	81.45	95.56	73.99
	A2_2	166	1024	518	129	13	43	10.27	23.47	69.49	81.30	95.19	75.14
	A2_3	162	1021	516	127	12	47	12.43	23.69	69.61	81.59	95.56	72.83
A ₃	A3_1	130	737	551	155	82	77	29.73	44.92	67.55	77.54	69.63	55.49
	A3_2	131	746	550	155	85	73	29.19	44.25	67.61	77.54	68.52	57.80
	A3_3	131	740	551	149	90	78	29.19	44.69	67.55	78.41	66.67	54.91
A ₄	A4_1	121	604	267	111	86	76	34.59	54.86	84.28	83.91	68.15	56.07
	A4_2	120	599	273	96	85	73	35.14	55.23	83.92	86.09	68.52	57.80
	A4_3	120	603	267	108	90	78	35.14	54.93	84.28	84.35	66.67	54.91

B	B_1	131	785	631	60	41	65	29.19	41.33	62.84	91.30	84.81	62.43
	B_2	126	781	627	61	43	67	31.89	41.63	63.07	91.16	84.07	61.27
	B_3	131	781	627	55	37	61	29.19	41.63	63.07	92.03	86.30	64.74
C₁	C1_1	161	785	502	152	79	49	12.97	41.33	70.44	77.97	70.74	71.68
	C1_2	161	786	503	155	78	49	12.97	41.26	70.38	77.54	71.11	71.68
	C1_3	155	786	503	149	78	49	16.22	41.26	70.38	78.41	71.11	71.68
C₂	C2_1	125	566	487	169	77	82	32.43	57.70	71.32	75.51	71.48	52.60
	C2_2	126	563	486	161	78	73	31.89	57.92	71.38	76.67	71.11	57.80
	C2_3	126	568	486	173	67	85	31.89	57.55	71.38	74.93	75.19	50.87
D	D_1	162	774	904	146	136	25	12.43	42.15	46.76	78.84	49.63	85.55
	D_2	158	771	905	148	130	16	14.59	42.38	46.70	78.55	51.85	90.75
	D_3	161	775	904	143	131	20	12.97	42.08	46.76	79.28	51.48	88.44
ABC	ABC_1	160	660	607	209	23	22	13.51	50.67	64.25	69.71	91.48	87.28
	ABC_2	150	660	604	206	22	22	18.92	50.67	64.43	70.14	91.85	87.28
	ABC_3	155	663	610	208	20	25	16.22	50.45	64.08	69.86	92.59	85.55
ABD	ABD_1	121	673	394	121	32	72	34.59	49.70	76.80	82.46	88.15	58.38
	ABD_2	114	668	391	120	25	67	38.38	50.07	76.97	82.61	90.74	61.27
	ABD_3	116	665	390	116	29	62	37.30	50.30	77.03	83.19	89.26	64.16

Биографија аутора

Мр Соња Јордева рођена је 7. 11. 1966. г. у Штипу, Р. Македонија, где је завршила основну и средњу школу. 1989. г. дипломирала је на Технолошко - металуршком факултету у Скопљу са просечном оценом 8.73 и стекла назив дипломирани инжењер технолог на смеру текстилно инжењерство. На истом факултету завршила је и последипломске студије са просечном оценом 9.57. Магистарску тезу под називом „Термофизиолошки комфор плетенина за спортску одећу у функцији структурних карактеристика и сировинског састава“ одбранила је 10. 5. 2010. г. и стекла назив магистар техничких наука на смеру текстилно инжењерство - механичка текстилна технологија. Од 1. 09. 1989 - 18. 05. 2012. г. радила је као наставник стручних предмета из области текстилне струке у Средњој општинској школи „Димитар Мирасчиев“ у Штипу. У периоду 2001 - 2002. г. вршила је дужност координатора РНАРЕ реформе стручног образовања у средњим стручним школама у Р. Македонији. Од 19. 5. 2012. г. ради на Технолошко - техничком факултету у Штипу, најпре као лаборант, а од 3. 11. 2014. као асистент - докторанд. Њен опус научно - истраживачког рада верификован је кроз већи број објављених међународних и националних радова и саопштења на скуповима у земљи и иностранству. Соња Јордева је аутор или коаутор укупно 20 научних и стручних радова.

Резултати докторске дисертације публиковани су у следећим радовима:

1. **Jordeva, S.**, Tomovska, E., Trajković, D., and Zafirova, K. (2015), Current State of Pre - Consumer Apparel Waste Management in Macedonia, *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*, 23 (1), 109-113. (M22)
2. **Jordeva, S.**, Tomovska, E., Trajković, D., and Zafirova, K. (2014), Tekstilni Otpad kao Materijal za Toplinsku Izolaciju, *Tekstil*, 63 (5-6), 168-178. (M51)
3. **Jordeva, S.**, Trajković, D., and Zafirova, K. (2013), Kvalitativna i Kvantitativna Analiza Konfekcijskog Otpada u Makedoniji, *Savremene tehnologije*, 2 (1), 82-88. (M52)
4. **Jordeva, S.**, Tomovska, E., Trajković, D., and Zafirova, K. (2014) Tekstilna Industrija i Tekstilni Otpad u R. Makedoniji, *Tekstilna industrija*, 61 (6), 29-32. (M52)
5. Tomovska, E., **Jordeva, S.**, Trajković, D., and Zafirova, K. (2014) Attitudes towards Managing Post-Industrial Apparel Cuttings, in: *3 R International Scientific Conference*

on Material Cycles and Waste Management and SWAPI, Kyoto, Japan, 10 - 12 March 2014. (M33)

6. **Jordeva, S.**, Tomovska, E., Trajković, D., Popeski, R. and Zafirova, K. Sound Insulation Properties of Structure Designed from Apparel Cutting Waste, in: *AUTEX 15- th World Textile Conference*, Bucharest, Romania, 10 - 12 June, 2015. (M33)
7. **Jordeva, S.**, Tomovska, E., Trajković, D., and Zafirova, K. Application of Apparel Cutting Waste as Insulation Material, in: *6 - th International Textile Conference*, Tirana, Albania, 20 November, 2014. (M33)
8. Tomovska, E., **Jordeva, S.**, Trajković, D., and Zafirova, K. Pre - Consumer Apparel Waste Management in Macedonia in: *6 - th International Textile Conference*, Tirana, Albania, 20 November, 2014. (M33)
9. **Jordeva, S.**, Tomovska, E., Trajković, D., and Zafirova, K. Investigation on apparel waste management in Macedonia, in: *10 - th Symposium Novel technologies and economic development*, Leskovac, Serbia, 22 - 23 October 2013. (M64)
10. Trajković Dušan, **Jordeva Sonja**, Zafirova Koleta, Stepanović Jovan, Tomovska Elena Novi termoizolacioni materijali od recikliranog otpada odevne industrije, Tehničko rešenje, Bitno poboljšani postojeći proizvod M84, 2014. (M84)
11. Tomovska E., **Jordeva S.**, Dusan T. Zafirova K., Attitudes towards Managing Post-industrial Apparel Cuttings Waste, *The Journal of the Textile Institute*, DOI: 10.1080/00405000.2016.1160764. 2016. (M22)



Универзитет у Нишу

ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ

Изјављујем да је докторска дисертација, под насловом

Истраживање и развој термоизолационог материјала од рециклираног отпада олевне индустрије

која је одбрањена на Технолошком факултету Универзитета у Нишу:

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да ову дисертацију, ни у целини, нити у деловима, нисам пријављивао/ла на другим факултетима, нити универзитетима;
- да нисам повредио/ла ауторска права, нити злоупотребио/ла интелектуалну својину других лица.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци, који су у вези са ауторством и добијањем академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада, и то у каталогу Библиотеке, Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Нишу, као и у публикацијама Универзитета у Нишу.

У Лесковцу, 02. 03. 2016. г.

Аутор дисертације: Соња Н. Јордева

Потпис аутора дисертације:



Универзитет у Нишу

**ИЗЈАВА О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПАНОГ И ЕЛЕКТРОНСКОГ ОБЛИКА
ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ**

Име и презиме аутора: Соња Н. Јордева

Наслов дисертације: **Истраживање и развој термоизолационог материјала од рециклираног отпада одевне индустрије**

Ментор: Др Душан Трајковић, ванред. проф.

Изјављујем да је штампани облик моје докторске дисертације истоветан електронском облику, који сам предао/ла за уношење у **Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу**.

У Лесковцу, 02. 03. 2016. г.

Потпис аутора дисертације:



Универзитет у Нишу

ИЗЈАВА О КОРИШЋЕЊУ

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Никола Тесла“ да, у Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу, унесе моју докторску дисертацију, под насловом:

Истраживање и развој термоизолационог материјала од рециклираног отпада одевне индустрије

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском облику, погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију, унету у Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу, могу користити сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons), за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)
2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде (CC BY-NC-ND)
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)
5. Ауторство – без прераде (CC BY-ND)
6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да подвучете само једну од шест понуђених лиценци; опис лиценци дат је у Упутству).

У Лесковцу, 02. 03. 2016. г.

Аутор дисертације: Соња Н. Јордева

Потпис аутора дисертације:
