



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

**Medžiagų atgavimo iš medvilnės tekstilinių atliekų
technologinio proceso būvio ciklo analizė**

Baigiamasis magistro projektas

Eglė Felnerienė

Projekto autorė

Prof. Linas Kliučininkas

Vadovas

Kaunas, 2020



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Medžiagų atgavimo iš medvilnės tekstilinių atliekų technologinio proceso būvio ciklo analizė

Baigiamasis magistro projektas

Aplinkosaugos inžinerija (6211EX003)

Eglė Felnerienė

Projekto autorė

Prof. Linas Kliučininkas

Vadovas

Prof. Gintaras Denafas

Recenzentas

Kaunas, 2020



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Eglė Felnerienė

Medžiagų atgavimo iš medvilnės tekstilinių atliekų technologinio proceso būvio ciklo analizė

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Eglės Felnerienės, baigiamasis projektas tema „Medžiagų atgavimo iš medvilnės tekstilinių atliekų technologinio proceso būvio ciklo analizė“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Felnerienė, Eglė. Medžiagų atgavimo iš medvilnės tekstilinių atliekų technologinio proceso būvio ciklo analizė. Magistro baigiamasis projektas / vadovas prof. Linas Kliučininkas; Kauno technologijos universitetas, Cheminės technologijos fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Aplinkos inžinerija (E03), Inžinerijos mokslai (E).

Reikšminiai žodžiai: būvio ciklo vertinimas, tekstilė, džinsai, atliekos, perdirbimas, *ReCiPe*, *SimaPro*.

Kaunas, 2020. 57 p.

Santrauka

Džinsai – vienas populiariausių aprangos gaminių, kurio pagrindą sudaro medvilnė. Deja, medvilnės pluošto auginimas nualina dirvožemį, bei reikalauja didelio kiekio gėlo vandens. Negana to, šiais laikais vyraujanti vartotojiškumo problema didina tekstilės atliekų kiekius, kurie dažniausiai patenka į sąvartynus. Visos šios ekologinės problemos skatina ieškoti būdų kaip perdirbti ir panaudoti jau esamas tekstilės atliekas.

Taigi šiame magistro projekte buvo atlikta dviejų sudėčių (100% medvilnės bei 80% medvilnės ir 20% poliesterio) džinsinių kelnių technologinio perdirbimo procesų būvio ciklo analizė, kurios metu buvo naudota *SimaPro* būvio ciklo vertinimo programa. Ši programa padėjo įvertinti džinsų perdirbimo procesų poveikį aplinkai.

Interpretuojant gautus rezultatus, nustatyta, jog mišrios sudėties džinsinių kelnių perdirbimas padidina neigiamą poveikį žmonių sveikatai 4 kartus, ekosistemoms 3 kartus, o išteklių sunaudojimas išauga 9,6 karto.

Felnerienė, Eglė. Life cycle analysis of technological process of recovery of materials from cotton textile waste / Master's Final Degree Project / supervisor prof. Linas Kliučininkas; Faculty of chemical engineering, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Environmental Engineering (E03), Engineering Sciences (E).

Keywords: life cycle assessment, textiles, jeans, waste, recycling, *ReCiPe*, *Simapro*.

Kaunas, 2020. 57.

Summary

Jeans are one of the most popular clothing products produced out of cotton. Unfortunately, growing cotton fiber depletes the soil and requires large amounts of fresh water. Moreover, the prevailing consumer problem today is increasing the amount of textile waste that usually ends up in landfills. All these ecological problems encourage the search for ways to recycle and recover existing textile waste.

Thus, in this master 's project, a life cycle analysis of two - composition (100% cotton and 80% cotton and 20% polyester) denim technological recycling processes was performed, during which the SimaPro life cycle assessment program was used. This program helped to assess the environmental impact of jeans recycling processes.

Interpreting the obtained results, it was found that the processing of mixed jeans increases the negative impact on human health 4 times, on ecosystems 3 times, and resource consumption increases 9.6 times.

Turinys

Lentelių sąrašas	7
Paveikslų sąrašas	8
Santrumpų sąrašas	9
Įvadas.....	10
1. Literatūros apžvalga	12
1.1. Tekstilinių atliekų problema ir tvarkymas.....	12
1.2. Antrinis tekstilinių atliekų panaudojimas	12
1.3. Tekstilinių atliekų perdirbimas.....	14
1.4. Įmonių socialinė atsakomybė	14
1.5. Būvio ciklo vertinimas ir vertinimo metodas	15
1.6. Džinsų perdirbimo procesų būvio ciklo vertinimas.....	16
1.7. Džinsų perdirbimo procesų analizė	17
1.7.1. Įvesties ir išvesties duomenys	17
1.7.2. Džinsų skalbimas.....	18
1.7.3. Dažų šalinimas iš džinsų	18
1.7.4. Tekstilės pramonėje naudojamų dažų tipai	19
1.7.5. Poliesterio ir medvilnės atskyrimas.....	23
1.7.6. Atgautos medvilnės balinimas.....	24
2. Tyrimų metodika	25
2.1. Eksperimentiniam tyrimui naudotos priemonės.....	25
2.2. Eksperimentinio tyrimo eiga	27
2.3. Duomenų surinkimas ir apdorojimas.....	30
2.4. Pasirinktas būvio ciklo vertinimo analizės metodas.....	31
2.5. ReCiPe 2016 metodo apžvalga.....	32
3. Tyrimų rezultatai.....	36
3.1. Perdirbimo procesų poveikio skirtingoms kategorijoms rezultatų palyginimas	36
3.1.1. Klimato kaita	36
3.1.2. Gėlo vandens eutrofikacija	38
3.1.3. Jūrinio vandens eutrofikacija.....	39
3.1.4. Žemės rūgštėjimas	40
3.1.5. Dirbamos žemės užimtumas.....	41
3.1.6. Natūralios žemės pakeitimas	42
3.1.7. Vandens išsekvojimas.....	42
3.1.8. Iškasenų išsekvojimas	43
3.2. Normalizuoti galutinio taško poveikio kategorijų rezultatai	44
3.3. 100% medvilnės džinsų perdirbimo procesų palyginimas su „Nudie“ džinsų gamybos procesais	46
3.4. Rekomendacijos	48
Išvados	49
Literatūros sąrašas	50
Priedai.....	53
1 priedas. 100% medvilnės džinsų įvesties ir išvesties duomenys.....	53
2 priedas. 80% medvilnės ir 20% poliesterio sudėties džinsų įvesties ir išvesties duomenys	55

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Duomenų apie naudotas žaliavas ir chemines medžiagas informacinė lentelė.....	26
2 lentelė. Poveikis aplinkai pagal perdirbimo procesus (klimato kaita).....	37
3 lentelė. Poveikis aplinkai pagal perdirbimo procesus (gėlo vandens eutrofikacija).....	38
4 lentelė. Poveikis aplinkai pagal perdirbimo procesus (jūrinio vandens eutrofikacija).....	39
5 lentelė. Poveikis aplinkai pagal perdirbimo procesus (žemės rūgštėjimas).	40
6 lentelė. Poveikis aplinkai pagal perdirbimo procesus (dirbamos žemės užimtumas).	41
7 lentelė. Poveikis aplinkai pagal perdirbimo procesus (natūralios žemės užėmimas).....	42
8 lentelė. Poveikis aplinkai pagal perdirbimo procesus (vandens išekvojimas).	43
9 lentelė. Poveikis aplinkai pagal perdirbimo procesus (iškasenų išekvojimas).....	44

Paveikslų sąrašas

1 pav. Tekstilės atliekų antrinio naudojimo ir perdirbimo būdų klasifikacija.....	13
2 pav. Būvio ciklo vertinimo žingsniai apibrėžti <i>LST EN ISO 14040:2007</i> standarte.	15
3 pav. 80% medvilnės ir 20% poliesterio džinsų perdirbimo procesų seka.	17
4 pav. 100% medvilnės džinsų perdirbimo procesų seka.	17
5 pav. Cheminė aktyviųjų dažiklių struktūra.	20
6 pav. Dichlortriazininių dažiklių cheminė struktūra.	21
7 pav. Monochlortriazininiai dažiklių cheminė struktūra.	21
8 pav. Kubinių indigo dažiklių cheminė struktūra.	21
9 pav. Eksperimentui naudotos priemonės.	25
10 pav. Vienam mėginiui reikalingas sukarpytų džinsų kiekis.	27
11 pav. Sukarpyti džinsai ~1 cm ² dydžio gabalėliais.	27
12 pav. Ultragarsinių bangų vonelė EMAG EMMI 30HC.	28
13 pav. Sukarpytų džinsų gabalėliai užpilami HNO ₃ tirpalu.	28
14 pav. Išskalauta medvilnė po dažų šalinimo proceso.	29
15 pav. Dažų atskyrimo procesas.	29
16 pav. Poliesterio ir medvilnės pluoštų atskyrimas.	29
17 pav. 100% medvilnės džinsų perdirbimo procesų nuoseklumas.	30
18 pav. 80% medvilnės ir 20% poliesterio džinsų perdirbimo procesų nuoseklumas.	30
19 pav. Naujai gaminamų „Nudie“ džinsų pagaminimo procesų schema [17].	31
20 pav. Vidurio ir galutinių taškų duomenų pasiskirstymo schema.	32
21 pav. Ryšys tarp žaliavų, naudojamų produktų gamybos ar tam tikrų procesų vyksmo metu, vidurio taško kategorijų bei galutinio taško kategorijų.	34
22 pav. Džinsų perdirbimo procesų poveikis klimato kaitai išreikštas kg CO ₂ ekv.	37
23 pav. Džinsų perdirbimo procesų poveikis gėlo vandens eutrofikacijai išreikštas kg P ekv.	38
24 pav. Džinsų perdirbimo procesų poveikis jūrinio vandens eutrofikacijai, išreikštas kg N ekv.	39
25 pav. Džinsų perdirbimo procesų poveikis žemės rūgštėjimui, išreikštas kg SO ₂ ekv.	40
26 pav. Džinsų perdirbimo procesų poveikis dirbamos žemės užimtumui, išreikštas m ² a.	41
27 pav. Džinsų perdirbimo procesų poveikis natūralios žemės pakitimams, išreikštas m ²	42
28 pav. Džinsų perdirbimo procesų poveikis vandens išekvojimui išreikštas m ³	43
29 pav. Džinsų perdirbimo procesų poveikis iškasenų išekvojimui išreikštas kg naftos ekv.	44
30 pav. Galutinio taško normalizuoti rezultatai 100% medvilnės džinsų perdirbimo procesuose.	45
31 pav. Galutinio taško normalizuoti rezultatai 80% medvilnės ir 20% poliesterio džinsų.	45
32 pav. Galutinio taško normalizuotų rezultatų palyginimas tarp 80% medvilnės ir 20% poliesterio džinsų perdirbimo procesų.	46
33 pav. Charakterizuotų duomenų "Nudie" džinsų gamybos ir 100% medvilnės džinsų perdirbimo procesų palyginimas.	47

Santrumpų sąrašas

AA – aromatiniai aminorai

BCV – būvio ciklo vertinimas

EAA - Europos Aplinkos Agentūra

ISO - Tarptautinės Standartizacijos Organizacija

Įvadas

Klasika tapęs džinsinis, stiprus ir patvarus audinys naudojamas net nuo XVIII a. Tai vienas iš dažniausiai naudojamų audinių pasaulyje, iš kurio pasiūtus gaminius dėvi įvairaus amžiaus, lyčių ir socialinių sluoksnių žmonės [14]. Pasaulyje per metus pagaminama 25 mln. tonų medvilnės, iš kurios pagaminama iki 50% visų pasaulio rūbų, namų tekstilės ir kitų gaminių [39]. Esant tokiai didelei džinsinių gaminių paklausai, šio audinio gamybos pramonė kasdien sunaudoja milžiniškus kiekius medvilnės, vandens ir cheminių medžiagų. Negana to, tekstilės pramonė yra viena labiausiai aplinką teršiančių sričių [14].

Medvilnė, vertinga žaliava, pagrindinė tekstilės pramonės dalis ir džinsinių kelnių pagrindas. Medvilnė jau daugelį šimtmečių yra vienas iš svarbiausių išteklių [39]. Remiantis Pasaulinio gamtos fondo atliktais tyrimais [36], didelis medvilnės pluošto poreikis, sukelia daugybę aplinkosaugos problemų, tokių kaip:

1. milžiniškas gėlo vandens kiekio sunaudojimas – norint užauginti 1 kilogramą medvilnės, tam sunaudojamas gėlo ir lietaus vandens kiekis vidutiniškai yra apie 8500 litrų;
2. didelis chemikalų ir pesticidų kiekių naudojimas - medvilnės auginimo procese sunaudojama apie 8-10% viso pasaulio pesticidų;
3. intensyvus medvilnės auginimas sukelia dirvos degradaciją ir eroziją - apskaičiuota, kad praėjusiame amžiuje buvo prarasta daugiau kaip 50% viso žemės ūkio paskirties dirvožemio;
4. prarandamos kai kurių gyvūnų buveinės, nes medvilnės auginimas reikalauja vis didesnių žemės plotų.

Taip pat vyrauja didelė tekstilės atliekų problema – vien Europoje kasmet išmetama 75% (4,3 mln.) tekstilės atliekų, nes nėra tinkamų būdų šias atliekas perdirbti [15]. 63% tekstilės pluoštų yra išgaunami iš naftos chemikalų [30]. Šios aplinkosaugos problemos itin opios šiuo mūsų eros laikotarpiu, dėl globalinio atšilimo problemos ir aplinkos taršos, kuri kenkia netik florai ir faunai, bet ir kiekvienam iš mūsų.

Visos šios ekologinės problemos skatina ieškoti tvaresnių tekstilės gamybos būdų, bei tinkamesnių būdų perdirbti ir panaudoti jau esamas tekstilines atliekas.

Darbo tikslas - atlikti medžiagų atgavimo iš panaudotų medvilninių gaminių technologinio proceso būvio ciklo analizę; gautus rezultatus palyginti su tradicinio medvilnės paruošimo būvio ciklo vertinimo rezultatais.

Darbo uždaviniai:

1. nustatyti būvio ciklo vertinimo ribas - apibrėžti analizuojamus procesus ir vertinime naudojamą funkcinį vienetą;
2. parinkti būvio ciklo vertinimo metodą ir sukaupti duomenis, kurie bus naudojami perdirbimo procesų būvio ciklo vertinime;
3. atlikti panaudotų džinsinių kelnų perdirbimo procesų būvio ciklo analizę ir interpretuoti gautus rezultatus;
4. palyginti medvilnės atgavimo iš panaudotų džinsinių kelnų ir naujų džinsinių kelnų, gaminamų tradiciniu medvilnės paruošimo būdu, būvio ciklo vertinimo rezultatus.

1. Literatūros apžvalga

1.1. Tekstilinių atliekų problema ir tvarkymas

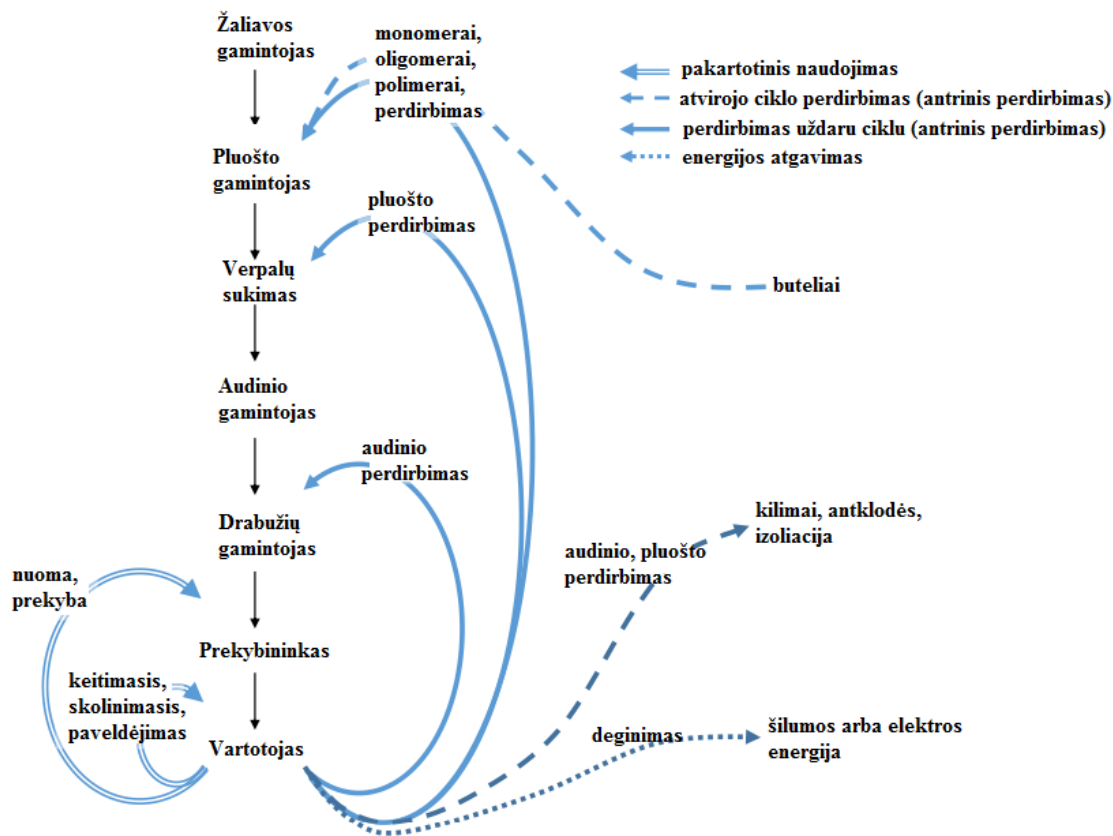
Per pastaruosius kelis dešimtmečius, Vakarų šalyse žaibiškai išaugo aprangos ir tekstilės gaminių vartojimas. Apskaičiuota, kad 2015 m. ES piliečiai nupirko apie 6,4 mln. tonų naujų drabužių (12,66 kg vienam asmeniui). Remiantis Europos Aplinkos agentūros (EAA) atliktais skaičiavimus, nuo 1996 m. iki 2012 m. ES šalyse nuperkamų aprangos gaminių kiekis padidėjo 40%. Reikia paminėti, kad daugiau nei 30% nupirktų aprangos gaminių, esančių europiečių drabužių spintose, yra nedėvimi nei karto per visus metus. Nėgana to, dauguma išmetamų tekstilės gaminių nėra perdirbami, o keliauja į sąvartynus arba atliekų deginimo jėgaines [34].

Sparčiai didėjantis tekstilinių atliekų kiekis parodo padidėjusį žmonių vartotojiškumą, kurį lemia sumažėjusi drabužių ir kitų tekstilinių gaminių kaina. Remiantis EAA duomenimis, per pastaruosius 20 metų, aprangos gaminių kainos krito apie 36%. Kitas svarbus, išaugusio vartotojiškumo faktorius, yra greitosios mados suklestėjimas. Greitosios mados verslo modelis, remiasi patrauklių ir madingų drabužių masine gamyba, mažų kainų ir didelių kiekių pardavimais. Greitosios mados įmonės siūlo pirkėjams labai greitai besikeičiančias drabužių kolekcijas ir nedidelę gaminio kainą, kuri pasiekama gaminant drabužius trečioje šalyje iš prastesnės kokybės audinių [34].

Vartotojiškumo išaugimas ir greitosios mados klestėjimas demonstruoja žmonių lengvabūdišką požiūrį į ateities šiukšlių, gamtos užterštumo ir klimato kaitos problemas. Tačiau pastaraisiais metais, ypač aktyviai skatinamas sąmoningas vartojimas ir minimalizmas, pamažu keičia žmonių požiūrį į ekologines problemas. Todėl šiais laikais, itin svarbus tapo tekstilinių atliekų perdirbimo procesų gerinimas ir tobulinimas, nes tekstilinių atliekų perdirbimas yra sudėtingas procesas, reikalaujantis atsižvelgti į atliekų kiekius, jų toksiškumą ir atliekų paskirstymo sistemą [31].

1.2. Antrinis tekstilinių atliekų panaudojimas

Taigi nuo 2008 metų, *ES atliekų direktyvoje (2008/98/EB)* yra pateikiamas pageidaujamo atliekų apdorojimo būdas, kuriame atliekų pateikimas į sąvartynus yra mažiausiai pageidaujamas, o atliekų prevencija yra geriausia alternatyva [28]. Tekstilinių atliekų antrinio naudojimo ir perdirbimo būdų klasifikacija pateikiama 1 pav. Šioje scheme pateikiami visi galimi būdai, kaip sumažinti tekstilinių atliekų kiekį po to, kai gaminys jau panaudotas. Scheme nurodyta, kad paskutinė tekstilės gaminio stotelė yra vartotojas, iš kurio gaminys gali keliauti įvairiais būdais: būti pakartotinai naudojamas (perparduodamas, nuomojamas), perdirbamas atviruoju ciklu (audinio pluošto panaudojimas kito gaminio gamybai), perdirbamas uždaru ciklu (audinys ar pluoštas perdirbami, taip atgaunamos



1 pav. Tekstilės atliekų antrinio naudojimo ir perdirbimo būdų klasifikacija [30].

medžiagos, kurios iš naujo patenka į gamybos grandinę) arba gaminys gali būti deginimas, tokiu būdu atgaunant energiją.

Trys pagrindiniai antrinio tekstilinių atliekų panaudojimo būdai yra: oficialus pakartotinis naudojimas (pvz. dėvėtų drabužių ir labdaros parduotuvės), pusiau formalus pakartotinis naudojimas (dėvėtų drabužių pardavimas įvairiose interneto platformose) bei neformalusis pakartotinis panaudojimas (vaikas “paveldi” drabužius iš vyresnių brolių, draugai keičiasi pabodusiais drabužiais) [28].

Toks drabužių ar kitų daiktų pakartotinis panaudojimas yra naudingas, nes prailgina drabužių ar tekstilės gaminių naudojimo ciklą, ir taip mažina naujų drabužių poreikį ir gamybą [30]. Nėgana to, toks drabužių panaudojimas mažina pasaulinį atšilimą, maždaug 15 kg. CO₂ ekvivalentų kilogramui tekstilės [28]. Pakartotinis drabužių naudojimas, ES atliekų hierarchijos schemeje, prilyginamas atliekų prevencijos laipteliui [30]. Atliekų prevencija yra žymiai ekologiškesnė alternatyva, nei atliekų perdirbimas ar atliekų naudojimas energijos gamybai.

1.3. Tekstilinių atliekų perdirbimas

Tekstilinių atliekų perdirbimas pasaulyje vis dar nėra plačiai paplitęs. Taip yra todėl, kad vis dar nesukurtas optimalus būdas, kaip efektyviai perdirbti tekstilines atliekas, už konkurencingą kainą. Dėl šių priežasčių sudėtinga numatyti tekstilės atliekų perdirbimo įtaką aplinkai, kadangi dabar egzistuojantys perdirbimo būdai yra arba laboratorinio lygio, arba mažos kokybės, arba perdirbami kiekiai labai nedideli [28].

Tekstilės atliekos plačiausiai panaudojamos automobilių garso izoliacijoms, čiužinių ir pagalvių užpildams, industriniams patiesalams [30]. Taip panaudojant tekstilines atliekas, jos puikiai pakeičia naujus tekstilės gaminius ir nereikalauja brangaus perdirbimo proceso, nes dažniausiai yra tiesiog susmulkinamos [28].

1.4. Įmonių socialinė atsakomybė

Įmonių socialinė atsakomybė – tai įmonės atsakomybė už jos poveikį aplinkai ir visuomenei. Įmonės kartu su visuomeniniais ir valstybinio sektoriaus partneriais ieško novatoriškų sisteminių socialinių, aplinkosaugos ir platesnių ekonominės gerovės problemų sprendimų. Įmonių socialinė atsakomybė apima šias sritis [17]:

1. produktas yra saugus ir nekelia pavojaus vartotojui;
2. tvarus mąstymas ir ekologiškesni sprendimai, kurie būtų naudingi ilgalaikėje perspektyvoje;
3. verslo, klientų, tiekėjų ekologinio sąmoningumo ir tvaresnių pasirinkimų skatinimas;
4. efektyvus žaliavų panaudojimas;
5. darbuotojams suteikiamos geros darbo sąlygos ir aplinka;
6. nei darbuotojai, nei klientai nėra diskriminuojami;
7. įdarbinami žmonės iš įvairių, visuomenėje diskriminuojamų, socialinių grupių.

Greitosios mados klestėjimas, kapitalizmas, didelis visuomenės abejingumas ir vartotojiškumas apsunkina įmonių socialinės atsakomybės taisyklių taikymą. Norint sąžiningai taikyti šias taisykles versle, produkto kaina smarkiai išauga. Pastaruoju metu, sparčiai didėja žmonių skaičius, kurie nėra abejingi ekologinėms problemoms ir yra pasiryžę sumokėti didesnę produkto kainą ir įsigyti produktą, kuris pagamintas socialiai atsakingos įmonės [17].

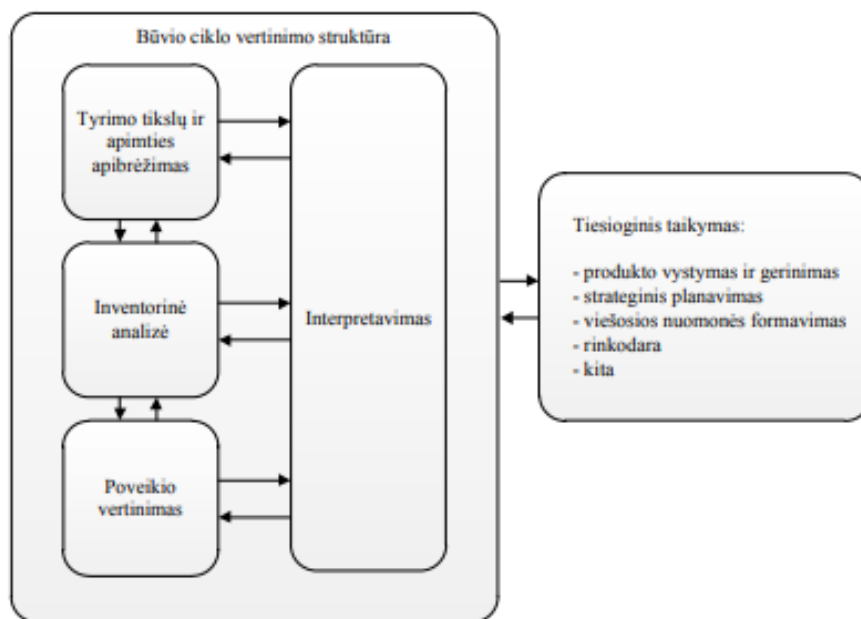
Teigiami pokyčiai mūsų visuomenėje, leidžia atlikti daugiau tyrimų tekstilės antrinio panaudojimo srityse ir ieškoti naujų būdų, kaip efektyviai naudoti išteklius; kaip pagerinti tekstilinių atliekų

perdirbimą, kartu maksimaliai sumažinant šių atliekų kiekį, kuris pridodamas į sąvartynus arba yra sudeginamas.

1.5. Būvio ciklo vertinimas ir vertinimo metodas

Būvio ciklo vertinimas (BCV), tai procesas, skirtas įvertinti tam tikro produkto pagaminimo metu daromą potencialią įtaką aplinkai ir ištekliams [32]. Būvio ciklo vertinimas gali apimti visą produkto gyvavimo procesą, pradedant nuo žaliavų gavybos (*cradle*) iki produkto atliekų tvarkymo (*grave*) [17].

BCV procesas yra plačiai naudojamas pasaulyje ir yra patikimas būdas apibrėžti esamą įtaką aplinkai ir žmonių sveikatai bei, numatyti ateityje galinčias kilti problemas, kai produktas jau bus nebenaudojamas [32]. BCV yra apibrėžtas Tarptautinės Standartizacijos Organizacijos (ISO) specialiuose ISO standartuose - ISO 14040:2006 ir ISO 14044:2006. Standartas 14040 apibrėžia pagrindinius principus ir struktūras kaip būvio ciklo vertinimas turėtų būti taisyklingai atliekamas [27]. Standartas 14044 apibrėžia reikalavimus ir gaires keturiems gyvavimo ciklo vertinimo žingsniams: tikslo ir taikymo srities apibrėžimas, būvio ciklo inventoriniai duomenys, poveikio vertinimas ir gautų rezultatų interpretavimas (2 pav.).



2 pav. Būvio ciklo vertinimo žingsniai apibrėžti LST EN ISO 14040:2007 standarte.

ISO 14000 standartai yra platus informacijos ir nuorodų spektras, galintis padėti įvairioms įmonėms sumažinti išteklių ir energijos sunaudojimo kiekius, efektyviau vykdyti gamybos procesus, sumažinti atliekų apdorojimo išlaidas ir naudingai panaudoti atautus išteklius [26].

BCV yra metodinė priemonė, naudojama kiekybiškai analizuoti produktų ar veiklos ciklą atsižvelgiant į poveikį aplinkai [26]. Šiam tikslui yra naudojamos specialios skaičiavimo priemonės. Vertinant būvio ciklą, atsižvelgiama į bendrą produkto ar veiklos gyvavimo ciklą; nuo išteklių išgavimo iki atliekų susidarymo ir atliekų tvarkymo, taip pat vadinamoje nuo lopšio iki kapo (*cradle-*

to-grave) [32]. Tačiau mūsų atveju bus analizuojamas technologinis medvilnės atgavimo iš džinsų atliekų procesas, kuris apima tik džinsų atliekų perdirbimo procesus (*gate-to-gate*).

Norint atlikti poveikio vertinimą *SimaPro* būvio ciklo vertinimo programoje, džinsinių kelnų perdirbimo procesų duomenims reikalingas apdorojimas pasirenkant tinkamiausią *SimaPro* metodą. Metodinėje dalyje pasirinktas ir išsamiai aprašytas *ReCiPe 2016 BCV* metodas. Šis metodas turi du pagrindinius proceso charakterizavimo ir normalizavimo būdus, t. y., vidurio taško (*Midpoint*) ir galutinio taško (*Endpoint*) lygyje. *ReCiPe 2016* apskaičiuoja 18 vidurio taško rodiklių ir 3 galutinio taško rodiklius.

Atliekant BCV procesą, rekomenduojama atsižvelgti į “*Geriausių prieinamų gamybos būdų tekstilės pramonėje*” dokumentą. Jis yra susietas su *ES direktyva 96/61/EB “Dėl integruotos taršos prevencijos ir kontrolės”*.

“Geriausi prieinami gamybos būdai” – tai efektyviausi ir labiausiai pažengę veiklos ir jos vykdymo metodų plėtojimo būdai. „Geriausių prieinamų gamybos būdų“ taikymas tekstilės įmonėse yra viena iš taršos prevencijos ir kontrolės leidimų išdavimo sąlygų [10]. “Geriausi prieinami gamybos būdai” atspindi praktikoje naudojamas ir patikrintas, švaresnes gamybos technologijas ir gamybos principus, taikomus ne tik Europoje, bet ir visame pasaulyje.

1.6. Džinsų perdirbimo procesų būvio ciklo vertinimas

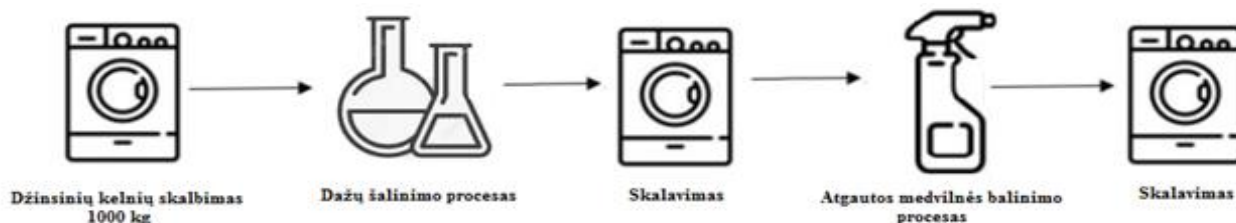
Dauguma atliktų ankstesnių būvio ciklo vertinimo tyrimų, dažniausiai taikė lyginamąją struktūrą tarp džinsų ir kitų drabužių gaminių, kurie yra pagaminti nesivadovaujant tvarios gamybos taisyklėmis [17]. Šis tyrimas turi padėti surasti sprendimus tekstilinių atliekų perdirbimui ir antriniam panaudojimui. Tyrimų rezultatai gali būti naudingi įvairioms tekstilės gamybos įmonėms, kurios nežino kaip elgtis su gamybos atliekomis; perdirbimo kompanijoms, kurios privalo mažinti perdirbimo procesų daromą poveikį aplinkai, bei tolimesniems moksliniams tyrimams. Gauti tyrimų rezultatai gali būti naudingi siekiant optimizuoti džinsinių audinių gamybos ir perdirbimo procesus, ištirti jų naudą ir žalą aplinkai, žmonių sveikatai, ekosistemų kokybei, klimato kaitai ir ištekliams.

Šiame darbe būvio ciklo analizei buvo panaudotos 100 % medvilnės pluošto (3 pav.) ir mišrios sudėties - 80% medvilnės ir 20% poliesterio (4 pav.) džinsinės kelnės. Būvio ciklo analizei bus naudojami eksperimentiniai duomenys, gauti Kauno technologijos universiteto Aplinkosaugos technologijos katedroje.

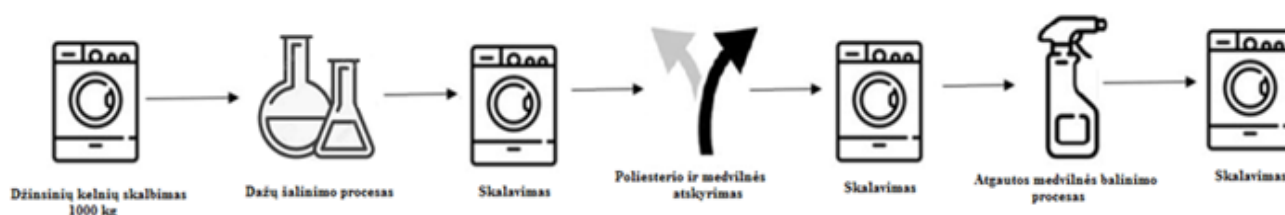
Tyrimu įvertinsime panaudotų džinsų perdirbimo technologinę seką, kurią suskaidėme į šiuos procesus: skalbimas, dažų šalinimas, skalavimas po dažų šalinimo, poliesterio atskyrimas, skalavimas po poliesterio atskyrimo, atgautos medvilnės balinimas ir pakartotinis skalavimas.

Būvio ciklo vertinimas atliekamas naudojant *SimaPro* kompiuterinę programą, kuri turi: vartotojo sąsają, leidžiančią modeliuoti produkto ar proceso sistemas; būvio ciklo vienetų duomenų bazę; poveikio vertinimo duomenų bazę, kuri remiasi keliomis būvio ciklo vertinimo metodikomis;

skaičiavimo sistemą, kuri apjungia duomenis iš duomenų bazės, pagal tai kokį būvio ciklo vertinimo metodą pasirenka vartotojas [18].



4 pav. 100% medvilnės džinsų perdirbimo procesų seka.



3 pav. 80% medvilnės ir 20% poliesterio džinsų perdirbimo procesų seka.

Tyrime naudojamas **funkcinis vienetas** yra 0,72 kg 100% medvilnės džinsų ir 0,72 kg 80% medvilnės ir 20% poliesterio sudėties džinsų. Taip pat palyginamajame E. A. Hedman straipsnyje („Comparative Life Cycle Assessment of Jeans“, 2018), naudojamas toks pat funkcinis vienetas – viena vidutinio dydžio džinsų pora (0,72 kg).

Būvio ciklo ribos – *gate-to-gate* (nuo vartų iki vartų); analizuojamas tik džinsų perdirbimo procesas (nevertinamas džinsų pagaminimo ir džinsų šalinimo sąvartyne ciklas). Palyginamajame E. A. Hedman straipsnyje būvio ciklo ribos taip pat *gate-to-gate* (nuo vartų iki vartų), kur įvertinamas audinio ir džinsų pagaminimo būvio ciklas.

1.7. Džinsų perdirbimo procesų analizė

1.7.1. Įvesties ir išvesties duomenys

Kiekybiniai gyvavimo ciklo inventoriniai duomenys yra surenkami kiekvienam procesui, kuris yra įtrauktas į sistemos ribas. Norint sumodeliuoti kuo tikslesnį ir realesnį gyvavimo ciklo vertinimą, būtini įvesties/išvesties duomenys apie žaliavų kiekius, energijos ir vandens sunaudojimą, chemines medžiagas sunaudojamas ir išsiskiriančias procesų metu, išmetamųjų teršalų, nuotekų ir kietųjų atliekų kiekius ir cheminę sudėtį [36].

Surinkti duomenys turi būti pagrįsti nuoseklia sistema ir atitikti nusistatytus kokybės standartus, atsižvelgiant į tyrimo taikymą ir išlaikyti įvesties/išvesties lygį ir rezultatų, atitinkančių tyrimo tikslą (*ISO 14040: 2006*).

1.7.2. Džinsų skalbimas

Džinsų skalbimui turi būti naudojami kuo efektyvesni, tačiau kuo ekologiškesni skalbikliai, nes atliekant perdirbimo proceso būvio ciklo vertinimą, tarša išskirta po gaminių skalbimo, turės įtakos tolimesniam procesų vertinimui.

Šiam procesui reikalingi trys pagrindiniai įvesties duomenys: vanduo, energijos sąnaudos ir skalbiklis. Vienas skalbimo procesas vidutiniškai reikalauja apie 60 litrų vandens, 0,79 kWh elektros energijos ir 50 ml. skalbiklio [17].

Skalbimo proceso metu, išsiskiria skalbiklio sudėtyje naudojami cheminiai teršalai (pvz.: natrio hidroksidas, propan-1,2-diolis, boraksas ir t.t.), cheminių medžiagų likučiai nuo džinsų gamybos procesų bei paties pluošto dalelės. Visa tai apims išvesties duomenis, kurie bus apibrėžti kaip nuotekos [17].

Siekiant sumažinti neigiamą skalbimo įtaką aplinkai, pradėti naudoti fermentai, kurie yra baltymų pavidalo, biologiniai katalizatoriai. Džinsų skalbimo metu, dažniausiai naudojami fermentai yra amilazės, celiulazės ir laktazės [4]. Jų naudojimas skalbiant, padeda sumažinti sunaudojamo vandens kiekį ir skalbimo procesą paversti efektyvesniu.

1.7.3. Dažų šalinimas iš džinsų

Medvilnės dažymas yra vienas iš labiausiai aplinką teršiančių, tekstilės apdorojimo procesų. Šio proceso metu sunaudojami dideli kiekiai energijos, vandens ir įvairių cheminių medžiagų, tokių kaip balikliai, dažai, drėkinamosios medžiagos, muilai, minkštikliai ir druskos, reikalingos išgauti norimą spalvą [11]. Negana to, tekstilės dažymo gamyklose, sugeneruojami milžiniški kiekiai nuotekų, kurie turi neigiamų pasekmių aplinkai ir teršia gruntinius vandenius [9]. Tekstilės gamyklų nuotekose, randamas didelis kiekis ištrirpusių kietųjų suspenduotų dalelių bei bendrojo Kjeldalio azoto kiekis. Šios medžiagos sukelia biologinį ir cheminį deguonies poreikį [33]. Norint sumažinti neigiamą įtaką aplinkai, galima naudoti perdirbtą medvilnės pluoštą nekeičiant jo spalvos. Tačiau šiuo atveju būtinas kruopštus gaminių rūšiavimas pagal spalvą ir sudėtį, o tai reikalauja papildomo laiko ir darbo jėgos [9].

Vis dėl to, dažniausiai perdirbant tekstilinius gaminius, siekiama atgautą pluoštą padaryti kuo universalesnį ir plačiau pritaikomą, taigi ieškoma būdų kaip pašalinti dažus iš pluošto dažus, likusius nuo anksčiau sukurto gaminio.

Dažniausiai dažuose randamos medžiagos tai sunkieji metalai ir įvairios organinės medžiagos [40]. Norint pašalinti tokias kenksmingas medžiagas, kaip sunkieji metalai, galimi įvairūs dažų šalinimo

procesai, pvz. sunkiųjų metalų išplovimas naudojant įvairias rūgštis [11]. KTU mokslininkai, laboratorinių bandymų metu, atskyrė dažus iš medvilnės naudodami 60% azoto rūgštį. Tokios koncentracijos rūgštis nepažeidžia medvilnės pluošto mechaninių savybių [40].

Po dažų šalinimo proceso atliekamas skalavimas. Šis procesas reikalingas norint visiškai pašalinti dažų likučius iš džinsinių kelnių.

1.7.4. Tekstilės pramonėje naudojamų dažų tipai

Šiais laikais tekstilės dažymas ir marginimas yra neatsiejama mados industrijos dalis. Dėl milžiniško dažų poreikio, vien natūraliai išgaunamų dažų nebepakanka. Todėl šiuo metu tekstilės pramonėje daugiausia naudojami sintetiniai organiniai dažai, kurie gali pasiūlyti ne tik didelę spalvų įvairovę, bet ir kokybę bei ilgaamžiškumą.

Spalvotų audinių poreikis, skatina sunaudoti ne tik didelius dažų kiekius, bet ir didelius kiekius įvairių chemikalų, kurie naudojami apdailai, dažų pernešimui, nudažymo atsparumo pagerinimui, dažų tirštinimui, fiksacijos pagreitinimui ir t.t. Tekstilės pramonė sunaudoja daugiausia dažų - beveik 70 procentų [33]. Toks kiekis dažų ir kitų cheminių medžiagų, naudojamų audinių dažymo procese, sukelia tokias aplinkosaugos problemas kaip vandens telkinių užteršimas, eutrofikacija.

Vis dėl to, dažikliai yra plačiai naudojami ir paprastai klasifikuojami pagal cheminę sudėtį arba technologiją tekstilės pluoštams [22], pvz.: aktyvūs dažikliai, kubiniai dažikliai, rūgštiniai dažikliai, dispersiniai dažikliai, tiesioginiai dažikliai ir t.t. Medvilnės pluošto dažymui dažniausiai naudojami dažikliai tiesioginiai (azo), aktyvūs arba kubiniai dažikliai.

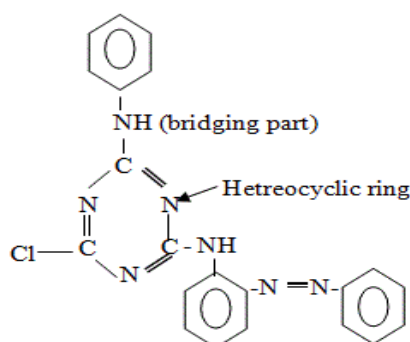
Džinsų pramonėje yra dažomi tik metmenų krypties siūlai (ataudų krypties siūlai lieka balti), kurių dažymui dažniausiai naudojami indigo arba sieros pagrindo dažai [23].

1.7.4.1. Tiesioginių džinsinio audinio dažiklių savybės

Tiesioginiai dažikliai yra druskų pavidalo vandenyje tirpūs junginiai. Šie dažikliai su pluoštu surišami vandenilniais ryšiais ir van der Valso jėgomis [33]. Pramonėje naudojama apie 70% tiesioginių dažiklių yra azo dažikliai [33]. Azo dažai yra didžiausia sintetinių dažų klasė. Šie dažai savo sudėtyje dažniausiai turi vieną azo grupę (-N=N-) (5 pav.) [22].

Azo dažai daugiausia populiarumo susilaukė dėl to, kad yra daug stabilesni nei dauguma kitų dažiklių. Šių dažų spalva nepakinta nuo pH, deguonies, saulės šviesos, temperatūros svyravimų. Dėl šių savybių šių dažų pašalinamas iš vandens įprastiniais nuotekų valymo metodais nėra paprastas [3].

Didžioji dalis azo dažų yra tirpūs vandenyje, todėl organizmas juos lengvai absorbuoja. Tai įvyksta įkvepiant ir nuryjant dulkes, taip pat susilietus su oda. Azo dažai taip pat gali būti toksiški vandens organizmams ir sukelti ilgalaikį neigiamą poveikį vandens aplinkai [33].



5 pav. Cheminė aktyviųjų dažiklių struktūra.

Negana to, iš azo dažų biotransformacija per įvairias odos bakterijas gali išskirti aromatinius aminos (AA), kurie didžiaja dalimi gali būti absorbuojami per odą. Yra žinoma, kad kai kurie AA turi genotoksines ir (arba) kancerogenines savybes [3]. Azo dažų patekimo į organizmą rizika pasireiškia dėvint drabužius ar aksesuarus, kurių sudėtyje yra šių dažų. Manoma, kad kai kurie arilaminai gali sukelti alergiją susilietus su oda, sudirginti akis, būti toksiški įkvėpti ar praryti [6].

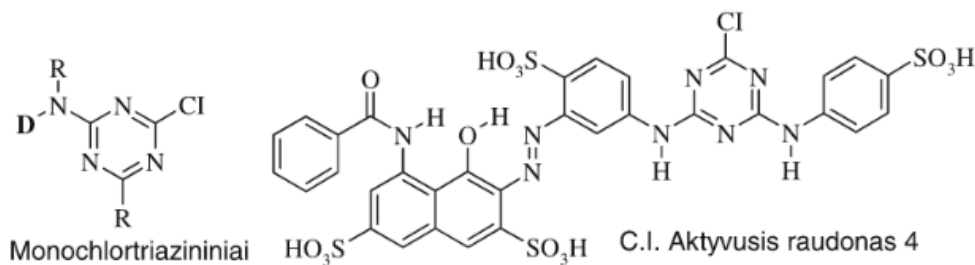
Azo dažai, kurie gali išskirti vieną iš 22 reglamentuotų kancerogeninių AA, jau yra draudžiami drabužių tekstilės gamyboje Europos Sąjungoje [3]. Kadangi tekstilės dažai Europos rinkai dažniausiai gaminami Azijoje (pvz., Indijoje, Indonezijoje, Kinijoje), jų tyrimas dėl kancerogeninių ar mutageninių medžiagų, turėtų būti griežčiau reglamentuojamas. Tai gali turėti neigiamos įtakos ne tik vartotojams, dėvintiems drabužius, turinčius tokių dažų, bet ir chemijos pramonės bei tekstilės darbuotojams, kuriose taikomi žemi darbo saugos standartai [33].

1.7.4.2. Aktyvių džinsinio audinio dažiklių savybės

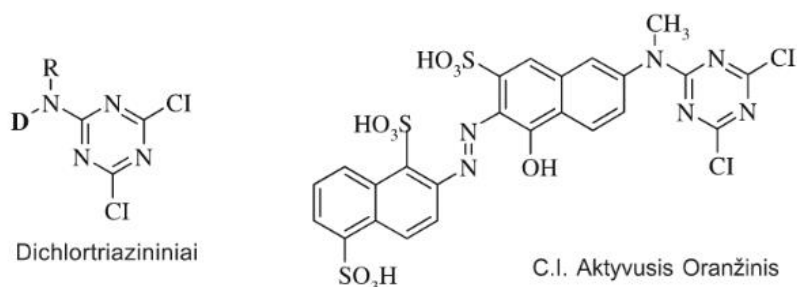
Aktyvieji dažikliai – tai vandenyje tirpios organinių rūgščių druskos arba bazės [22]. Šios druskos arba bazės dažymo proceso metu sudaro kovalentinius ryšius su funkcinėmis pluošto grupėmis. Taip aktyvieji dažikliai sudėtine puošto dalimi ir pluoštas tampa itin atsparus plovimui, cheminiam valymui ir trinčiai.

Aktyvūs dažikliai dažniausiai naudojami dažant celiuliozę, pavyzdžiui, medvilnę ar liną, tačiau yra galimybė aktyviais dažikliais dažyti ir vilną bei nailoną (naudojant silpną rūgštį) [33]. Aktyviųjų dažų panaudojimas nėra toks platus lyginant su kitų rūšių dažikliais, nes ši funkcinė grupė gali prisijungti prie vandens ir taip sukurti hidrolizės procesą.

Aktyvieji dažikliai yra skirstomi pagal aktyviųjų grupių nešėjus į triazininius, pirimidinius ir vinilsulfoninius [22]. Iš šios klasifikacijos, dažniausiai yra naudojami triazininiai dažikliai, kurie papildomai skirstomi į dichlortriazininius (7 pav.) ir monochlortriazininius (6 pav.).



7 pav. Monochlortriazininiai dažiklių cheminė struktūra.

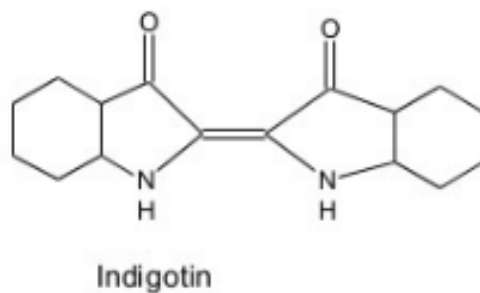


6 pav. Dichlortriazininių dažiklių cheminė struktūra.

1.7.4.3. Kubinių džinsinio audinio dažiklių savybės

Kubiniai tekstilės dažikliai yra netirpūs vandenyje, tačiau redukuojant šarminėje terpėje jie virsta tirpiaisiais [22]. Sąvoka „kubiniai“ yra kilusi iš seno dažymo metodo, naudojant indigo dažus (8 pav.) ir specialų indą. Kubiniai dažai dažniausiai naudojami dažant medvilnę, liną, viskozę, vilną, šilką ir kartais nailoną [33]. Patys pirmieji kubiniai dažai yra indigo spalvos. Dėl mėlynų džinsų populiarumo indigo vis dar yra vieni iš svarbiausių dažų pasaulyje.

Kubiniai dažai taip pat naudojami nenutrūkstamame dažymo procese, kuris kartais vadinamas pigmento užtepimo procesu. Tokiu būdu gaminami dažai pasižymi dideliu atsparumu išblukimui ir aplinkos poveikiui.



8 pav. Kubinių indigo dažiklių cheminė struktūra.

Džinsinių kelnių perdirbimo būvio ciklo vertinimo procesui, naudoti indigo dažai (C. I. Acid Blue 74), nes ši spalva yra pati populiariausia tarp džinsų gamintojų ir vartotojų – per dieną pasaulyje yra pagaminama apie 800 000 mėlynų džinsų porų [35].

1.7.4.4. Tekstilės pramonėje naudojamų dažų poveikis aplinkai

Tekstilės pramonė išskiria didelius kiekius skystųjų atliekų, kadangi tekstilės dažymo ir apdailos pramonė antra pasaulyje pagal cheminių medžiagų ir švaraus vandens sunaudojimo intensyvumą. Tekstilės industrija, įvairiuose tekstilės gamybos procesuose, įskaitant dažymą ir marginimą, naudoja daugiau nei 8000 skirtingų chemikalų.

Tekstilės apdirbimo procesai reikalauja milžiniškų vandens kiekių, pvz. vidutinio dydžio tekstilės fabrikas, pagamindamas apie 8000 kg audinio per dieną, sunaudoja apie 1,6 milijono litrų vandens (iš kurių 16% vandens sunaudojama dažymo procesui) [21]. Taigi didelis vandens kiekio sunaudojimas, skatina ir didelį nuotekų išleidimą į aplinką. Preliminariai yra paskaičiuota jog per dieną apdorojus apie 12 - 20 tonų tekstilės yra išleidžiama apie 1000 - 3000 m³ nuotekų [14].

Tekstilės nuotekose yra organinių ir neorganinių junginių, nemaži kiekiai dažų likučių, kurie lieka po dažymo procesų. Nustatyta, kad šių nefiksuotų dažų koncentracija tekstilės nuotekose yra didelė, kadangi yra ištirta, kad maždaug 80% dažiklių, dažymo proceso metu, pasisavina audinys, o likę 20% dažiklių tampa nuotekomis [21]. Tekstilės gamybos nuotekose galima aptikti, ne tik dažų ir organinių junginių likučių, bet ir sieros, nitrato, acto rūgšties, pagalbinių chemikalų, formaldehido pagrindu pagamintų dažų surišimo medžiagų ir sunkiųjų metalų (arseno, švino, gyvsidabrio, nikelio, vario ir t.t.). Dėl cheminių medžiagų įvairovės ir didelio toksiškumo, nuotekos turi būti kruopščiai išvalomos, o dažų likučiai pašalinami. Deja, ne visos kenksmingos medžiagos gali būti išvalomos iš nuotekų. Kitos, neigiamą įtaką aplinkai darančios nuotekų savybės yra aukšta nuotekų temperatūra ir pH. Pagrindinė neigiama tekstilės nuotekų įtaka aplinkai yra gėlo vandens telkinių, bei dirvožemio užteršimas. Tai yra didelė aplinkos taršos problema, kurią reikia nedelsiant spręsti mažinant nuotekų ir vandens sunaudojimo kiekius, bei tikslingai valant susidariusias nuotekas.

Paprastai tekstilės pramonės nuotekos yra valomos trimis etapais - mechaninis nuotekų valymas (sedimentacija, filtracija, koguliacija ir kt.), cheminis nuotekų valymas (neutralizacija, oksidacija, elektrolizė ir kt.) ir biologinis nuotekų valymas (aktyvusis dumblas, anaerobinis valymas, flokuliacija ir kt.) [25]. O šie trys nuotekų valymo etapai yra skirstomi į dar smulkesnius valymo procesus.

Didžiausia neigiama įtaka aplinkai yra dėl indigo dažų gamybos būdo (reikalauja vandens ir cheminių medžiagų, dažų fiksatorių ir tekstilės džiovinimo), bei medvilnės pluošto paruošimo (prieš dažant medvilninius siūlus reikia išvalyti skalbikliais su natrio hidroksidu, taip pašalinant natūralias hidrofobines medžiagas; taip pat pluoštas turi būti balinamas natrio hidroksidu ir vandenilio peroksidu). Šie procesai išskiria didelius kiekius nuotekų ir sukelia vandens užteršimą [25].

Po dažymo audinys plaunamas vandeniu, pašalinant dažų perteklių (vandens tarša spalvotomis nuotekomis) ir išdžiovinamas. Mirkymo vonioje indigo dažai turi būti chemiškai redukuoti, kaip redukcija naudojama vandenilio sulfitas agentas [25].

Taigi pats dažymo procesas indigo dažais sukuria didelę nuotekų taršą taip darydamas neigiamą įtaką aplinkai, nes nuotekos niekada nebūna visiškai išvalomos.

1.7.5. Poliesterio ir medvilnės atskyrimas

Dažniausia džinsinių kelnių audinio sudėtis yra medvilnė, poliesteris, likra ir elastanas. Sintetiniai polimerai, kitaip nei natūralūs, nepūva, o patekę į aplinką nėra lengvai suskaidomi mikroorganizmų [15]. Natūrali medvilnės biodegradacija trunka labai ilgą laiką, todėl tokios atliekos itin greit kaupiasi, nespėdamos suirti. Todėl geriausia išeitis yra tokių medžiagų perdirbimas.

Pastaraisiais metais buvo sukurti keli metodai kaip perdirbti grynos medvilnės ir gryno poliesterio audinius. Šie metodai yra labai pažengę ir beveik pasiekė pramoninį lygį. Tačiau maišyti medvilnės ir poliesterio audiniai yra labai sunkiai perdirbami, nes siekiant atgauti kokybišką medvilnės pluoštą, būtinas pluoštų atskyrimas [19]. Šioje srityje yra atlikti tyrimai, siekiant atskirti šias medžiagas įvairiais būdais.

Vienas tokių būdų yra mechaninis pluoštų atskyrimas, kurio metu tekstilinės atliekos skaidomos ir smulkinamos. Po šio proceso, atgautas pluoštas pasižymi geromis savybėmis, tačiau tokios perdirbtos tekstilės pridėtinė vertė yra žema [19]. Kitas būdas, tai cheminis tekstilinių atliekų perdirbimas, kai vienas iš audinio komponentų (poliesteris arba medvilnė) yra suskaidomas į monomerus ir gali būti panaudojamas, kai tuo tarpu kitas komponentas lieka nepakitęs. Tam naudojami celiuliozės tirpikliai (joniniai tirpalai ar N-metilmorfolino N-oksidas), kurie ją ištirpina ir taip atskiria medvilnės ir poliesterio pluoštus. Nors ir efektyvus, tačiau šis metodas yra brangus, o dėl naudojamų cheminių medžiagų sunkiai pritaikomas pramonėje [19].

Poliesterio ir medvilnės atskyrimui taip pat naudojamas fermentų metodas, kurio pagalba visiškai pašalinama medžiagos celiuliozinė dalis. Deja, šis metodas taip pat nėra plačiai pritaikomas, nes tokioms fermentų reakcijoms reikalingos ypatingos sąlygos, proceso kaina yra didelė, ir nėra išspręsta fermentų atskyrimo, proceso pabaigoje, problema [19].

Dar vienas būdas atskirti poliesterį ir medvilnę, tai etilenglikolio panaudojimas, kurio metu poliesteris suskaidomas į tereftalio rūgštį ir etilenglikolį, o tuo tarpu medvilnė išlieka pluošto pavidalu. Tačiau tokio atskyrimo metu, medvilnės pluošto paviršius pažeidžiamas ir jo mechaninės savybės blogėja [19]. Deja, tokių chemiškai perdirbtų produktų kaina yra labai didelė, o stiprių rūgščių ir organinių tirpalų naudojimas, turi neigiamos ekologinės įtakos.

Bandymai atskiriant medvilnės ir poliesterio pluoštus taip pat yra atlikti ir KTU mokslininkų. Jie eksperimentinių tyrimų metu, naudojo dimetilsulfoksido tirpalą, kuriuo apdorojamas medvilnės ir poliesterio mišinio džinsinės kelnės. Šis procesas, kuris buvo vykdomas specialioje kameroje, leido ištirpinti visas organines medžiagas, poliesterį ir tam tikrą, išlikusią dalį dažų, esančių bandomajame audinyje [40].

Kitas tyrimas, kaip atskirti medvilnę ir poliesterį yra atliktas W. Hou et al. Tai hidroterminis metodas, kurio metu, kaip tirpiklis hidrolizės reakcijoje, naudojamas aukštos temperatūros ir slėgio vanduo. Šio proceso metu, polimerai gali būti degraduojami į monomerus ar žemesnius polimerus, taip išvengiant aplinkos taršos ir įrangos korozijos, kuri atsiranda dėl cheminių reagentų naudojimo. W. Hou et al. tyrimų rezultatai parodė, kad rūgštinės katalizės sąlygomis, medvilnės pluoštas ėmė hidrolizuotis 120 °C, o tuo tarpu poliesteris hidrolizavosi 180 °C [19]. Toks temperatūrų skirtumas hidrolizės metu, leidžia atskirti dvi medžiagas, esančias maišytų pluoštų audinyje.

Taigi šiuo metu egzistuoja nemažai būdų, tiek ekologiškesnių, tiek sudėtingiau pritaikomų pramonėje, kaip būtų galima atskirti du pluoštus – medvilnę ir poliesterį.

Po poliesterio ir medvilnės pluoštų atskyrimo rocesų, atliekamas skalavimas, kurio metu pašalinami poliesterio likučiai ir atgauta medvilnė paruošiama kitam, perdirbimo proceso, etapui.

1.7.6. Atgautos medvilnės balinimas

Natūrali medvilnės pluošto spalva yra gelsva, tačiau medvilnė, kuri naudojama tekstilės pramonėje, yra visiškai baltos spalvos. Todėl medvilnė beveik visada yra balinama.

Intuityviai priimama, kad medvilnės pluošto balinimas nėra aplinkai draugiškas procesas. Tačiau remiantis S. Ross et al. [29] eksperimentiniais tyrimais, prieita išvada, jog medvilnės balinimas, panaudojant natrio hipochloritą arba vandenilio peroksidą, neturėjo tokios didelės neigiamos įtakos aplinkai, palyginus visą medvilnės būvio ciklą. Balinant medvilnės pluoštą, šis atrodo higieniščiau ir patraukliau vartotojui, todėl greičiausiai bus ilgiau naudojamas [29]. Natrio hipochlorito, naudojamo medvilnės balinimo procesuose, privalumai yra nedidelė kaina ir tai, kad cheminės reakcijos vyksta kambario temperatūroje [4].

Natūralu, kad po medvilnės atgavimo proceso, medvilnės balinimo procesas šiek tiek skirsis nuo natūralios medvilnės balinimo. Taip yra todėl, kad atgautos medvilnės pluoštas yra įgavęs tam tikrą atspalvį, dėl anksčiau naudotų dažų, o tai reiškia, kad toks pluoštas jau yra chemiškai paveiktas. Taigi tolimesniai jo balinimui reikės kitokių cheminių medžiagų.

Bandymai balinant atgautos medvilnės pluoštą yra atlikti KTU mokslininkų. Šiame atgautos medvilnės balinimo eksperimente, buvo naudojamas natrio hipochloritas ir praskiesta druskos rūgštis. Taip išbalinta atgauta medvilnė neturėjo jokių išlikusių teršalų pėdsakų ir atgautas pluoštas buvo aukštos kokybės [40]. Deja, nors atgautos medvilnės pluoštas, po tokio balinimo proceso, buvo kokybiškas, vis dėl to, tai nėra aplinkai draugiškas balinimo būdas.

Vis dėl to, natrio hipochloritas yra stiprus oksidatorius ir neigiamai veikia medvilnės pluošto stiprumą, yra nerekomenduojamas naudoti medžiagoms, kurių sudėtyje yra elastano, bei neigiamai veikia aplinką. Balinimo proceso, ekologiškesnė alternatyva, yra enzymų naudojimas. Tam tikri laktazės mišiniai yra efektyviai panaudojami džinsinių gaminių balinimo procesuose [4].

Dar viena, mažiau kenksminga, tačiau labai nauja medvilnės balinimo technologija tai ozo naudojimas. Šiai technologijai reikalingas ne karštas, o šaltas vanduo. Ozonas nuotekos skyla į vandenį ir deguonį [21]. Ozonas yra labai stiprus oksidantas, kuris gali išbalinti medžiagas. Kadangi tai nėra chloruotas reagentas, jis tinkamas norint pakeisti chlorą arba sustiprinti deguonies veikimą.

Po atgauto medvilnės pluošto balinimo proceso, medvilnė skalaujama sieiant pašalinti kenksmingus balinimo priemonių likučius.

2. Tyrimų metodika

Tyrimo metodas – *SimaPro* kompiuterinėje programoje naudojamas *ReCiPe 2016 (Midpoint H ir Endpoint H)*. Šis tyrimo metodas pasirinktas dėl tikslesnio rezultatų pateikimo, bei galimybės palyginti džinsų perdirbimo procesų būvio ciklą su tradicinio medvilnės paruošimo būvio ciklu.

Sistemos ribos - 100% medvilnės ir 80% medvilnės / 20% poliesterio džinsų perdirbimo procesai: skalbimas, dažų šalinimas, skalavimas po dažų šalinimo, poliesterio atskyrimas, skalavimas po poliesterio atskyrimo, atgauto pluošto balinimas, skalavimas po balinimo proceso.

Lyginamajame E. A. Hedman būvio ciklo vertinimo tyrime, sistemos ribos yra visas „*Nudie*“ džinsų gyvavimo ciklas - nuo žaliavų pagaminimo iki atliekų tvarkymo.

2.1. Eksperimentiniam tyrimui naudotos priemonės







Eksperimentiniam džinsų perdirbimo proceso tyrimui buvo naudojami 100% medvilnės ir 80% medvilnės / 20% poliesterio džinsai, žirkklės, laboratorinės svarstyklės, ultragarsinių bangų vonelė, laboratorinės kolbos, tirpalai reikalingi perdirbimo procesui (azoto rūgštis ir dimetilsulfoksidas), distiliuotas vanduo, garų ištraukimo spinta (9 pav.).



9 pav. Eksperimentui naudotos priemonės.

Džinsų perdirbimo procesuose naudojamos cheminės medžiagos, kurios gali būti labai pavojingos žmogaus sveikatai ir gamtai. Todėl buvo sudaryta duomenų apie naudojamas žaliavas ir chemines medžiagas informacinė lentelė (1 lentelė), leidžianti geriau suvokti perdirbimo procese naudojamų medžiagų kenksmingumą. Taip pat ši cheminių medžiagų apžvalga, būvio ciklo vertinimo procese, padės atkreipti dėmesį į svarbiausias poveikio kategorijas, nes nurodytos cheminių medžiagų rizikos frazės nurodo numanomą pavojingumo sritį, pvz.: rizikos frazė jog cheminė medžiaga gali dirginti kvėpavimo takus, nurodo, kad reikia atkreipti dėmesį į poveikio kategoriją susijusią su žmonių sveikata.

1 lentelė. Duomenų apie naudotas žaliavas ir chemines medžiagas informacinė lentelė.

Žaliavos, cheminės medžiagos ar preparato pavadinimas	Cheminės medžiagos ar preparato klasifikavimas ir ženklavimas			
	Kategorija	Pavojaus nuoroda	Rizikos frazės	Utilizavimo metodas
Azoto rūgštis, 60%	Ūmus toksiškumas 3 kategorija	  GHS05 GHS06	H331 Toksiška įkvėpus. H314 Smarkiai nudegina odą ir pažeidžia akis.	Dėl didelio rūgštingumo kelia pavojų vandens ekosistemai. Prieš užterštos medžiagos išpylimą į apdorojimo įrenginius arba vandentakį, ją praskiesti vandeniu, neutralizuoti natrio šarmu arba gesintomis kalkėmis.
Druskos rūgštis tirpalas	Ūmus toksiškumas 3 kategorija	  GHS05 GHS07	H290 Gali ėsdinti metalus. H314 Smarkiai nudegina odą ir pažeidžia akis. H335 Gali dirginti kvėpavimo takus.	Negali neskiestame pavidale arba nenukenksminus patekti į nuotėkas arba į ištekėjimo kanalą. Didesnių kiekių išpylimas į kanalizaciją arba aplinkos vandenis gali įtakoti pH vertės sumažėjimą, kenkiantį vandens organizmams.
Natrio hipochlorito tirpalas	Pavojinga vandens aplinkai, ūmaus poveikio 1 kategorija	  GHS05 GHS09	H290 Gali ėsdinti metalus. H314 Smarkiai nudegina odą ir pažeidžia akis. H335 Gali dirginti kvėpavimo takus. H400 Labai toksiška vandens organizmams.	Išsipylusią priemonę draudžiama išpilti į vietinę ar lietaus kanalizaciją, paviršinius vandens telkinius, gamtinę aplinką. Pavojus vandens aplinkai arba kanalizacijos sistemai.
Dimetilsulfoksido tirpalas	Degus skystis 4 kategorija	-	H316 Nestipriai dirgina odą.	Išsipylusią priemonę draudžiama išpilti į vietinę ar lietaus kanalizaciją, paviršinius vandens telkinius, gamtinę aplinką.

2.2. Eksperimentinio tyrimo eiga

Eksperimentinis tyrimas buvo atliekamas laboratorijoje siekiant surinkti duomenis, reikalingus džinsų perdirbimo procesų būvio ciklo vertinimui ir siekiant įsigilinti į šių procesų eigą. Laboratorijoje buvo atliekami šie džinsų perdirbimo procesai: dažų šalinimas naudojant azoto rūgštį, skalavimas po dažų šalinimo, poliesterio ir medvilnės pluošto atskyrimas bei skalavimas po pluoštų atskyrimo. Laboratorijoje nebuvo atliekamas atgautos medvilnės balinimo procesas.

Perdirbimo procesas pradamas nuo džinsinio audinio sukarpymo žirkklėmis maždaug 1cm x 1cm matmenimis, pašalinant metalinės sagas ir kitą furnitūrą, kuri nėra vertinama BCV procese (11 pav.). Šis žingsnis reikalingas dėl apdorojimo proceso pagreitinimo ir efektyvinimo. Vienam mėginiui reikalingas 50g sukarpytų džinsų kiekis, kuris sudedamas į laboratorinę kolbą (10 pav.).

Laboratorijoje atliktam džinsinių kelnių perdirbimo procesui naudojami eksperimentiniai kiekiai džinsinio audinio ir cheminių medžiagų. Prieš pradėdant perdirbimo procesą, džinsai išskalbiami, naudojant drabužių skalbiklį ir išdžiovinami.



11 pav. Sukarpyti džinsai ~1 cm² dydžio gabalėliais.



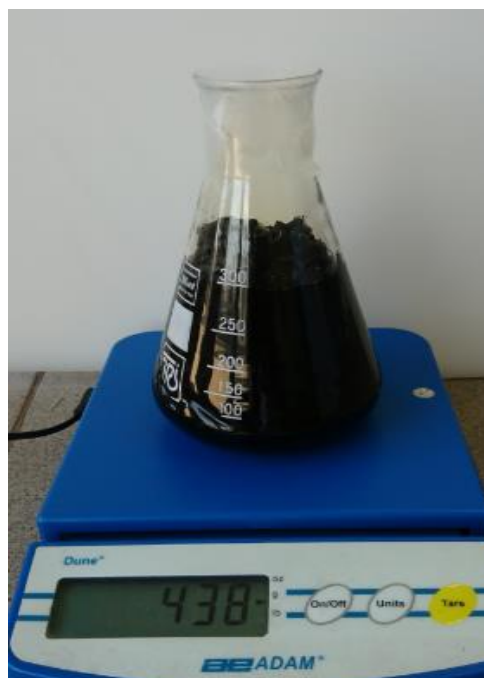
10 pav. Vienam mėginiui reikalingas sukarpytų džinsų kiekis.

Toliau atliekamas dažų šalinimo procesas, kuriam naudojama ultragarsinių bangų vonelė. Džinsų gabalėliai, esantys laboratorinėje kolboje užpilami azoto rūgšties tirpalu, kurio koncentracija <68,4%. Ši koncentracija yra maksimali koncentracija, kuri nepažeidžia medvilnės pluošto, tačiau efektyviai pašalina dažus iš audinio [11] (13 pav.). Azoto rūgšties tirpalo kiekis turi būti toks, kad visiškai apsemtų džinsų gabalėlius, esančius kolboje. Tuomet kolbos viršus užklijuojamas specialia plastikine plėvele ir kolba perkeliama į ultragarsinių bangų vonelę, pripildytą distiliuoto vandens ir esančią garų ištraukimo spintoje.

Mėgintuvėlis su paruoštu mėginiu įdedamas į ultragarsinių bangų vonelę 30min. Šiam eksperimentui naudojome ultragarsinių bangų vonelę EMAG EMMI 30HC (12 pav.). Vonelė įkaitinta iki 75°C, jos efektyvumas 75%.



12 pav. Ultragarsinių bangų vonelė EMAG EMMI 30HC.



13 pav. Sukarpytų džinsų gabalėliai užpilami HNO_3 tirpalu.

Proceso atlikimas ultragarsinėje vonelėje yra paremtas aukšto dažnio garso bangų sukeliama kavitacija. Šis procesas skatina medžiagų tirpimą ir dujų pasišalinimą bei katalizuoja chemines reakcijas. Taigi šis procesas padeda cheminiams tirpalams greičiau ir efektyviau įsiskverbti į pluoštą ir pašalinti dažus.

Dažų šalinimo proceso metu išsiskiria nuodingos dujos bei sunkieji metalai, tokie kaip chromas, kadmis, švinas, gyvsidabris ar varis (15 pav.). Taigi viso proceso metu ir dar 20 min po proceso, mėginys laikomas garų ištraukimo spintoje, kad pasišalintų kenksmingos dujos.

Tuomet atsiskyrusių dažų ir azoto rūgšties tirpalas nupilamas į talpą kenksmingoms atliekoms, o pluoštas gausiai skalaujamas distiliuotu vandeniu, kol tampa baltos arba rusvos spalvos (14 pav.).



14 pav. Išskalauta medvilnė po dažų šalinimo proceso.



15 pav. Dažų atskyrimo procesas.

Poliesterio ir medvilnės pluošto atskyrimo procesas naudojamas maišytų pluoštų džinsams. Šio proceso metu, medvilnė, iš kurios pašalinti dažai, užpilama dimetilsulfoksido tirpalu, ši kolba užklijuojama specialia, plastikine plėvele ir įdedama į tą pačią ultragarsinių bangų vonelę, su tais pačiais parametrais. Taip tirpalas su medvilne kaitinamas 10 min., kol poliesteris pradeda tirpti ir siūlai atsiskiria vienas nuo kito (16 pav.).

Atsiskyrusio poliesterio tirpalas nupilamas į talpą kenksmingoms atliekoms, o likę medvilnės siūlai gausiai skalaujami distiliuotu vandeniu ir išdžiovinami.



16 pav. Poliesterio ir medvilnės pluoštų atskyrimas.

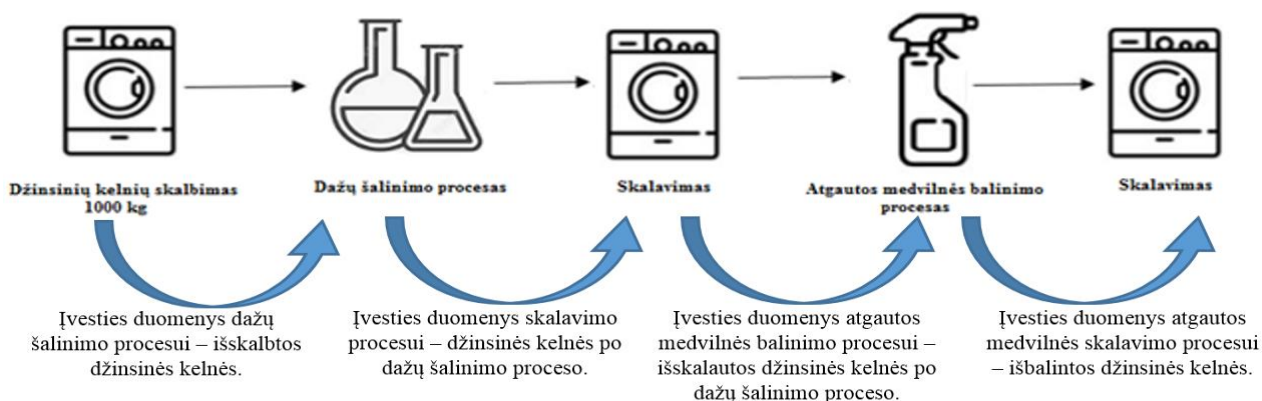
2.3. Duomenų surinkimas ir apdorojimas

Kokybiškų duomenų surinkimas, yra vienas svarbiausių teisingo BCV proceso veiksmų [31]. Todėl tyrimo duomenys buvo surenkami remiantis anksčiau vykdytais KTU mokslininkų tyrimais bei kita, moksliniuose šaltiniuose, rasta informacija. Duomenys susisteminti ir reikiami medžiagų kiekiai kiekvienam procesui apskaičiuoti pasirinkus funkcinį vienetą – 0,72 kg džinsinių kelnų (vidutinė pora džinsų). Toks pat funkcinis vienetas naudojamas ir E. Å. Hedman naujai pagamintų „Nudie“ džinsų būvio ciklo vertinime, su kuriuo bus lyginamas džinsų perdirbimo būvio ciklas.

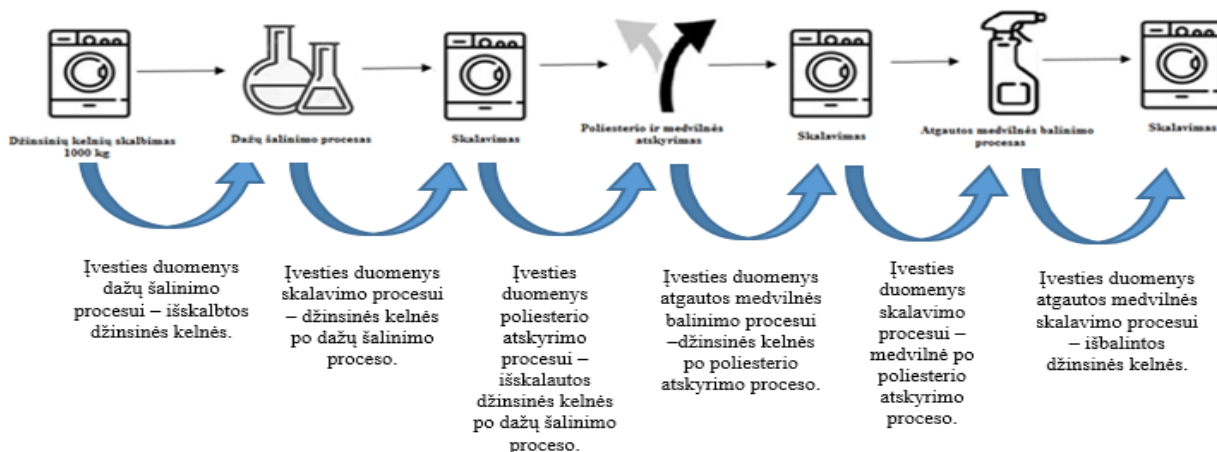
Duomenų apdorojimas vykdomas naudojant būvio ciklo vertinimo programą *SimaPro*. Šioje programoje talpinama didelė duomenų bazė, kuri gali būti efektyviai panaudojama įvairių procesų ir produktų būvio ciklo vertinimui ir interpretavimui.

Pirmas žingsnis atliekant būvio ciklo analizę yra surinktų duomenų suvedimas į programą. Kiekvienas įvesties ir išvesties duomuo turi būti priskirtas prie tam tikros duomenų srities, pvz.: įvesties duomenys iš gamtos ir/arba technosferos (naudojamų medžiagų, elektros ir šilumos energijos kiekiai ir tipai), bei išvesties duomenys (emisijos išskiriamos į orą, vandenį, dirvą ir t.t.).

Į kiekvieną procesą įeina prieš tai buvęs procesas, kaip įvesties duomuo, kadangi visa džinsų perdirbimo analizė vyksta nuosekliai ir vieno proceso išvesties duomenys tampa kito proceso įvesties duomenimis (17 ir 18 pav.):



17 pav. 100% medvilnės džinsų perdirbimo procesų nuoseklumas.



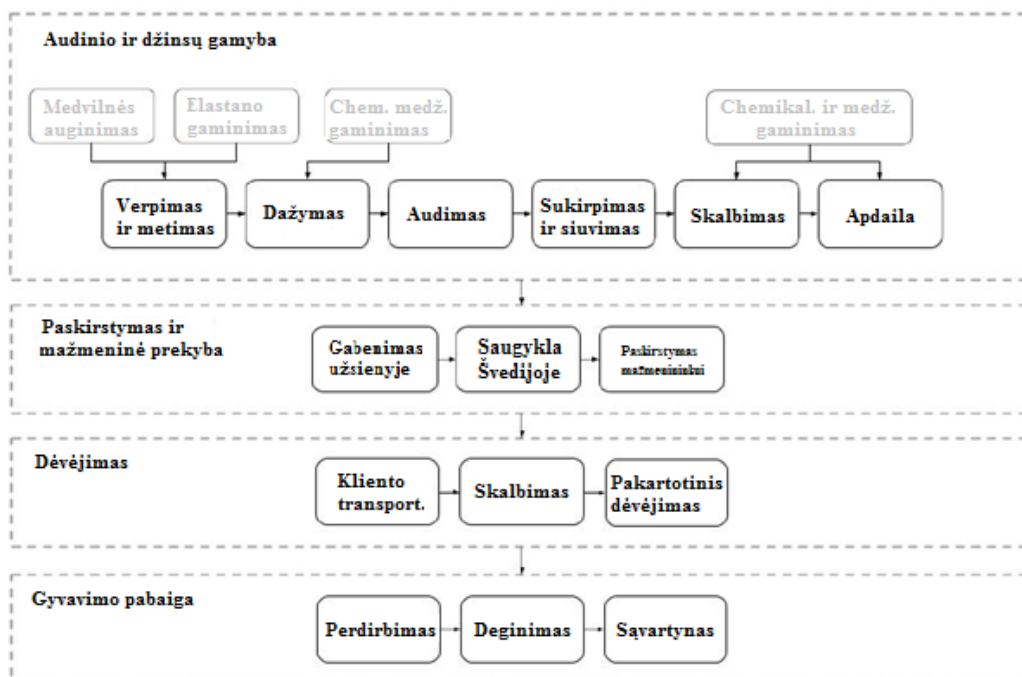
18 pav. 80% medvilnės ir 20% poliesterio džinsų perdirbimo procesų nuoseklumas.

Taip pat išanalizuoti duomenys ir procesai pateikti E. Å. Hedman naujai pagamintų džinsų „Nudie“ būvio ciklo tyrime („Comparative Life Cycle Assessment of Jeans“, 2018) (19 pav.).

Duomenų susistemimas ir tinkamas parinkimas *SimaPro* programoje yra svarbus žingsnis, nes įvairūs duomenys yra skirtingai interpretuojami globaliniu ir regioniniu požiūriu, pvz.: tam tikras aplinkos mechanizmas gali turėti labai didelį poveikį viename regione, bet ne globaliniame kontekste [12]. Taigi parenkant duomenis iš *SimaPro* duomenų bazės, daugiausia buvo atsižvelgiama į globaliniu požiūriu galiojančius duomenis (*GLO*).

2.4. Pasirinktas būvio ciklo vertinimo analizės metodas

Būvio ciklo analizę galima naudoti kiekybinių ir kokybinių rodiklių vertinimui, analizuojant įvairių produktų ar technologinių sistemų poveikį aplinkai [26]. Dauguma būvio ciklo vertinimo metodų konvertuoja pavojingų medžiagų išmetimą ir gamtos išteklių išgavimą į poveikio kategorijų indikatorius tik vidurio taško lygmenyje (*CML*, *EDIP2003*, *TRACI*), o kai kurie būvio ciklo vertinimo metodai naudoja poveikio kategorijas tik galutinio taško lygmenyje (*Eco Indicator 99*, *EPS 2000*, *Eco Scarcity method* ir t.t.). Tačiau yra ir tokių metodų, kurie analizuoja tiek vidurio taško, tiek galutinio taško įtakos kategorijas, pvz.: *LIME*, *RECIPE*, *Impact 2002+* ar *LUCAS*.



19 pav. Naujai gaminamų „Nudie“ džinsų pagaminimo procesų schema [17].

Atliekant BCV pasirinktas metodas yra *ReCiPe 2016 (Midpoint H)*. Šio metodo pasirinkimą lėmė tai, jog norint palyginti skirtingų procesų būvio ciklus, privalo būti pasirenkamas tas pats būvio ciklo vertinimo metodas. Tik tokiu atveju rezultatai nėra iškraipomi ir gali būti interpretuojami. Taip pat analizuojami tiek vidurio taško rodikliai (*Midpoint*), tiek galutinio taško (*Endpoint*) rodikliai.

Remiantis Tarptautinės standartizacijos organizacijos duomenimis (ISO 14040), nesvarbu koks BCV metodas pasirenkamas, bet procesą visada privalo sudaryti keturi etapai [8]:

1. proceso vertinimo aprašymas ir tikslų apibrėžimas;
2. inventorinių duomenų surinkimas ir analizė (proceso metu reikalingos žaliavos, energijos sąnaudos, emisijos ir t.t.);

3. poveikio vertinimo etapas, kuomet inventoriniai duomenys suskirstomi pagal poveikį žmonių sveikatai, ekologinei sistemai, ištekliams;
4. remiantis atlikta duomenų analize, pateikiamos rekomendacijos ir darbo išvados.



20 pav. Vidurio ir galutinių taškų duomenų pasiskirstymo schema [20].

Schematiškas poveikio aplinkai vertinimas (20 pav.), rodo bendrinę medžiagų emisijų modeliavimą. Šis modeliavimas atvaizduojamas per poveikio kategorijas vidurio taškuose ir pereina į žalos darymą aplinkosaugos zonoms galutinio taško kategorijose (žala žmonių sveikatai, poveikis ištekliams, ekosistemų kokybės pažeidimas) [20]. Ši schema leidžia geriau suprasti, vidurio ir galutinio taško kategorijų pasiskirstymą būvio ciklo vertinimo procese. Vidurio taško poveikio kategorija padeda analizuoti ankstyvuosius priežasties-pasekmės grandinės pokyčius, o tuo tarpu galutinio taško (žalos) kategorija, grindžiama vėlesniais aplinkos pokyčiais, kurie išsivysto iš vidurio taškų poveikio kategorijų [12].

2.5. ReCiPe 2016 metodo apžvalga

ReCiPe metodo santrumpa taip pat žymi institutų, kurie buvo pagrindiniai šio metodo bendraautoriai, kuriantys projektą, inicialus: Nacionalinis visuomenės sveikatos ir aplinkos institutas (angl. *RIVM*), Radboud universitetas, Leideno universiteto Mokslo fakulteto institutas (angl. *CML*) ir PRÉ (BCV vertinimo sistema) [12]. *ReCiPe* metodas, vertinant būvio ciklą, naudojamas Europos regionui, tačiau šiame metode galime rasti ir kategorijų, keliančių globalų susirūpinimą, pvz.: klimato kaita [38].

Žemiau pateiktoje schemoje vaizduojama aštuoniolika *ReCiPe 2016* metodo vidurio taško poveikio kategorijų, bei trys galutinio taško poveikio kategorijos (21 pav.). Šioje schemoje aiškiai vaizduojamas ryšys tarp žaliavų, naudojamų produktų gamybos ar tam tikrų procesų vyksmo metu, vidurio taško kategorijų bei galutinio taško kategorijų. Tačiau atliekant būvio ciklo vertinimo procesą, nėra būtina analizuoti ir atsižvelgti į kiekvieną iš šių kategorijų. Remiantis Goedkoop et al. (2009), BCV kategorijų pasirinkimas dažnai priklauso:

1. nuo to, kaip tos kategorijos tiesiogiai atspindi aplinkai svarbius klausimus analizuojamam produktui/procesui (pvz.: tekstilės atliekos nėra įtrauktos į poveikio kategorijas, tačiau reikia įvertinti tai, kad tekstilės atliekų perdirbimo procesai turi įtakos vandens rūgštingumui,

- vandens ekotoksiškumui, vandens eutrofikacijai ir pan., o šie faktoriai įeina į BCV kategorijas);
2. nuo to ar vidurio taško kategorijos tikslingai susijusios su medžiagomis, susidarančiomis ar naudojamomis analizuojamo produkto/proceso gyvavimo ciklo metu;
 3. nuo to ar reikiamų kategorijų indikatorių pasirinkimas tiesiogiai susijęs/ar gali būti susietas su proceso/produkto charakterizavimo modeliu.

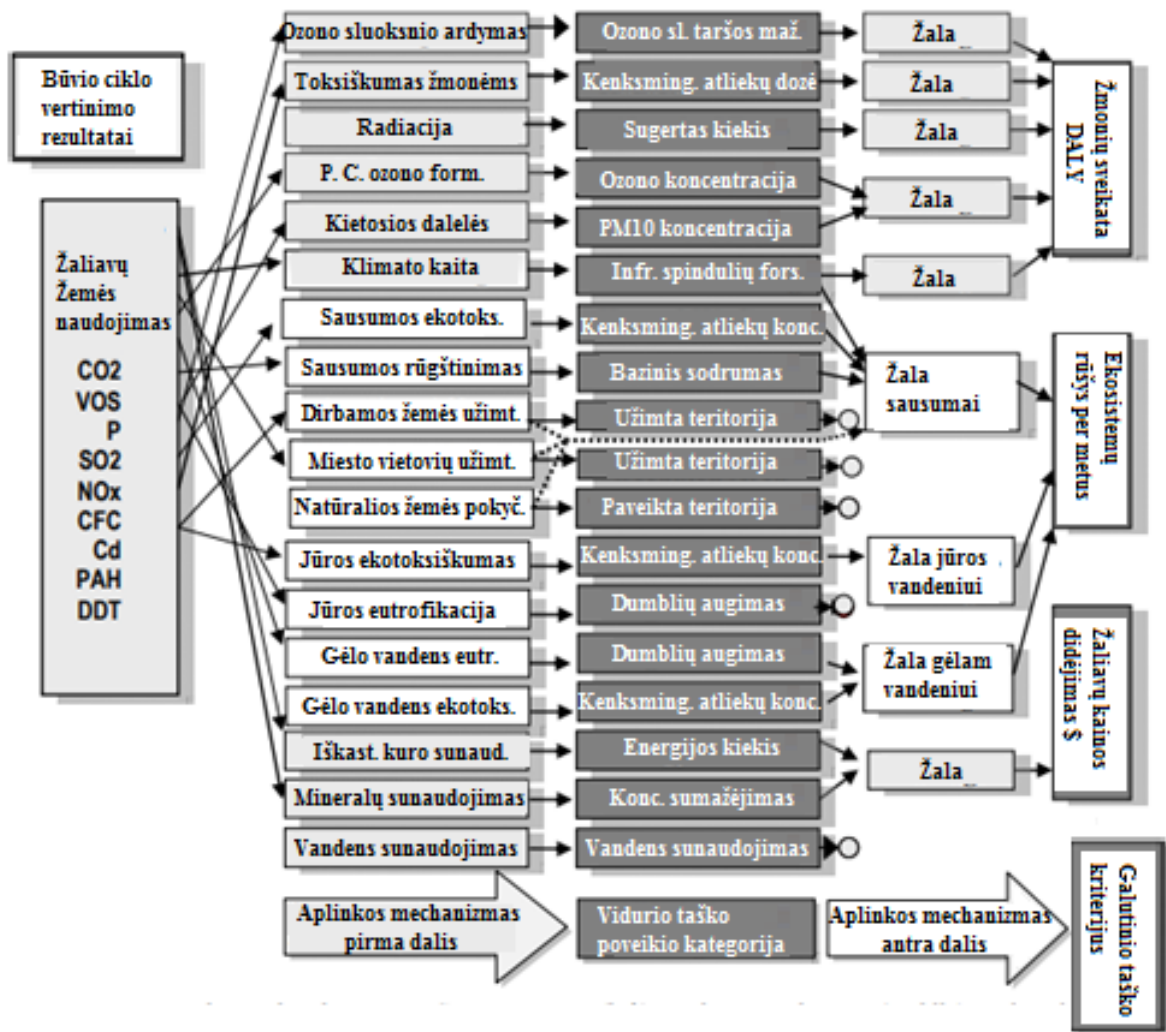
Norint tinkamai sumodeliuoti procesus vidurio taško kategorijose, būtina naudoti tiek poveikio kategorijai priskiriamus indikatorius, tiek charakterizavimo veiksnius, pvz.: klimato kaitos procesas charakterizuojamas globalinio atšilimo potencialu (kg (CO₂ į orą) ir t.t. [12]. Toks charakterizavimo veiksmių apibrėžimas ir matavimo vienetų pasirinkimas turėtų padėti apjungti vidurio taško kategorijas su galutinio taško kategorijomis.

Galutinio taško poveikio kategorija analizuojama paprasčiau, nes čia lieka tik trys svarbiausios poveikio kategorijos - poveikis žmonių sveikatai, poveikis ištekliams ir poveikis ekosistemoms (21 pav.) [5]. Kiekviena iš šių kategorijų yra priskiriamos apsaugos sritims, pvz.: poveikis žmonių sveikatai priskiriamas žmonių sveikatos apsaugos sričiai.

Poveikio žmonių sveikatai matavimo vienetas yra *DALY (disability-adjusted life years)* - pritaikyti neįgalumo gyvenimo metai [5]. *ReCiPe* metode *DALY* matavimo vienetai naudojami, įskaitant prarastus gyvenimo metus ir neįgalius gyvenimo metus, kaip numatytąjį veiksnių siekiant įvertinti žalą, padarytą žmonių sveikatai dydį, žmonių sveikatos apsaugos kontekste [12]. Dažniausiai *DALY* vienetai išreiškia žalą žmonių sveikatai [38].

Poveikio ekosistemoms vertinimas *ReCiPe* metode, apibrėžiamas rūšių lygmenyje [5]. Tai reiškia, kad daroma prielaida jog rūšių įvairovė reprezentuoja ekosistemų kokybę – kuo didesnė įvairovė, tuo mažesnė neigiama įtaka yra padaryta ekosistemoms. Vertinama, kad visos rūšys yra vienodai svarbios [12]. Galutinio taško poveikis ekosistemoms yra apskaičiuojamas pagal formulę, kai potencialiai nykstančių rūšių sumą, padauginama iš rūšių tankio. *ReCiPe* metodas naudoja poveikio ekosistemoms indikatorių išreikštą „prarastos rūšys per metus“ [38].

Remiantis įvairiais šaltiniais, nemaža dalis mokslininkų mano, jog išteklių mažėjimo problema, turėtų būti svarbiausia, visame būvio ciklo vertinime [20]. Į poveikio ištekliams kategoriją patenka tokie ištekliai kaip vanduo, iškastinis kuras, mineralai ir pan.



21 pav. Ryšys tarp žaliavų, naudojamų produktų gamybos ar tam tikrų procesų vyksmo metu, vidurio taško kategorijų bei galutinio taško kategorijų [20].

Poveikio vertinimo proceso metu, pagal ISO 14040 standartą [8], analizuojami penki veiksniai (trys pirmieji yra privalomi, kiti du - pasirenkami):

1. **pasirenkamos** poveikio kategorijos, kurios bus analizuojamos tyrime. Kiekvienai poveikio kategorijai pasirenkamas tinkamiausias rodiklis kartu su aplinkos modeliu, kurį galima naudoti norint apskaičiuoti elementariųjų srautų poveikį tam rodikliui, pvz.: klimato kaita, vandens eutrofikacija ir pan. [16];
2. rezultatų **klasifikavimas** leidžia priskirti kiekvienai aplinkos poveikio kategorijai tinkamus inventorinius duomenis, pvz.: klimato kaitai priskiriamas CO₂;
3. **charakterizavimas** (apibūdinimas) – tai proceso ar produkto (šiuo atveju džinsų perdirbimo proceso) BCV etapas, kai klasifikavimo metu nustatyti inventoriniai duomenys apjungiami per poveikio kategorijas naudojant charakterizavimo rodiklius [2]. Tai leidžia geriau suvokti inventorinių duomenų svarbą ir įtaką įvairioms poveikio kategorijoms [27]. Kelios poveikio aplinkai kategorijos gali turėti tuos pačius charakterizavimo parametrus. Norint kiekybiškai

apjungti charakterizavimo parametrus naudojami apibūdinimo koeficientai, pvz.: klimato kaitai naudojamas apibūdinimo rodiklis yra *kg CO₂ ekv.*, vidurio taško kategorijoje arba *DALY*, galutinio taško kategorijoje [16];

4. rezultatų **normalizavimas** naudojamas siekiant sukurti tokį patį vienetą skirtingoms poveikio kategorijoms. Tai leidžia lengviau pastebėti kokią poveikį atitinkamos kategorijos daro bendrame aplinkosaugos problemų kontekste [26]. Norint nustatyti normalizuotą proceso reikšmę, visų kategorijų poveikio indikatoriai yra išreiškiami suvienodintu matavimo vienetu. Dažniausiai toks vienetas išreiškiamas vidutine metine kiekvieno žmogaus įtaka, kiekvienai poveikio kategorijai (balai bendroje skalėje) [27]. Normalizavimas dažniausiai naudojamas: siekiant parodyti proceso būvio ciklo metu, susidariusių aplinkosaugos problemų mastą; tuomet kai labai skiriasi poveikio kategorijų dydžiai ir kai kurie rezultatai nėra svarbūs bendrame kontekste, todėl gali būti nenagrinėjami [2];
5. **grupavimas ir reitingavimas** leidžia sugrupuoti poveikio kategorijos rodiklius, turinčius panašumų. Reitingavimas sugrupuotai kategorijai, priskiria svertinius koeficientus, kurie kiekvienai poveikio kategorijai suteikia kiekybinę išraišką [16]. Šis kiekybinis apibūdinimas nurodo kokią įtaką, tam tikra poveikio kategorija, turi kitų poveikio kategorijų atžvilgiu [27]. Reitinguojant poveikio kategorijas, jos yra rūšiuojamos mažėjančia reikšmingumo tvarka [26].

3. Tyrimų rezultatai

Atlikto tyrimo metu gauti duomenys interpretuojami remiantis *ISO 14044:2006* standartu [8]. Tokia analizė leidžia kiekybiškai įvertinti ir patikrinti surinktus ir gautus rezultatus.

Šiame skyrelyje identifikuojamos reikšmingos problemos, susijusios su džinsų perdirbimo procesais, analizuojama ir palyginama kiekvieno džinsų perdirbimo proceso įtaka bei įtraukiami tyrimo apribojimai ir rekomendacijos. Duomenys analizuojami tiek pagal vidurio taškų kriterijus, tiek pagal galutinio taško poveikio kriterijus; darbe interpretuojami charakterizuoti (*characterization*) ir normalizuoti (*normalization*) duomenys.

Atsižvelgiant į E. Å. Hedman pasirinktas poveikio kategorijas ir siekiant palyginti džinsų perdirbimo procesų būvio ciklo rezultatus su „*Nudie*“ džinsų audinio ir produkto gaminimo gyvavimo ciklo rezultatais, analizavimui buvo pasirinktos 8 poveikio kategorijos: **klimate kaita, gėlo vandens eutrofikacija, jūros vandens eutrofikacija, žemės rūgštėjimas, dirbamos žemės užėmimas, natūralios žemės pakeitimas, vandens išekvojimas ir iškastinio kuro išekvojimas**. Kitos kategorijos nebuvo įtrauktos, nes neturi tokio reikšmingo poveikio aplinkai susijusio su tekstilės pramone.

3.1. Perdirbimo procesų poveikio skirtingoms kategorijoms rezultatų palyginimas

Kadangi didelis procentas šiuolaikinių džinsų, dėl patvarumo ir patogumo savybių, yra gaminami maišant medvilnės pluoštą su poliesterio pluoštu, tarpusavyje bus palyginami 100% medvilnės ir 80% medvilnės/20% poliesterio pluoštų, džinsų perdirbimo procesų poveikiai aplinkai. Tačiau analizės metu, nebus atsižvelgiama į perdirbimo procesams naudotų džinsų būvio ciklą. Šiame tyrime analizuojamas tik džinsų technologinio perdirbimo proceso poveikis aplinkai. Gauti rezultatai vėliau palyginti su naujai gaminamų „*Nudie*“ džinsų poveikiu aplinkai. Atlikta procesų analizė ir nustatyta, kurie džinsų perdirbimo procesai turi didžiausią ir mažiausią neigiamą poveikį aplinkai ir kodėl.

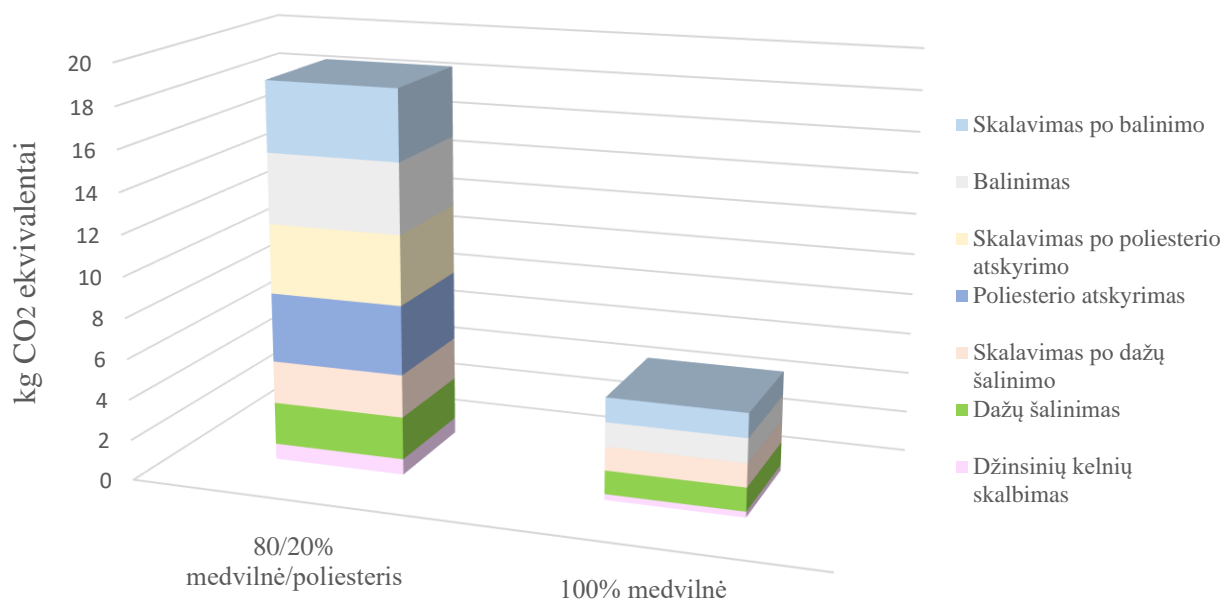
3.1.1. Klimato kaita

Palyginus visus džinsų perdirbimo procesų etapus, matyti jog didesnę poveikį klimato kaitai daro maišytų pluoštų džinsų perdirbimo procesai. Pagal gautus rezultatus matyti, kad poveikio klimato kaitai skirtumas tarp 100% medvilnės ir 80% medvilnės ir 20% poliesterio džinsų, išauga daugiau nei du kartus ir toliau kyla, nuo pat pirmojo perdirbimo proceso etapo – skalbimo. Tokį rezultatą lemia tai, jog poliesterio pluoštas yra neatsinaujinančių išteklių – naftos – produktas. Naftos produktai turi milžinišką poveikį klimato kaitos procesams, nes tiek jų išgavimo, tiek apdorojimo metu išskiriami dideli kiekiai šiltnamio efektą skatinančių CO₂ emisijų [37].

Poliesterio atskyrimas yra reikliausias elektros ir šilumos energijai iš visų analizuojamų džinsų perdirbimo procesų (2 priedas), todėl reikėtų paminėti, kad skalavimo po poliesterio atskyrimo, balinimo ir skalavimo po balinimo procesai, neturi turėti tokio didelio indėlio į klimato kaitą, nors modeliavimo rezultatai rodo kitaip.

Reikėtų atsižvelgti į tai, jog kiekvienas perdirbimo procesas yra susijęs vienas su kitu (vieno proceso išvesties duomenys yra kito proceso įvesties duomenys). Taigi šių trijų perdirbimo procesų rezultatai gerokai išauga, nes į poveikio rezultatus įtraukiamas ir prieš tai buvęs poliesterio atskyrimo procesas.

Tačiau pasigilinus į įvesties/išvesties duomenų lentelę (1 ir 2 priedai), galima matyti jog, skalavimo ir balinimo procesai reikalauja daug mažiau elektros ir šilumos energijos, todėl jų poveikis klimato kaitai turėtų būti mažesnis.



22 pav. Džinsų perdirbimo procesų poveikis klimato kaitai išreikštas kg CO₂ ekv.

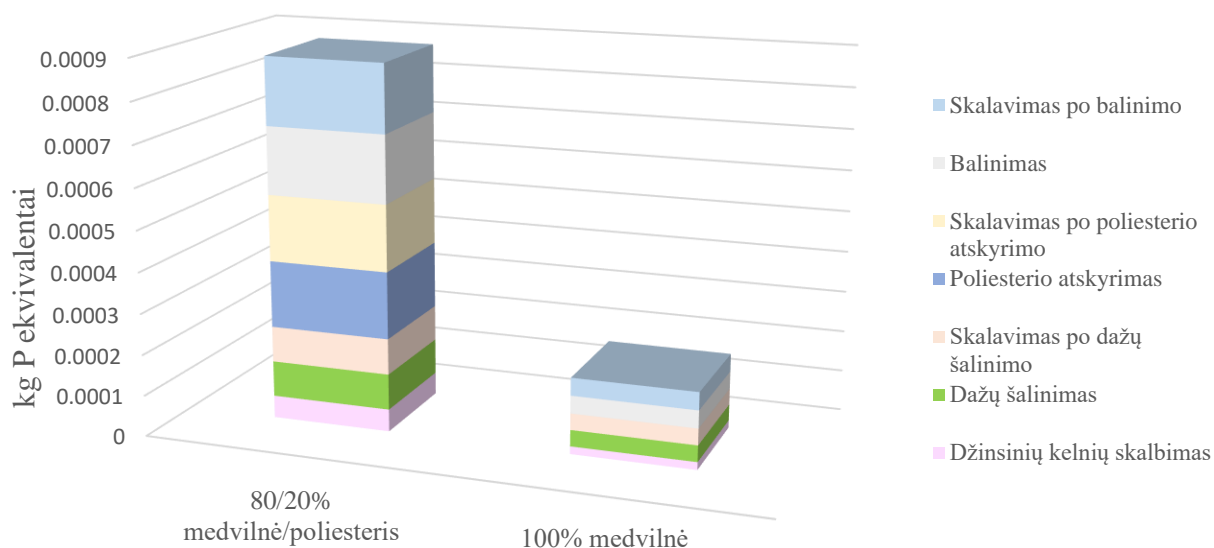
2 lentelė. Poveikis aplinkai pagal perdirbimo procesus (klimato kaita).

Klimato kaita kg CO ₂ ekv.	Džinsinių kelnių skalbimas	Dažų šalinimas	Skalavimas po dažų šalinimo	Poliesterio atskyrimas	Skalavimas po poliesterio	Balinimas	Skalavimas po balinimo	Viso
80% medvilnė/ 20% poliesteris	0,7717	2,0993	2,1008	3,4062	3,4169	3,4504	3,4521	18,70
100% medvilnė	0,2818	1,1597	1,1612	-	-	1,1938	1,1948	4,99

Poveikio klimato kaitai pakilimas matosi ir 100% medvilnės džinsų perdirbimo procese. Taip yra todėl, kad klimato kaitos faktorius yra labai įtakojamas šilumos ir elektros energijos kiekių, jų šaltinių, transportavimo tipų, bei į atmosferą išskiriamų cheminių dujų, perdirbimo procesų metu. Todėl didėjant energijos ir šilumos sąnaudoms perdirbimo procesų metu, didėja ir išskiriamų CO₂ emisijų kiekiai, didinantys poveikį klimato kaitai [41]. Vis dėl to, poveikio klimato kaitai skirtumas tarp šių dviejų sudėčių džinsų perdirbimo procesų yra daugiau nei trys kartai. Tai daug pasako apie naftos produktų naudojimo žalą tekstilės gaminiuose.

Klimato kaita susijusi ir su toliau analizuojamais vandens eutrofikacijos reiškiniais, nes klimato temperatūros kilimas, didina ir vandens telkinių temperatūrą, o tai padeda greičiau augti dumbliams, kurie yra pagrindinė vandens eutrofikacijos priežastis [41].

3.1.2. Gėlo vandens eutrofikacija



23 pav. Džinsų perdirbimo procesų poveikis gėlo vandens eutrofikacijai išreikštas kg P ekv.

3 lentelė. Poveikis aplinkai pagal perdirbimo procesus (gėlo vandens eutrofikacija).

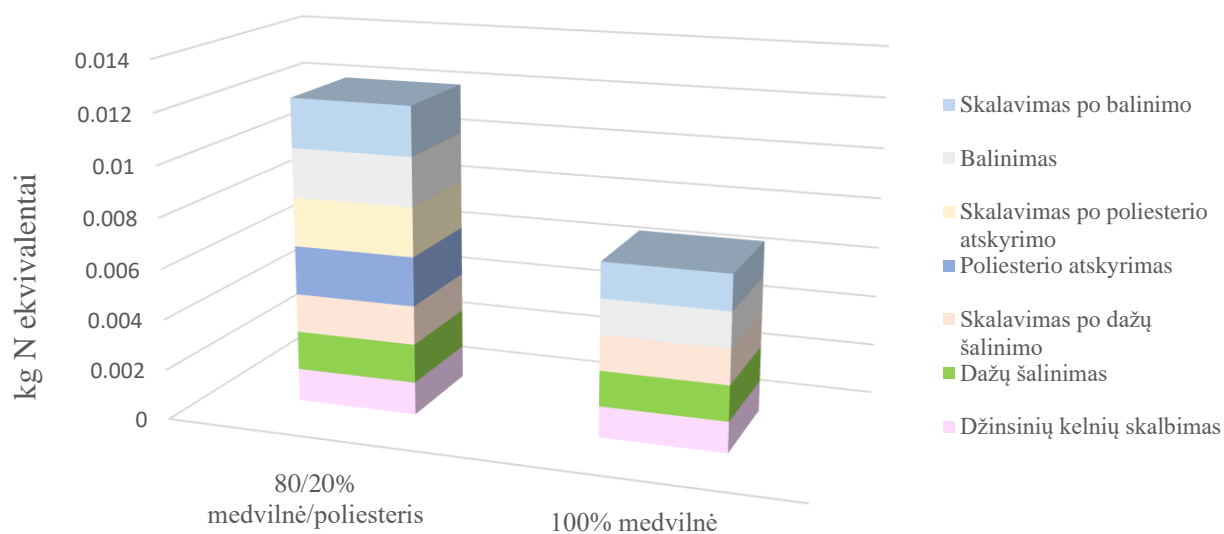
Gėlo vandens eutrofikacija kg P ekv.	Džinsinių kelnų skalbimas	Dažų šalinimas	Skalavimas po dažų šalinimo	Poliesterio atskyrimas	Skalavimas po poliesterio	Balinimas	Skalavimas po balinimo	Viso
80% medvilnė/20% poliesteris	0,000054	0,000087	0,000087	0,000163	0,000162	0,000165	0,000165	0,00088
100% medvilnė	0,000019	0,000040	0,000040	-	-	0,000043	0,000043	0,00018

Vandens eutrofikacija – tai toks ekosistemos kitimas, kai ženkliai padaugėja tirpių azoto ir fosforo junginių. Šis procesas mažina deguonies kiekį vandenyje, todėl vandenyje pradeda vešėti augalai, tačiau nyksta gyvūnai. Gėlo vandens eutrofikacijai didesnę poveikį daro fosforo kiekis.

Iš rezultatų matyti (lentelė 3), jog maišytų pluoštų džinsų perdirbimo procesai turi ženkliai didesnę poveikį gėlo vandens eutrofikacijai, jau nuo pat skalbimo proceso. Tai įtakoja faktas, jog skalbiant poliesterio pluošto turintį gaminį, į vandenį išskiriama daugybė mikroplastiko dalelių, kurių įprasti nuotekų valymo įrenginiai negali išvalyti. Taigi šios dalelės patenka į gėlo vandens telkinius, kaupiasi dugne esančiame dumble ir taip skatina dumblių augimą [41]. Taip pat, reikėtų paminėti, jog maišytų pluoštų džinsų perdirbimo procesai reikalauja papildomų cheminių medžiagų naudojimo, atskiriant poliesterio pluoštą bei papildomo skalavimo proceso, kurio metu taip pat dideli kiekiai mikroplastiko dalelių patenka į nuotekas.

Tuo tarpu 100% medvilnės perdirbimo procesai turi beveik penkis kartus mažesnę poveikį gėlo vandens eutrofikacijai. Tai parodo, jog poliesterio perdirbimas yra itin žalingas procesas, sukkeliantis didelį gėlo vandens eutrofikacijos pavojų, kuris lemia vandens gyvūnijos nykimą [41]. Vis dėl to, dažų šalinimo procesas turi 100% medvilnės perdirbimo procese turi didelį poveikį, nes dažų šalinimo metu išsiskiriantys sunkieji metalai, patekę į nuotekas, taip pat ženkliai prisideda prie vandens taršos ir eutrofikacijos procesų.

3.1.3. Jūrinio vandens eutrofikacija



24 pav. Džinsų perdirbimo procesų poveikis jūrinio vandens eutrofikacijai, išreikštas kg N ekv.

4 lentelė. Poveikis aplinkai pagal perdirbimo procesus (jūrinio vandens eutrofikacija).

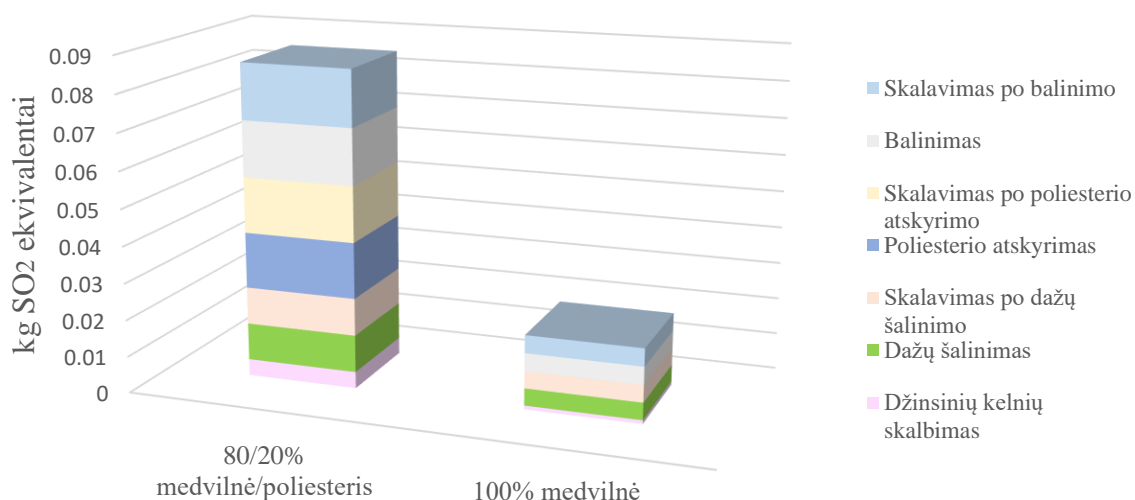
Jūrinio vandens eutrofikacija kg N ekv.	Džinsinių kelnų skalbimas	Dažų šalinimas	Sklavimas po dažų šalinimo	Poliesterio atskyrimas	Sklavimas po poliesterio atskyrimo	Balinimas	Sklavimas po balinimo	Viso
80% medvilnė/20% poliesteris	0,00129	0,00154	0,00154	0,00194	0,00195	0,00195	0,00195	0,01216
100% medvilnė	0,00123	0,00140	0,00140	-	-	0,00141	0,00141	0,00684

Jūrinio vandens eutrofikacijos procesui, didesnę poveikį turi azoto junginiai. Skirtumas tarp gėlo ir jūrinio vandens eutrofikacijos verčių yra ženklus (4 lentelė), nes perdirbimo procesų metu, išskiriami skirtingi kiekiai gėlo ir jūrinio vandens eutrofikaciją skatinančių medžiagų. Beveik dvigubai didesnę poveikį jūrinio vandens eutrofikacijai dar maišytų pluoštų džinsų perdirbimo procesai.

Didesnė poveikio jūros vandens eutrofikacijai vertė yra poliesterio atskyrimo ir balinimo procesuose. Šių procesų metu į nuotekas išskiriamas nemažas kiekis tokių medžiagų kaip dimetilsulfoksidas ir natrio hidroksidas. Šios cheminės medžiagos daro poveikį jūrinio vandens eutrofikacijos procese, nes ilgainiui keičia vandens pH.

Tačiau tarp visų džinsų perdirbimo procesų, tiek 100% medvilnės džinsų, tiek maišytų pluoštų džinsų, nėra labai staigaus rezultatų šuolio (24 pav.). Tai galima paaiškinti tuo, kad kiekviename perdirbimo procese yra naudojamos tam tikros cheminės medžiagos, kurios turi panašų indėlį į vandens eutrofikacijos procesą: skalbimo procese naudojami skalbikliai, turintys fosfatų; dažų šalinimo procese naudojama azoto rūgštis; skalavimo procese po dažų šalinimo, taip pat aptinkama azoto rūgšties likučių; poliesterio atskyrimo ir skalavimo po poliesterio atskyrimo procesuose randamas dimetilsulfoksidas.

3.1.4. Žemės rūgštėjimas



25 pav. Džinsų perdirbimo procesų poveikis žemės rūgštėjimui, išreikštas kg SO₂ ekv.

5 lentelė. Poveikis aplinkai pagal perdirbimo procesus (žemės rūgštėjimas).

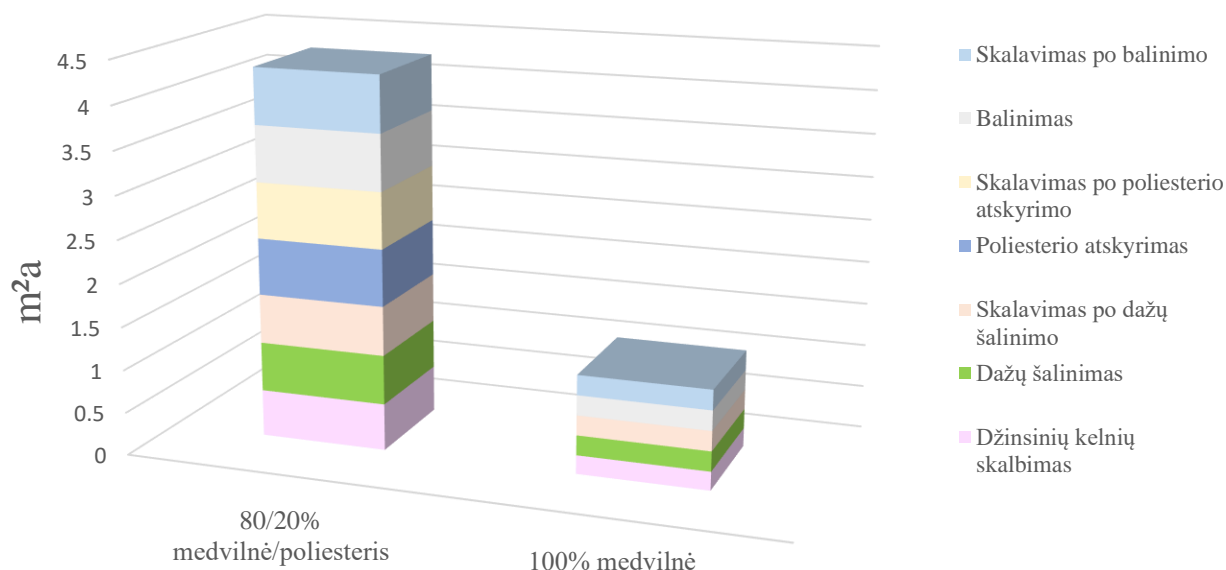
Žemės rūgštėjimas kg SO ₂ ekv.	Džinsinių kelnų skalbimas	Dažų šalinimas	Skalavimas po dažų šalinimo	Poliesterio atskyrimas	Skalavimas po poliesterio atskyrimo	Balinimas	Skalavimas po balinimo	Viso
80% medvilnė/ 20% poliesteris	0,00452	0,01016	0,01016	0,01522	0,01520	0,01536	0,01536	0,086
100% medvilnė	0,00100	0,00469	0,00470	-	-	0,00485	0,00486	0,020

Žemės rūgštėjimo procesą daugiausia įtakoja rūgštinančių medžiagų patekimas į aplinką, pvz.: sulfatų, nitratų ir fosfatų [17]. Negana to, aplinką rūgštinančios medžiagos išsiskiria ir energijos gaminimo procesų metu, kuomet deginami naftos produktai, anglis ar gamtinės dujos. Tad vienoks ar kitoks rūgštėjimo procesas bet kokio produkto gamybos procese yra neišvengiamas.

Iš gautų rezultatų matyti, jog didesnę poveikį žemės rūgštėjimo procesui daro maišytų pluoštų džinsų perdirbimo procesai. Tokį rezultatą lemia poliesterio pluošto atskyrimo procese naudojamas dimetilsulfoksidas, kuris yra organinės sieros junginys. Šios cheminės medžiagos naudojimas ir išskyrimas į aplinką, smarkiai padidina poveikio skirtumą tarp šių dviejų skirtingų sudėčių džinsų perdirbimo procesų (25 pav.).

Džinsų perdirbimo metu, daugelyje procesų yra naudojamos rūgštinės medžiagos, kurios padeda atskirti pluoštus ir dažus. Matomas didžiausias poveikis balinimo procese abiejų sudėčių džinsų perdirbimo procesuose, nes juose naudojama vandenilio hidroksido rūgštis, kuri skystoje nuotekų formoje ar garuodama į atmosferą, skatina žemės rūgštėjimą. Taip pat iš lentelės duomenų (5 lentelė) matyti, jog staigus verčių padidėjimo šuolis atsiranda dažų šalinimo procese, taip pat abiejų sudėčių džinsų perdirbimo procesuose. Dažų šalinimo procesas yra chemiškai vienas kenksmingesnių procesų, nes jo metu išsiskiria įvairūs sunkieji metalai ir įvairios rūgštinės medžiagos, naudotos tekstilės dažymo procesuose, pvz.: natrio hidrosulfitas, natrio hidroksidas ir pan.

3.1.5. Dirbamos žemės užimtumas



26 pav. Džinsų perdirbimo procesų poveikis dirbamos žemės užimtumui, išreikštas m²a.

6 lentelė. Poveikis aplinkai pagal perdirbimo procesus (dirbamos žemės užimtumas).

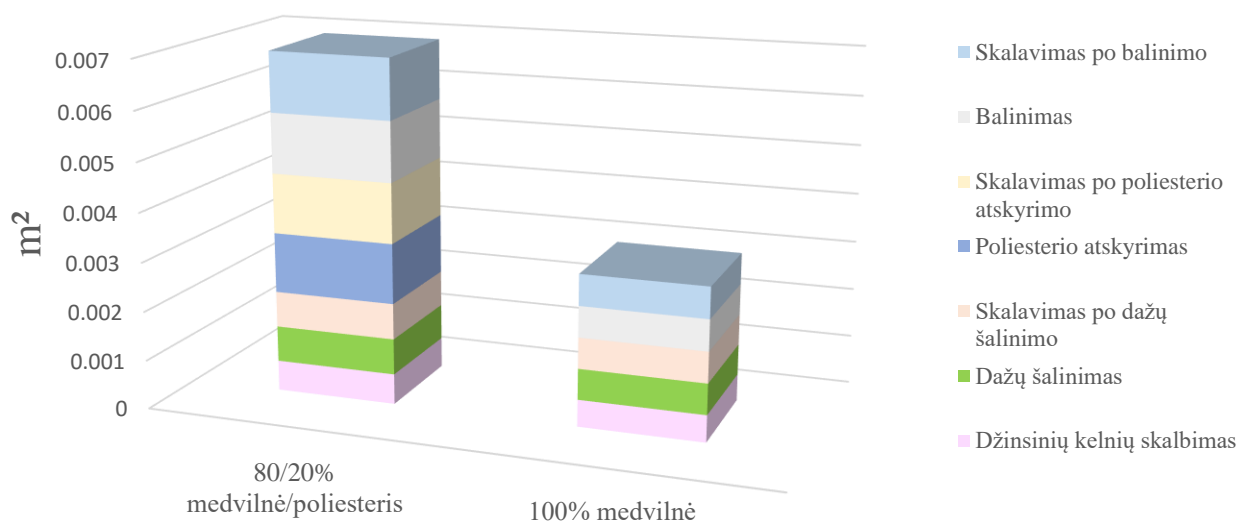
Dirbamos žemės užimtumas m ² a	Džinsinių kelnų skalbimas	Dažų šalinimas	Sklavimas po dažų šalinimo	Poliesterio atskyrimas	Sklavimas po poliesterio atskyrimo	Balinimas	Sklavimas po balinimo	Viso
80% medvilnė/20% poliesteris	0,5435	0,5733	0,5734	0,6599	0,6530	0,6544	0,6544	4,312
100% medvilnė	0,2166	0,2310	0,2311	-	-	0,2324	0,2324	1,144

Dirbamos žemės poveikio kategorija padeda interpretuoti, kokią žalą tam tikros žemės užėmimas turi ekosistemoms. Ši poveikio kategorija žymi tam tikrą plotą, kuris naudojamas tiek išgaunant žaliavas, tiek gamybos proceso metu [13].

Lyginant tarpusavyje džinsų perdirbimo procesus, matyti jog džinsų skalbimo procesas, santykinai turi gana didelį poveikį dirbamos žemės užimtumui (lentelė 6). Tai gali įtakoti naudojamų skalbiklių sudėtis, nes juose dažnai būna palmių, sojų ir kitų aliejų, kurie neigiamai veikia dirbamos žemės plotus ir ekosistemas [17]. Kadangi džinsų perdirbimo procesai yra priklausomi vienas nuo kito, taigi skalbimo procesas daro poveikį ir visiems kitiems perdirbimo proceso etapams. Tuo tarpu kiti perdirbimo procesų etapai įneša papildomą poveikį dirbamos žemės užimtumui, nes vertinamas ir kiekvienai cheminei medžiagai pagaminti reikalingas žemės plotas.

Šioje kategorijoje, poliesterio pluošto turinčių džinsų perdirbimo procesų poveikis aplinkai vėl yra didesnis, nei 100% medvilnės džinsų perdirbimo procesų. Skirtumas labai ženklus – net keturis kartus didesnis poveikis žemės užimtumui. Pagrindinis tokio skirtumo faktorius, tai jog poliesteris yra naftos produktas, o naftos išgavimo ir naftos apdorojimo produktų gamybai procesai ilgam laikui užteršia dirvožemį. Todėl maišytų pluoštų džinsų perdirbimo procesai turi tokį didelį neigiamą poveikį.

3.1.6. Natūralios žemės pakeitimas



27 pav. Džinsų perdirbimo procesų poveikis natūralios žemės pakitimams, išreikštas m².

7 lentelė. Poveikis aplinkai pagal perdirbimo procesus (natūralios žemės užėmimas).

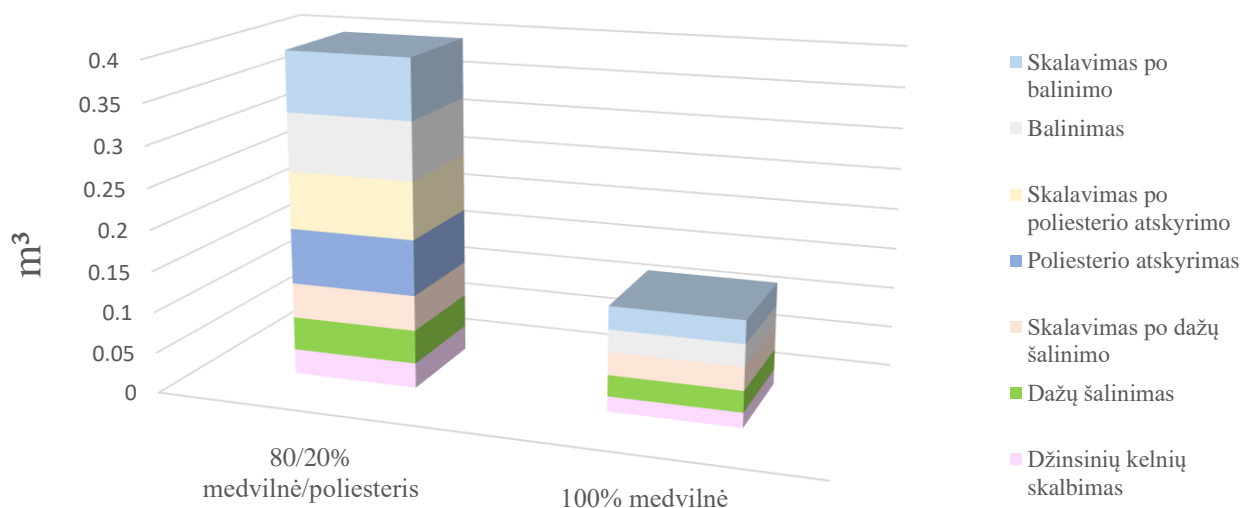
Natūralios žemės pakeitimas m²	Džinsinių kelnų skalbimas	Dažų šalinimas	Sklavimas po dažų šalinimo	Poliesterio atskyrimas	Sklavimas po poliesterio atskyrimo	Balinimas	Sklavimas po balinimo	Viso
80% medvilnė/ 20% poliesteris	0,0006	0,0007	0,0007	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012	0,007
100% medvilnė	0,0005	0,0006	0,0006	-	-	0,0006	0,0006	0,003

Natūralios žemės pakeitimui, dvigubai didesnę poveikį turi maišytų pluoštų džinsų perdirbimo procesai. Rezultatų skirtumas skalbimo procese minimalus, nes atliktame būvio ciklo vertinime buvo parinkti tokie skalbikliai, kurių sudėtyje galimi didesni kiekiai palmių ar sojos aliejų. Būtent dėl šių dviejų komponentų atsiranda didžiulis poveikis natūralios žemės pakeitimui, nes tiek palmių, tiek sojos augalų plantacijos ilgam laikui pakeičia natūralų žemės reljefą ir derlingumą [17].

Ženklių poveikį natūralios žemės pakitimams turi poliesterio atskyrimo procesas. Šis procesas analogiškai, kaip ir dirbamos žemės užėmimo kategorijoje, yra lemiamas naftos išgavimo ir naftos apdorojimo procesų. Šie procesai užteršia žemę ir pakeičia jos savybes.

3.1.7. Vandens išekvojimas

Vandens išteklių išekvojimas yra gana glaudžiai susijęs su klimato kaitos problema, nagrinėta 7.1.1. poskyryje. Šiltėjant klimatui, sparčiau tirpsta ledynai, kuriuose yra sutelkta net 68% gėlo vandens atsargų, o pramonėje naudojamo gėlo vandens poreikio augimas dar labiau mažina išteklius [37]. Todėl vienas iš perdirbimo procesų uždavinių, turėtų būti mažesnis gėlo vandens naudojimo kiekis, nei gaminant naują produktą.



28 pav. Džinsų perdirbimo procesų poveikis vandens išekvojimui išreikštas m³.

8 lentelė. Poveikis aplinkai pagal perdirbimo procesus (vandens išekvojimas).

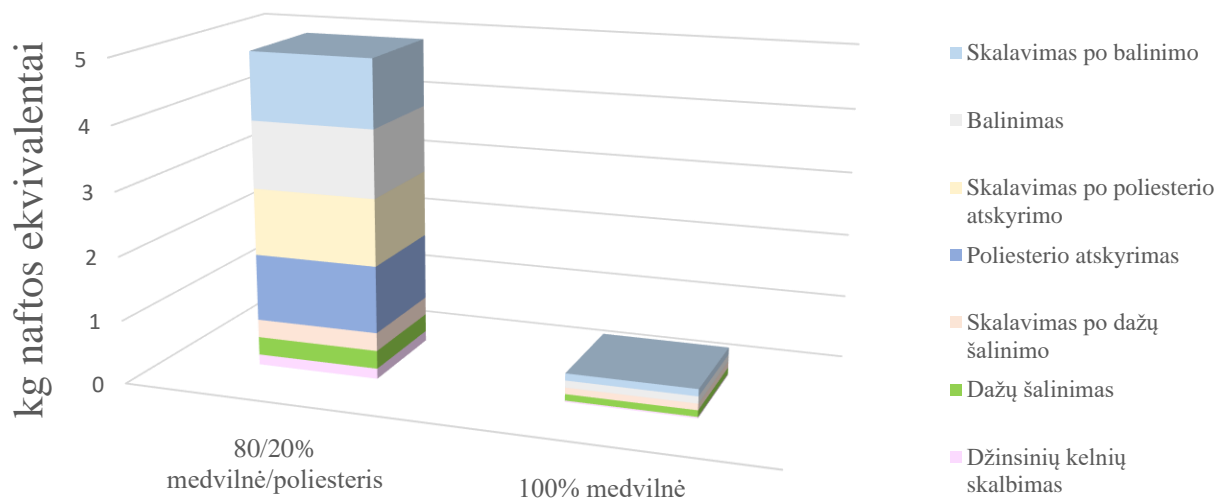
Vandens išekvojimas m ³	Džinsinių kelnų skalbimas	Dažų šalinimas	Skalavimas po dažų šalinimo	Poliesterio atskyrimas	Skalavimas po poliesterio atskyrimo	Balinimas	Skalavimas po balinimo	Viso
80% medvilnė/ 20% poliesteris	0,0306	0,0410	0,0432	0,0684	0,0708	0,0716	0,0741	0,400
100% medvilnė	0,0184	0,0260	0,0282	-	-	0,0269	0,0280	0,127

Vis dėl to, kiekviename džinsų perdirbimo procese neišvengiamai naudojamas didesnis ar mažesnis vandens kiekis. Vandens išekvojimo poveikio kategorijoje (8 lentelė) matyti, jog maišytų pluoštų džinsų perdirbimo procesas reikalauja trigubai didesnio vandens kiekio. Taip yra todėl, kad tiek poliesterio atskyrimo procesas, tiek skalavimo po poliesterio atskyrimo procesas reikalauja palyginti nemažų vandens sąnaudų (2 priedas). Analizuojant priimta vertinti, jog procesų metu sunaudojamas vanduo nėra perdirbamas ir pakartotinai panaudojamas.

Taip pat į poveikio vertinamą įtrauktas ir poliesterio gamybos procesas, reikalaujantis nemažo kiekio vandens. Poliesterio gamyba - nuolatinis kaitinimo procesas, kurį nuolat būtina vėsinti vandeniu. Todėl vandens sąnaudos, lyginant su 100% medvilnės perdirbimo procesais, yra ženkliai didesnės (28 pav.).

3.1.8. Iškasenų išekvojimas

Iškasenų (abiotinių išteklių) išekvojimo kategorija apibūdina iškastinio kuro, metalų ir mineralų prieinamumą ateities kartoms [17]. Grafike (29 pav.) ir duomenų lentelėje (9 lentelė) matyti ženklus skirtumas tarp iškasenų išekvojimo rezultatų – daugiau nei dvigubai skiriasi skirtingų pluoštų džinsų perdirbimo procesai. Maišytų pluoštų (80% medvilnės ir 20% poliesterio) džinsų perdirbimo procesai turi didesnę iškasenų išekvojimo potencialą. Ši poveikio kategorija, kaip ir klimato kaitos, yra glaudžiai susijusi su iškastinio kuro – naftos naudojimu.



29 pav. Džinsų perdirbimo procesų poveikis iškasenų išekvojimui išreikštas kg naftos ekv.

9 lentelė. Poveikis aplinkai pagal perdirbimo procesus (iškasenų išekvojimas).

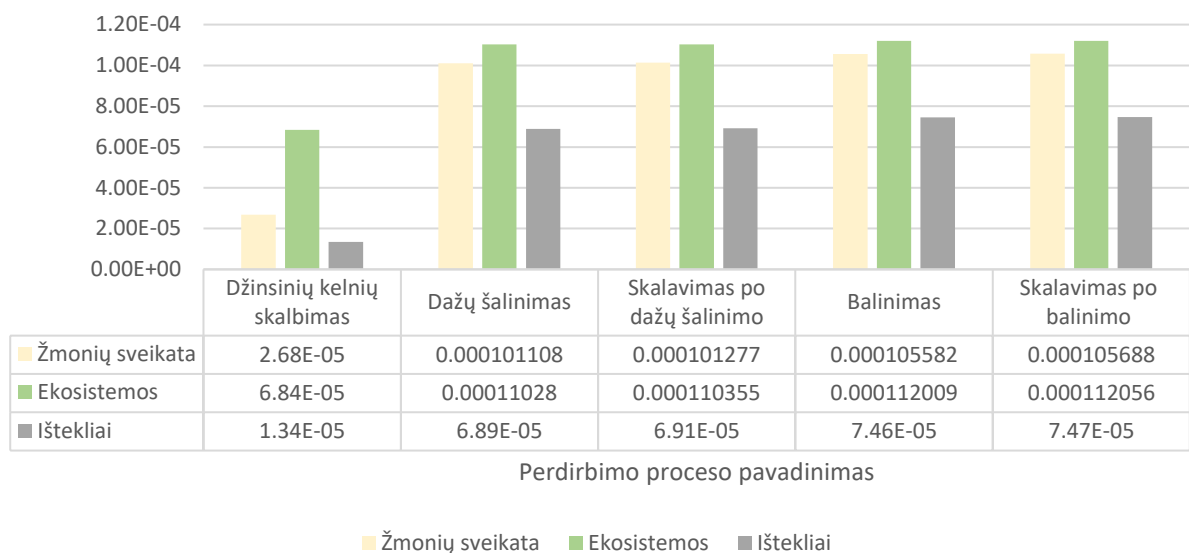
Iškasenų išekvojimas kg naftos ekv.	Džinsinių kelnų skalbimas	Dažų šalinimas	Skalavimas po dažų šalinimo	Poliesterio atskyrimas	Skalavimas po poliesterio atskyrimo	Balinimas	Skalavimas po balinimo	Viso
80% medvilnė/ 20% poliesteris	0,433	0,528	0,529	1,344	1,343	1,352	1,353	6,881
100% medvilnė	0,433	0,528	0,529	-	-	0,538	0,538	2,566

Susumuojant rezultatus galima teigti, jog maišytų pluoštų džinsų perdirbimo procesas reikalauja didesnių kiekių šilumos ir elektros energijos, kurie yra išgaunami naudojant iškastinį kurą. Taip pat, atsižvelgiant į staigų reikšmių padidėjimą poliesterio atskyrimo procese, galima matyti jog poliesteris, esantis naftos produktu, stipriai padidina iškasenų išekvojimo rezultatų reikšmes, nes maišytų pluoštų džinsų perdirbimo procese, poliesteris sudaro net 20% džinsų audinio.

3.2. Normalizuoti galutinio taško poveikio kategorijų rezultatai

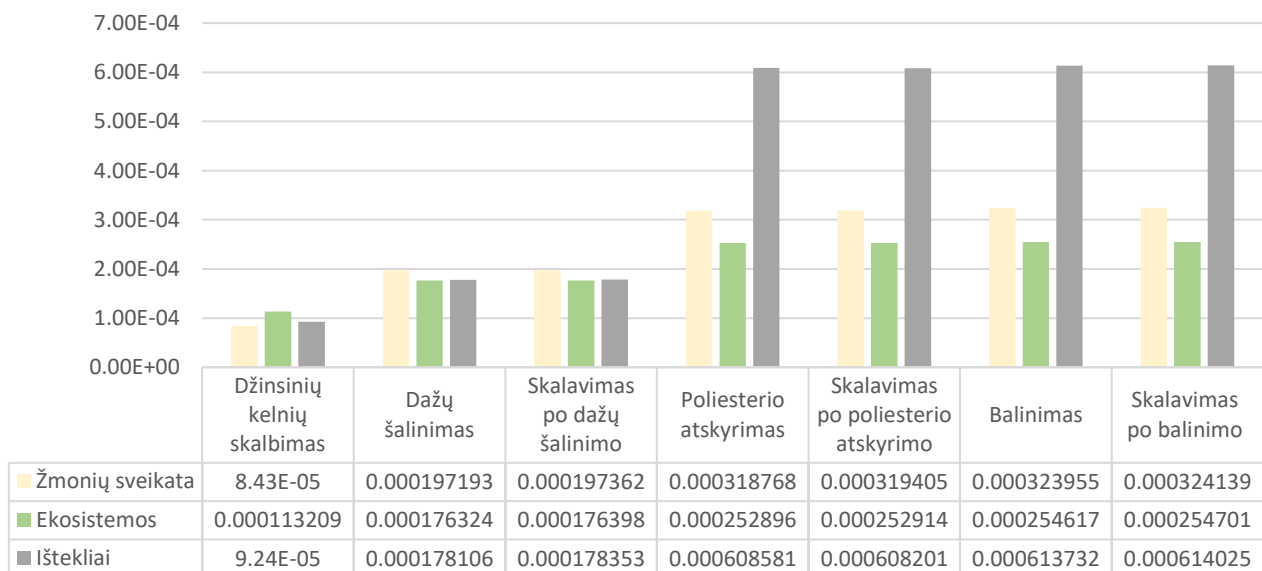
Būvio ciklo modeliavimo metu, daugelis realių rezultatų yra supaprastinami ir kitaip ne visiškai tiksliai apdorjami, todėl BCV kūrėjas turi stengtis duomenis apdoroti ir interpretuoti taip, kad jie būtų kuo arčiau realybės [26]. Taigi, žemiau pateiktuose normalizuotų duomenų grafikuose (30 pav.) pateikiami *ReCiPe 2016* metodo galutinio taško poveikio kategorijų rezultatai 100% medvilnės ir 80% medvilnės/ 20% poliesterio džinsų perdirbimo procesams.

Toks rezultatų apipavidalinimas leidžia lengviau suprasti, apibendrintą anksčiau analizuotų poveikio kategorijų įtaką trimis esminėms kategorijoms – žmonių sveikatai, ekosistemoms ir ištekliais.



30 pav. Galutinio taško normalizuoti rezultatai 100% medvilnės džinsų perdirbimo procesuose.

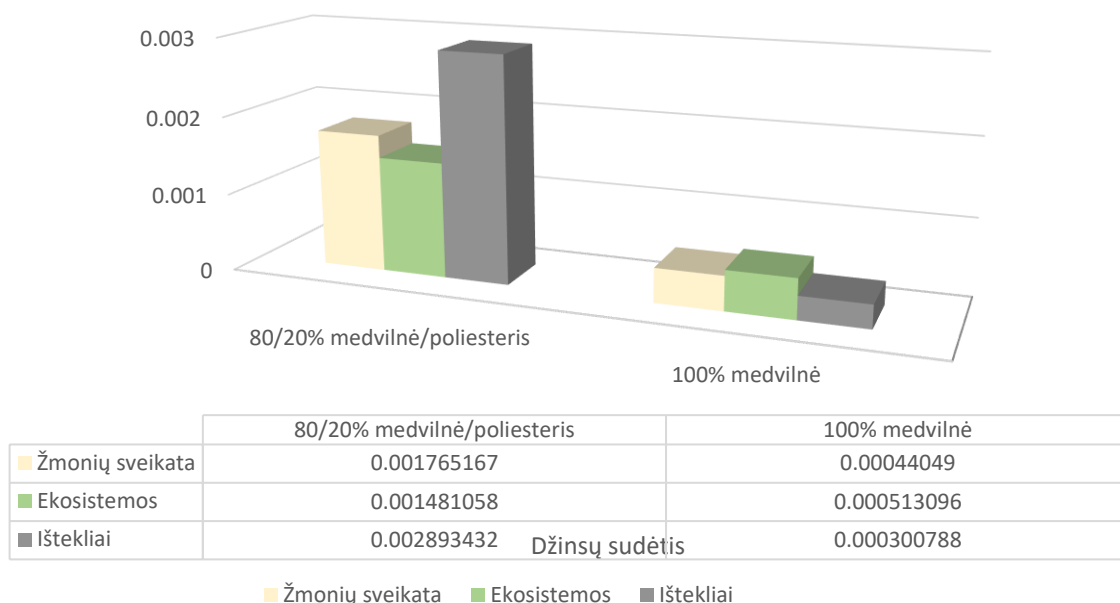
Vidurio taško kategorijų rezultatai yra susisteminti ir priskirti prie tinkamiausios galutinio taško poveikio kategorijos, pagal reikšmingumo dydį. Grafike (31 pav.) matyti 100% medvilnės džinsų perdirbimo procesų rezultatai, galutinio taško poveikio kategorijoms. Šių džinsų perdirbimo procesai didžiausią poveikį daro žmonių sveikatai ir ekosistemoms. Tai lemia kenksmingų cheminių medžiagų naudojimas ir cheminių medžiagų išsiskyrimas perdirbimo procesų metu. Iš grafiko matyti, jog mažiausią poveikį visoms galutinio taško kategorijoms turi džinsų skalbimo procesas, nes jame naudojami mažiausi kiekiai energijos ir cheminių medžiagų



31 pav. Galutinio taško normalizuoti rezultatai 80% medvilnės ir 20% poliesterio džinsų.

80% medvilnės ir 20% poliesterio džinsų perdirbimo procesuose (26 pav.) iš bendro konteksto išsiskiria poveikio ištekliams verčių dydžiai. Tai lemia poliesterio, kaip naftos produkto, kiekis džinsų pluošto sudėtyje. Taip pat poliesterio atskyrimo ir balinimo procesai turi didesnę neigiamą poveikį ne tik ištekliams, bet ir žmonių sveikatai.

Analogiškai pirmajam grafikui (30 pav.), mažiausią neigiamą poveikį visoms trimis kategorijoms daro džinsų skalbimo procesas.



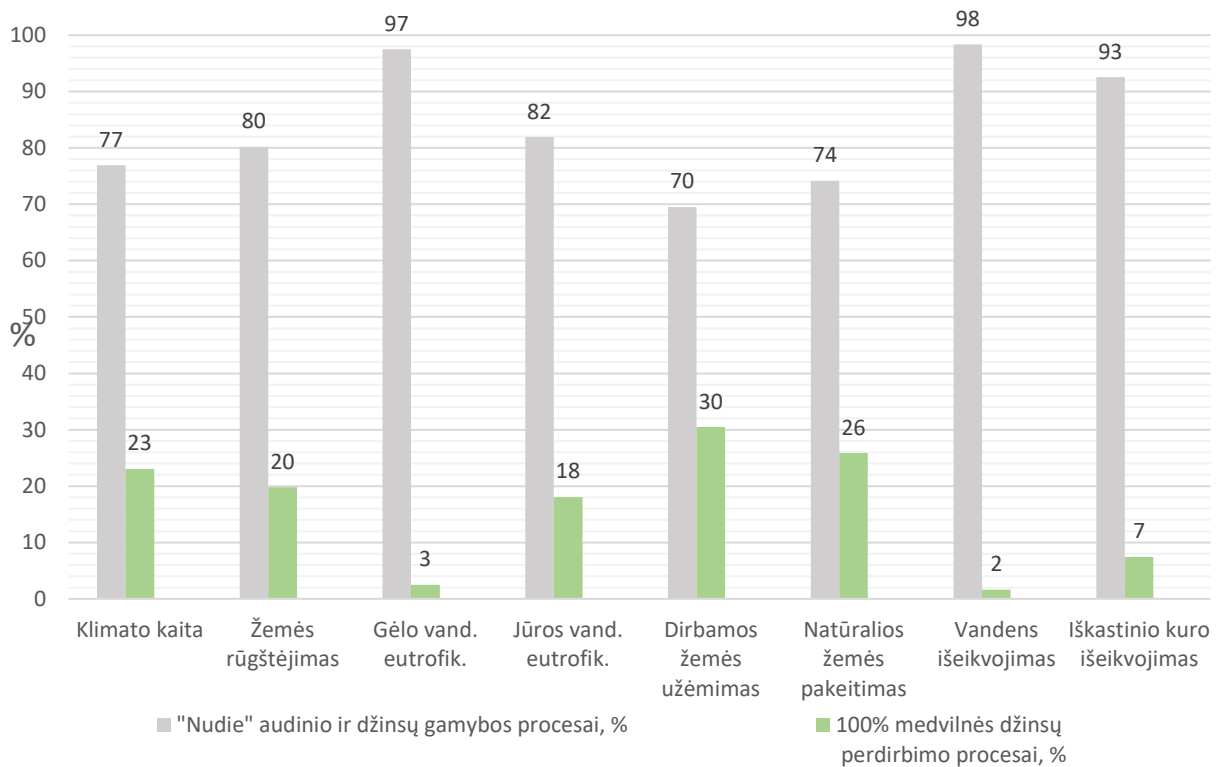
32 pav. Galutinio taško normalizuotų rezultatų palyginimas tarp 80% medvilnės ir 20% poliesterio džinsų perdirbimo procesų.

Grafike (32 pav.) pateikta bendrinė 100% medvilnės ir 80% medvilnės/ 20% poliesterio džinsų, susumuotų perdirbimo procesų rezultatų, poveikio galutinio taško kategorijoms informacija. Grafike akivaizdžiai matyti skirtumas tarp dviejų skirtingų sudėčių džinsų perdirbimo procesų poveikio, galutinio taško kategorijoms. Maišytų pluoštų džinsų perdirbimo procesai visose trijose poveikio kategorijose turi didžiausią reikšmę.

Taigi iš diagramos matyti, kad 4 kartus didesnę neigiamą poveikį žmonių sveikatai, beveik 3 kartus didesnę neigiamą poveikį ekosistemoms, bei net 9,6 kartus didesnę neigiamą poveikį ištekliams, daro maišytų pluoštų džinsų perdirbimo procesai lyginant su 100% medvilnės džinsų perdirbimo procesais.

3.3. 100% medvilnės džinsų perdirbimo procesų palyginimas su „Nudie“ džinsų gamybos procesais

Šioje dalyje palyginami charakterizuoti 100% medvilnės ir 100% medvilnės naujai pagamintų „Nudie“ audinio ir džinsų gamybos procesų, poveikio aplinkai duomenys (33 pav.). Duomenys apie naujai pagamintų „Nudie“ džinsų būvio ciklą naudojami iš E. Å. Hedman BCV tyrimo „Comparative Life Cycle Assessment of Jeans“, 2018. Kadangi šiame Hedman tyrime nebuvo nurodyti galutinio taško normalizuoti duomenų rezultatai, toliau lyginame charakterizuotus vidurio taško duomenis.



33 pav. Charakterizuotų duomenų „Nudie“ džinsų gamybos ir 100% medvilnės džinsų perdirbimo procesų palyginimas.

Susisteminius charakterizuotus duomenis, 100% medvilnės džinsų perdirbimo ir 100% medvilnės „Nudie“ audinio ir džinsų gamybos procesų rezultatai pateikiami grafiniu vaizdavimu. Iš grafiko matyti, kad kiekvienoje poveikio kategorijoje vyrauja naujai gaminamų „Nudie“ džinsų gamybos procesų vertės. Tuo tarpu 100% medvilnės perdirbimo procesai, kiekvienoje poveikio kategorijoje, turi minimalias reikšmes. Taigi toliau lyginsime 100% medvilnės pluoštų džinsų perdirbimo procesus ir „Nudie“ 100% medvilnės audinio ir džinsų gamybos procesus.

1. **Klimato kaitos** procesui 3,3 karto didesnę poveikį turi „Nudie“ džinsų gamybos procesas, nei 100% medvilnės pluošto džinsų perdirbimo procesai, nes „Nudie“ gamybos procesai reikalauja didesnių energijos ir cheminių medžiagų sąnaudų;
2. **Žemės rūgštėjimo** procesui didesnę poveikį taip pat daro „Nudie“ džinsų gamybos procesas, nes jo metu naudojamos cheminės medžiagos, turinčios organinės sieros junginių, labiau veikia žemės rūgštėjimo procesus.
3. **Gėlo ir jūros vandens eutrofikacijai** didesnę poveikį daro „Nudie“ audinio ir džinsų gamybos procesai (gėlo vandens eutrofikacijai -32,3, jūrinio - 4,4 karto), nei 100% medvilnės pluošto džinsų perdirbimo procesai. Tai įtakoja džinsinio audinio gamybos procesuose naudojami dideli kiekiai cheminių junginių, turinčių fosfatų (skalbikliai, dažikliai, apdailos medžiagos ir t.t.), kurie su nuotekomis lengvai patenka į vandens telkinius. Daugiausia džinsinis pluoštas yra gaminamas Azijos šalyse, kuriose nuotekų užterštumo kiekis nėra griežtai reglamentuojamas. Tai lemia didesnę vandens eutrofikacijos potencialą.
4. **Dirbamos žemės užėmimo**, bei **natūralios žemės pakeitimo** kategorijoje, taip pat didesnę poveikį daro „Nudie“ audinio ir džinsų gamybos procesai. Dirbamos žemės užėmimui 2,3 karto, natūralios žemės pakeitimui – 2,8 karto. Šiuos poveikio skirtumus lemia įvertinamas

naujų džinsų gamybos procesams reikalingas žemės plotas (gamyklų užimami plotai, išteklių naudojami žemės plotai ir t.t.).

5. **Vandens išekvojimo** poveikio kategorijoje „*Nudie*“ audinio ir džinsų gamybos procesai turi net 49 kartus didesnę poveikį nei 100% medvilnės perdirbimo procesai. Naujos poros 100% medvilnės džinsų gamybos procesams reikalingi vandens kiekiai yra milžiniški – apie 2000 litrų. Tuo tarpu analizuotai 100% medvilnės džinsų poros perdirbimo procesams reikia šiek tiek daugiau nei 10 litrų vandens. Taigi todėl poveikio skirtumas yra toks ženklus.
6. **Iškasenų išekvojimo** poveikio kategorijoje, „*Nudie*“ džinsų gamybos procesai, turi 13,3 karto didesnę neigiamą poveikį, nei 100% medvilnės džinsų perdirbimo procesai.

3.4. Rekomendacijos

Remiantis tyrimo metu gautais rezultatais, matyti, jog norint palyginti skirtingus būvio ciklus yra būtinas tokios pačios metodologijos ir tokio paties dydžio funkcinio vieneto pasirinkimas. Todėl atliekant panašaus tipo palyginimus, rekomenduojamas lankstumas koreguojant ir konvertuojant jau turimus duomenis, atsižvelgiant į lyginamojo tyrimo metu naudotus duomenis. rezultatų priklauso nuo pasirinkamų duomenų iš *SimaPro* būvio ciklo analizės programos.

Siekiant gauti tikslesnius procesų palyginimų rezultatus, rekomenduotina lyginti 100% medvilnės džinsų perdirbimo procesus su taip pat 100% medvilnės naujai gaminamomis džinsinėmis kelnėmis ir analogiškai lyginti maišytų pluoštų džinsinių kelnių perdirbimo procesus su naujai gaminamų maišytų pluoštų džinsinių kelnių gamybos procesais. Taip pat naudojamo poliesterio kiekis abiejuose lyinamuose procesuose turėtų būti panašus. Tokiu būdu galimi konkretesni rezultatai ir jų interpretavimas.

Taip pat rezultatų analizavimo procesui rekomenduojama pasirinkti tik tas poveikio kategorijas, kurios turi tiesioginį ryšį su lyginamaisiais procesais, tačiau tai nereiškia, kad neanalizuotos kategorijos neturės jokio poveikio aplinkai. Šio tyrimo metu, pagrindinis palyginamojo proceso objektas buvo poveikio aplinkai vertinimas, tačiau platesniame tyrime būtų galima analizuoti ir ekonominį bei socialinį džinsų perdirbimo procesų poveikį.

Išvados

1. Nustatytos būvio ciklo vertinimo analizės ribos – *gate-to-gate* (nuo vartų iki vartų). Tai reiškia, kad tyrime analizuoti 100% medvilnės ir 80% medvilnės/20% poliesterio džinsų perdirbimo technologiniai procesai: skalbimas, dažų šalinimas ir skalavimas, poliesterio atskyrimas ir skalavimas, balinimas ir skalavimas. Taip pat apibrėžtas funkcinis vienetas – viena pora džinsinių kelnų (0,72 kg). Toks funkcinis vienetas pasirinktas dėl galimybės palyginti dviejų sudėčių džinsų perdirbimo procesus su „*Nudie*“ audinio ir džinsų gamybos procesais (taip pat *gate-to-gate*).
2. Parinktas būvio ciklo vertinimo metodas *ReCiPe 2016 (Midpoint ir Endpoint)*. Naudojant šį metodą, įsigilinta į aštuonias, tekstilės perdirbimo procesuose, reikšmingiausias poveikio kategorijas: klimato kaitos, žemės rūgštėjimo, gėlo ir jūros vandens eutrofikacijos, dirbamos žemės užėmimo, natūralios žemės pakeitimo, vandens ir iškasenų išekvojimo. Pagal pasirinktą metodą išanalizuoti skirtingų pluoštų džinsų perdirbimo procesų poveikiai aplinkai.
3. Atlikus dviejų sudėčių, panaudotų džinsinių kelnų perdirbimo procesų būvio ciklo analizę, nustatyta, jog džinsų, turinčių poliesterio, perdirbimo procesai visose aštuoniose poveikio kategorijose turi didesnę neigiamą poveikį aplinkai, nei 100% medvilnės džinsų perdirbimo procesai. Interpretuojant gautus rezultatus, nustatyta, jog mišrios sudėties džinsinių kelnų perdirbimas padidinama neigiamą poveikį žmonių sveikatai 4 kartus, ekosistemoms 3 kartus, o išteklių sunaudojimas išauga 9,6 karto.
4. Palyginus charakterizuotus vidurio taško kategorijos 100% medvilnės džinsų perdirbimo ir tradicinio medvilnės paruošimo „*Nudie*“ audinio ir džinsų gamybos būvio ciklo vertinimo rezultatus, nustatyta, jog 100% medvilnės džinsų perdirbimo procesai turi mažesnę neigiamą poveikį aplinkai vertinant visas 8 poveikio kategorijas: klimato kaitai turi 3,3 karto mažesnę neigiamą poveikį; žemės rūgštėjimui – 4 kartus; gėlo vandens eutrofikacijai – net 32,3 karto; jūrinio vandens eutrofikacijai – 4,5 karto; dirbamos žemės užėmimui – 2,3 karto; natūralios žemės pakeitimui – 2,8 karto; vandens išekvojimui – net 49 kartus; iškasenų išekvojimui – 13,3 karto mažesnę neigiamą poveikį.

Literatūros sąrašas

1. Benkhaya S., El Harfi S., El Harfi A. Classifications, properties and applications of textile dyes: A review, 2017 [žiūrėta 2020-04-18]. Prieiga per internetą: https://www.researchgate.net/publication/323960391_Classifications_properties_and_applications_of_textile_dyes_A_review;
2. Bos H., Meesters K. Sustainability evaluation of high value-added products, 2008 [žiūrėta 2020-04-21]. Prieiga per internetą: 10.13140/RG.2.1.2827.6327;
3. Brüsweiler B. J., Merlot C. Azo dyes in clothing textiles can be cleaved into a series of mutagenic aromatic amines which are not regulated yet, 2017 [žiūrėta 2020-04-22]. Prieiga per internetą: 10.1016/j.yrtph.2017.06.012;
4. Colomera A., Kuilderd H. Biotechnological washing of denim jeans, 2015, Woodhead Publishing Series in Textiles 357-403 [žiūrėta 2020-04-26]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/B978-0-85709-843-6.00012-3>;
5. Description of life cycle impact assessment methods. Supplementary information for tenders“, ESU-services Ltd, 2020;
6. DIRECTIVE 2002/61/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 19 July 2002 [žiūrėta 2020-04-18]. Prieiga per internetą: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32002L0061>;
7. Dreyer L. C., Niemann A. L., Hauschild M. Z. Comparison of three different LCIA methods: EDIP97, CML2001 and Eco-indicator 99. Does it matter which one you choose, 2003, The International Journal of Life Cycle Assessment 8(4):191-200 [žiūrėta 2020-02-08]. Prieiga per internetą: 10.1007/BF02978471;
8. Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines, INTERNATIONAL STANDARD ISO 14044, 2006 [žiūrėta 2020-02-08]. Prieiga per internetą: <https://www.iso.org/standard/38498.html>;
9. Esteve-Turrillas F.A., de la Guardia M. Environmental impact of Recover cotton in textile industry, 2016, vol. 116, 107-115 [žiūrėta 2020-02-08]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.09.034>;
10. Geriausi prieinami gamybos būdai tekstilės pramonėje, Sąvadas parengtas ES GPGB informacinio dokumento tekstilės pramonei, 2003 [žiūrėta 2020-02-28]. Prieiga per internetą: <https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/>;
11. Gert E. V., Socarras Morales A., Zubets O. V., Kaputskii F. N. The features of nitric acid ‘mercerization’ of cellulose, 2000, Cellulose vol. 7, 57–66 [žiūrėta 2020-03-28]. Prieiga per internetą: 10.1023/A:1009206113613;
12. Goedkoop M., Heijungs R., Huijbregts M., De Schryver A., Struijs J., van Zelm R. ReCiPe 2008 A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level, 2009;
13. Hackett T., A Comparative Life Cycle Assessment of Denim Jeans and a Cotton T-Shirt: The Production of Fast Fashion Essential Items From Cradle to Gate, 2015 [žiūrėta 2020-03-28]. Prieiga per internetą: https://uknowledge.uky.edu/mat_etds/9/;
14. Hassaan M. A., El Nem A. Health and Environmental Impacts of Dyes: Mini Review, 2017 [žiūrėta 2020-03-28]. Prieiga per internetą: 10.11648/j.ajese.20170103.11;
15. Haslinger S., Hummel M., Anghelescu-Hakala A., Määttänen M., Sixta H. Upcycling of cotton polyester blended textile waste to new man-made cellulose fibers, 2019, vol. 97, 88-96 [žiūrėta 2020-03-28]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.07.040>;
16. Hauschild M. Z., Rosenbaum R. K., Irving S., Editors O. Life Cycle Assessment Theory and Practice, 2018 [žiūrėta 2020-03-26]. Prieiga per internetą: 10.1007/978-3-319-56475-3;

17. Hedman, E. A. Comparative Life Cycle Assessment of Jeans, 2008 [žiūrėta 2020-03-23]. Prieiga per internetą: <https://kth.diva-portal.org/smash/search.jsf?dswid=-3865>;
18. Herrmann I. T., Moltesen A. Does it matter which Life Cycle Assessment (LCA) tool you choose? - a comparative assessment of SimaPro and GaBi, 2014, vol. 86, 163-169 [žiūrėta 2020-02-28]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.08.004>;
19. Hou W., Ling C., Shi S., Yan Z., Zhang M., Zhang B., Dai J. Separation and Characterization of Waste Cotton/polyester Blend Fabric with Hydrothermal Method, 2017, Fibers Polym 19 742–750 [žiūrėta 2020-02-22]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1007/s12221-018-7735-9>;
20. Ibrahim Menoufi K. A. Life Cycle Analysis and Life Cycle Impact Assessment methodologies: A state of the art, 2011 [žiūrėta 2020-02-20]. Prieiga per internetą: <http://hdl.handle.net/10459.1/45831>;
21. Kant R. Textile dyeing industry an environmental hazard, 2012 [žiūrėta 2020-02-03]. Prieiga per internetą: 10.4236/ns.2012.41004;
22. Klimavičiūtė R., Getautis V. Taikomosios dažų chemijos pagrindai, 2008 [žiūrėta 2020-02-03]. Prieiga per internetą: <https://www.ebooks.ktu.lt/eb/490/taikomosios-dazu-chemijos-pagrindai/>;
23. Lee N., Orwig J. Why most jeans are blue, 2017[žiūrėta 2020-04-20]. Prieiga per internetą: <https://www.businessinsider.com/why-jeans-are-blue-2017-12>;
24. Leitão S. M. Comparative analysis of the Life Cycle Impact Assessment methods in their application to chemical processes, 2016 [žiūrėta 2020-04-20]. Prieiga per internetą: https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/.../Paper_SofiaLeitao_definitivo.pdf;
25. Luiken A., Hogescholen S., Advies A. Blue jeans Environmental aspects and opportunities to reduce the environmental impact, 2017 [žiūrėta 2020-02-10]. Prieiga per internetą: <https://www.iswa.org/>;
26. Navickas K., Venslauskas K. Biomasės būvio ciklo analizė, 2012 [žiūrėta 2020-03-20]. Prieiga per internetą: <http://dspace.lzuu.lt/handle/1/1986>;
27. Owsianiak M., Bjørn A., Laurent A., Hauschild M. Z. 3. IMPACT 2002+, ReCiPe 2008 and ILCD's recommended practice for characterization modelling in life cycle impact assessment: A case studybased comparison, 2014, 19(5):1007-1021 [žiūrėta 2020-03-17]. Prieiga per internetą: 10.1007/s11367-014-0708-3;
28. Palm D. Improved waste management of textiles, 2011 [žiūrėta 2020-03-17]. Prieiga per internetą: [https://www.ivl.se/ovrigt/sok.html?query=Improved+waste+management+of+textiles](https://www.ivl.se/ovrigt/sok.html?query=Improved+waste+management+of+textiles;);
29. Roos S., Posner S., Jonsson C., Peters G. M. Is Unbleached Cotton Better than Bleached? Exploring the Limits of Life-Cycle Assessment in the Textile Sector, 2015 [žiūrėta 2020-03-15]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1177/0887302X15576404>;
30. Sandin G., Peters G. M. Environmental impact of textile reuse and recycling - A review, 2017, vol. 184, 353-365 [žiūrėta 2020-03-15]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.266>;
31. Staniškis J. K., Kliopova I., Miliūtė-Plepienė J., Kruopienė J., Kliaugaitė D., Uselytė R., Varžinskas V. Darni atliekų vadyba, 2017 [žiūrėta 2020-03-15]. Prieiga per internetą: <https://www.ebooks.ktu.lt/eb/1428/darni-atlieku-vadyba/>;
32. Stavropoulos P., Giannoulis C., Papacharalampopoulos A., Foteinopoulos P., Chryssoulouris G. Life cycle analysis: comparison between different methods and optimization challenges, 2015, vol. 41, 626-631 [žiūrėta 2020-03-15]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.12.048>;

33. Suresh S. Treatment of Textile Dye Containing Effluents, 2014 [žiūrėta 2020-03-11]. Prieiga per internetą: 10.2174/2212717801666141021235246;
34. Šajn N. Environmental impact of the textile and clothing industry, 2019 [žiūrėta 2020-03-10]. Prieiga per internetą: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2019/633143/EPRS_BRI\(2019\)633143_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2019/633143/EPRS_BRI(2019)633143_EN.pdf);
35. Thomas D. The Real Cost of Your Blue Jeans, 2019, [žiūrėta 2020-03-10]. Prieiga per internetą: <https://www.newsweek.com/2019/09/20/real-cost-blue-jeans-labor-environment-fashionopolis-book-extract-1457027.html>;
36. United Nations Environment Programme Global Guidance for Life Cycle Impact Assessment Indicators, 2016, vol. 1, [žiūrėta 2020-03-05]. Prieiga per internetą: <https://www.lifecycleinitiative.org/training-resources/global-guidance-lcia-indicators-v-1/>;
37. United Nations Environment Programme Global Guidance for Life Cycle Impact Assessment Indicators, 2019, vol. 2, [žiūrėta 2020-03-05]. Prieiga per internetą: https://www.researchgate.net/publication/337672270_Global_Guidance_for_Life_Cycle_Impact_Assessment_Indicators_GLAM_Volume_2;
38. Weidema B. P. Comparing Three Life Cycle Impact Assessment Methods from an Endpoint Perspective, 2014. [žiūrėta 2020-03-02]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1111/jiec.12162> ;
39. World Wild Life Organization Cleaner, greener cotton Impacts and better management practices, 2013. [žiūrėta 2020-03-01]. Prieiga per internetą: <https://www.worldwildlife.org/publications/cleaner-greener-cotton-impacts-and-better-management-practices>;
40. Yousef S., Tatariants M., Tichonovas M., Sarwar Z., Jonuškienė I., Kliucininkas L. A new strategy for using textile waste as a sustainable source of recovered cotton, 2019, vol. 145, 359-369 [žiūrėta 2020-03-01]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.02.031>;
41. Zhang Y., Liang J., Zeng G., Tang W., Lu Y., Luo Y., Xing W., Tang N., Ye S., Li, W. Huang X. How climate change and eutrophication interact with microplastic pollution and sediment resuspension in shallow lakes: A review, 2020, vol. 705, 135979 [žiūrėta 2020-03-05]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135979>.

Priedai

1 priedas. 100% medvilnės džinsų įvesties ir išvesties duomenys.

SKALBIMAS	Įvesties Duomenys 1000kg	Išvesties Duomenys 1000kg	Įvesties Duomenys 0,72kg	Išvesties Duomenys 0,72kg
Džinsinės kelnės		1000 kg		0,72 kg
Tap water {GLO} market group for APOS, S	1500 l	1500 l	4,3 l	4,3 l
Soap {GLO} market for APOS, S	10 kg		0,061 kg	
Textile, woven cotton {GLO} market for APOS, S	1000 kg		0,72 kg	
Electricity, medium voltage {GLO} market group for APOS, S	0,6 kWh		0,000432 kWh	
Detergents, unspecified		10 kg		0,061 kg
JUODŲ DAŽŲ ŠALINIMAS	Įvesties duomenys	Išvesties duomenys		
Džinsinės kelnės, po dažų šalinimo		964 kg		0,694 kg
Nitric acid, without water, in 50% solution state {GLO} market for APOS, S	356,7 kg		0,257 kg	
Tap water {GLO} market group for APOS, S	1000 l	1000 l	2,1 l	2,1 l
Išskalbto džinsinės kelnės	1000kg		0,72 kg	
Heat, central or small-scale, natural gas {GLO} market group for APOS, S	0,1 MJ		0,000072 MJ	
Electricity, medium voltage {GLO} market group for APOS, S	0,1 kWh		0,000072 kWh	
C.I. Acid blue 74		36 kg		0,021 kg
Nitric acid		535,1 kg		0,257 kg
C.I. Acid blue 74 (emissions to air)				0,000001kg
SKALAVIMAS PO DAŽŲ ŠALINIMO				
Džinsai po dažų šalinimo			0,694 kg	0,694 kg
Electricity, medium voltage {GLO} market group for APOS, S	0,6 kWh		0,000432 kWh	
Tap water {GLO} market group for APOS, S	1550 l	1550 l	2,1 l	2,1 l
C.I. Acid blue 74 (emissions to water)				0,005 kg

ATGAUTOS MEDVILNĖS BALINIMAS	Įvesties duomenys	Išvesties duomenys		
Balinama medvilnė	964 kg	964 kg	0,694 kg	0,694 kg
Sodium hydroxide, without water, in 50% solution state {GLO} market for APOS, S		27,7 kg	0,02 kg	
Hydrochloric acid, without water, in 30% solution state {GLO} tetrafluoroethane production APOS, S		61,5 kg	0,05 kg	
Sodium hydroxide (emissions to water)				0,02 kg
Hydrochloric acid (emissions to water)				0,05 kg
Chlorine (emissions to air)				0,0001 kg
Electricity, medium voltage {GLO} market group for APOS, S	0,6 kWh		0,0004 kWh	
ATGAUTOS MEDVILNĖS SKALAVIMAS	Įvesties duomenys	Išvesties duomenys		
Išbalinta medvilnė	964 kg	964 kg	0,694 kg	0,694 kg
Sodium hydroxide, without water, in 50% solution state {GLO} market for APOS, S		27,7 kg		0,02 kg
Hydrochloric acid, without water, in 30% solution state {GLO} tetrafluoroethane production APOS, S		61,5 kg		0,05 kg
Hydrochloric acid (emissions to water)				0,005 kg
Sodium hydroxide (emissions to water)				0,01 kg
Electricity, medium voltage {GLO} market group for APOS, S	0,6 kWh		0,000432 kWh	
Tap water {GLO} market group for APOS, S	1550 l	1550 l	1,12 l	1,12 l

2 priedas. 80% medvilnės ir 20% poliesterio sudėties džinsų įvesties ir išvesties duomenys

SKALBIMAS	Įvesties duomenys	Išvesties duomenys	Įvesties duomenys	Išvesties duomenys
Džinsinės kelnės		1000 kg		0,72 kg
Tap water {GLO} market group for APOS, S	1500 l	1500 l	4,3 l	4,3 l
Soap {GLO} market for APOS, S	10 kg		0,061 kg	
Textile, woven cotton {GLO} market for APOS, S	1000 kg		0,58 kg	
Viscose fibre {GLO} market for APOS, S			0,14kg	
Suspended solids, inorganic				0,000000001 kg
Electricity, medium voltage {GLO} market group for APOS, S	0,6 kWh		0,000432 kWh	
Detergents, unspecified		10 kg		0,061 kg
MĖLYNŲ DAŽŲ ŠALINIMAS	Įvesties duomenys	Išvesties duomenys		
Džinsinės kelnės, po dažų šalinimo		964 kg		0,694 kg
Nitric acid, without water, in 50% solution state {GLO} market for APOS, S	535,1 kg		0,385 kg	
Tap water {GLO} market group for APOS, S	1200 l		2,1 l	
Išskalbtos džinsinės kelnės	1000 kg		0,72 kg	
Heat, central or small-scale, natural gas {GLO} market group for APOS, S	0,1 MJ		0,000072 MJ	
Electricity, medium voltage {GLO} market group for APOS, S	0,1 kWh		0,000072 kWh	
C.I. Acid blue 74		36 kg		0,021 kg
Nitric acid		535,1 kg		0,385 kg
C.I. Acid blue 74 (emissions to air)				0,000001kg
Tap water {GLO} market group for APOS, S		1000 l		2,1 l
SKALAVIMAS PO DAŽŲ ŠALINIMO				
Džinsai po dažų šalinimo	964 kg	964 kg	0,694 kg	0,694 kg
Electricity, medium voltage {GLO} market group for APOS, S	0,6 kWh		0,000432 kWh	
Tap water {GLO} market group for APOS, S	1550 l	1550 l	2,1 l	2,1 l
C.I. Acid blue 74 (emissions to water)				0,005 kg

POLIESTERIO ATSKYRIMAS	Įvesties duomenys	Išvesties duomenys	Įvesties duomenys	Išvesties duomenys
Medvilnė po dažų šalinimo ir poliesterio atskyrimo		802 kg		0,577 kg
Dimethyl sulfoxide {GLO} market for APOS, S	648 kg		0,467 kg	
Džinsinės kelnės po dažų šalinimo	964 kg		0,694 kg	
Heat, central or small-scale, natural gas {GLO} market group for APOS, S	0,2 MJ		0,000144 MJ	
Electricity, medium voltage {GLO} market group for APOS, S	0,6 kWh		0,000432 kWh	
Tap water {GLO} market group for APOS, S	1200 l	1200 l	2,1 l	2,1 l
Dimethyl sulfoxide		648 kg		0,467 kg
Waste polyethylene terephthalate {LT} market for waste polyethylene terephthalate Conseq, S		162 kg		0,117 kg
SKALAVIMAS PO POLIESTERIO ATSKYRIMO	Įvesties duomenys	Išvesties duomenys	Įvesties duomenys	Išvesties duomenys
Džinsai po poliesterio atskyrimo			0,577 kg	0,577 kg
Electricity, medium voltage {GLO} market group for APOS, S	0,6 kWh		0,000432 kWh	
Dimethyl sulfoxide (emissions to water)				0,020 kg
Waste polyethylene terephthalate {LT} market for waste polyethylene terephthalate Conseq, S (emissions to water)				0,015 kg
Tap water {GLO} market group for APOS, S		1550 l	2,1 l	2,1 l
ATGAUTOS MEDVILNĖS BALINIMAS	Įvesties duomenys	Išvesties duomenys	Įvesties duomenys	Išvesties duomenys
Balinama medvilnė	802 kg	802 kg	0,577 kg	0,577 kg
Sodium hydroxide, without water, in 50% solution state {GLO} market for APOS, S	23,04 kg		0,0166 kg	
Hydrochloric acid, without water, in 30% solution state {GLO} tetrafluoroethane production APOS, S	51,2 kg		0,0367 kg	
Hydrochloric acid (emissions to water)		23,04 kg		0,0367 kg
Sodium hydroxide (emissions to water)		51,2 kg		0,0166 kg

Chlorine (emissions to air)				0,0001 kg
Electricity, medium voltage {GLO} market group for APOS, S	0,6 kWh		0,000432 kWh	
ATGAUTOS MEDVILNĖS SKALAVIMAS	Įvesties duomenys	Išvesties duomenys	Įvesties duomenys	Išvesties duomenys
Išbalinta medvilnė	802 kg	802 kg	0,577 kg	0,577 kg
Electricity, medium voltage {GLO} market group for APOS, S	0,6 kWh		0,000432 kWh	
Hydrochloric acid (emissions to water)				0,005 kg
Sodium hydroxide (emissions to water)				0,01 kg
Tap water {GLO} market group for APOS, S	1550 l	1550 l	2 l	2 l