



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Tekstilės gaminių poveikio aplinkai vertinimas būvio ciklo metodu

Baigiamasis magistro projektas

Ugnė Vaitiekutė

Projekto autorė

Doc. Inga Stasiulaitienė

Vadovė

Kaunas, 2025



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Tekstilės gaminių poveikio aplinkai vertinimas būvio ciklo metodu

Baigiamasis magistro projektas

Aplinkosaugos inžinerija (6211EX003)

Ugnė Vaitiekutė

Projekto autorė

Doc. Inga Stasiulaitienė

Vadovė

Prof. Dainius Martuzevičius

Recenzentas

Kaunas, 2025



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Ugnė Vaitiekutė

Tekstilės gaminių poveikio aplinkai vertinimas būvio ciklo metodu

Akademinių sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. literatūros apžvalgą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdama kitų asmenų autoriaus ar kitų teisių, laikydamasi Lietuvos Respublikos autorių teisių ir gretutinių teisių įstatymo nuostatų, Kauno technologijos universiteto (toliau – Universitetas) intelektinės nuosavybės valdymo ir perdavimo nuostatų bei Universiteto akademinės etikos kodekse nustatytų etikos reikalavimų;
2. literatūros apžvalgoje visi pateikti duomenys yra teisingi ir gauti teisėtai, nei viena šios apžvalgos dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar elektroninių šaltinių, visos baigiamojo projekto tekste pateiktos citatos ir nuorodos yra nurodytos literatūros sąrašė;
3. įstatymų nenumatytų piniginių sumų už literatūros apžvalgą ar jos dalis niekam nesu mokėjusi;
4. suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo ar kitų asmenų teisių pažeidimo faktui, man bus taikomos akademinės nuobaudos pagal Universitete galiojančią tvarką ir būsiu pašalinta iš Universiteto, o šis darbas gali būti pateiktas Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinės etikos pažeidimą.

Ugnė Vaitiekutė

Patvirtinta elektroniniu būdu

Vaitiekutė Ugnė. Tekstilės gaminių poveikio aplinkai vertinimas būvio ciklo metodu. Magistro baigiamasis projektas vadovė doc. dr. Inga Stasiulaitienė; Kauno technologijos universitetas, Cheminės technologijos fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: būvio ciklo vertinimas, tekstilės gaminiai, medvilnė, poliesteris, lipdukai, aplinkosauginis poveikis, neapibrėžtumo analizė, perdirbimas.

Kaunas, 2025. 84 p.

Santrauka

Tekstilės pramonė daro reikšmingą poveikį aplinkai, todėl vis daugiau dėmesio skiriama gaminių analizėms, taikant būvio ciklo vertinimo metodiką. Šiame darbe atliktas trijų rūšių marškinėlių – medvilninių, poliesterinių ir mišraus audinio – poveikio aplinkai vertinimas. Į analizę įtraukti ir papildomi elementai – termiškai klijuojami lipdukai.

Inventorinė analizė atlikta pagal apibrėžtas sistemos ribas, apimančias visus būvio ciklo etapus. Vertinimas atliktas naudojant SimaPro 10.1.0.4 programinę įrangą, taikant aplinkosauginio pėdsako 3.1 metodą. Būvio ciklo analizė apėmė visus būvio ciklo etapus – nuo žaliavų išgavimo iki gaminio šalinimo. Aplinkosauginis poveikis vertintas pagal 27 kategorijas, iš kurių detaliau nagrinėtos 9. Analizės metu įvertinti skirtingi scenarijai, susiję su energijos šaltiniu – mišria arba atsinaujinančia elektros energija ir atliekų tvarkymu – sąvartynu arba perdirbimu.

Rezultatų analizė parodė, jog didžiausią poveikį klimato kaitai turėjo poliesteriniai marškinėliai su lipduku, kai jie gaminami naudojant mišrią elektros energiją ir šalinami sąvartyne. Jų poveikis aplinkai siekė 6,35 kg CO₂ ekv., o mišrią energiją pakeitus atsinaujinančia, šis poveikis sumažėjo iki 4,09 kg CO₂ ekv. Didelė dalis šio poveikio susijusi su iškastinio kuro naudojimu žaliavų gavybos etape. Tuo tarpu medvilniniai marškinėliai pasižymėjo dideliu vandens sunaudojimu, o tai susiję su drėkinimo poreikiu medvilnės auginimo etape. Jų klimato kaitos poveikis mažesnis – 1,65 kg CO₂ ekv., naudojant mišrią elektros energiją, o naudojant atsinaujinančią šis poveikis sumažėjo iki 0,996 kg CO₂ ekv. Mišrios sudėties marškinėliai pasižymėjo tarpiniais rezultatais daugumoje kategorijų, tačiau jų poveikį aplinkai lemia sudėtingesnė perdirbimo eiga. Klimato kaitos reikšmė, keičiant naudojamos energijos tipą, pakito nežymiai – nuo 3,32 kg iki 3,22 kg CO₂ ekv. Mišrios medžiagos šiuo metu retai perdirbamos, o jų atliekos dažniau šalinamos sąvartyne arba deginamos, todėl poveikis gali išaugti ilgalaikėje perspektyvoje.

Neapibrėžtumo analizė, atlikta taikant Monte Karlo metodą, parodė, jog visi scenarijai, kuriuose naudojama atsinaujinanti energija ir taikomas perdirbimas, yra statistiškai palankesni aplinkai nei scenarijai su mišria energija ir šalinimu sąvartyne. Analizės metu nustatyta, kad pasikliautinieji intervalai tarp lyginamų scenarijų nesikerta, o tai patvirtina rezultatų patikimumą ir analizės stabilumą.

Remiantis atlikta analize, pateikiamos rekomendacijos. Siūloma rinktis mažesnio poveikio medžiagas, naudoti atsinaujinančią energiją gamyboje, didinti perdirbimo galimybes bei ilgesnį gaminių naudojimo laiką. Taip pat reiktų paminėti, kad net ir nedidelės sudedamosios dalys, tokios kaip lipdukai, turėtų būti įtraukiamos į analizę, nes jos daro reikšmingą poveikį kai kuriose poveikio aplinkai kategorijose.

Vaitiekutė Ugnė. Environmental Impact Assessment of Textile Products Using the Life Cycle Assessment Method. Master's Final Degree Project supervisor doc. dr. Inga Stasiulaitienė; Faculty of Chemical Technology, Kaunas University of Technology.

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

Keywords: life cycle assessment, textile products, cotton, polyester, stickers, environmental impact, uncertainty analysis, recycling.

Kaunas, 2025. 84 p.

Summary

The textile industry significantly impacts the environment, which has led to an increasing focus on product analyses using life cycle assessment methodologies. In this work, an environmental impact assessment was carried out on three types of T-shirts: cotton, polyester and blended fabrics. The analysis also includes additional elements such as thermal stickers.

The inventory analysis was carried out based on defined system boundaries covering all stages of the life cycle. The assessment was carried out using the SimaPro 10.1.0.4 software, using the Environmental Footprint 3.1 method. The life cycle analysis covered all stages of the life cycle from raw material extraction to product disposal. Environmental impacts were assessed in 27 categories, of which 9 were analysed in detail. The analysis evaluated different scenarios related to the energy source – mixed or renewable electricity – and waste management – landfill or recycling.

Analysis of the results showed that polyester T-shirts with a sticker had the highest impact on climate change when produced using mixed electricity and disposed of in a landfill. Their environmental impact was 6.35 kg CO₂/eq., while when mixed energy was replaced by renewable energy, this impact was reduced to 4.09 kg CO₂/eq. A large part of this impact is related to the use of fossil fuels in the extraction phase. Meanwhile, cotton T-shirts have a high water consumption, which is related to the need for irrigation during the cotton growing phase. Their climate change impact was lower at 1.65 kg CO₂ eq. with mixed electricity, while this was reduced to 0.996 kg CO₂ eq. with renewable energy. Mixed-composition T-shirts had intermediate results in most categories, but their environmental impact is due to their more complex recycling process. The climate change implications of changing the type of energy used changed only slightly from 3.32 kg to 3.22 kg CO₂ eq. Mixed materials are currently rarely recycled and their waste is more likely to be landfilled or incinerated, which may increase the impact in the long term.

Uncertainty analysis using the Monte Carlo method showed that all scenarios with renewable energy and recycling are statistically more environmentally friendly than those with mixed energy and landfill. The analysis showed that the confidence intervals between the compared scenarios do not intersect, which confirms the reliability of the results and the stability of the analysis.

Based on the analysis, recommendations are made. It suggests choosing lower impact materials, using renewable energy in production, increasing recyclability and extending the lifetime of products. It should also be mentioned that even minor components such as stickers should be included in the analysis as they have a significant impact in some environmental impact categories.

Turinys

Lentelių sąrašas	8
Paveikslų sąrašas	9
Santrumpų ir terminų sąrašas	11
Įvadas.....	12
1. Literatūros apžvalga	13
1.1. Tekstilės gamyba pasaulyje ir Europoje.....	13
1.2. Tekstilės būvio ciklas	15
1.2.1. Žaliavų naudojimas	16
1.2.2. Tekstilės gamybos metu, susidarančios emisijos į orą	17
1.2.3. Nuotekų užterštumas	19
1.2.4. Tekstilės naudojimas	20
1.2.5. Produktų tarnavimo laikas ir kokybė.....	22
1.2.6. Tekstilės atliekų tvarkymas	23
1.3. Tekstilės atliekų teisinis reglamentavimas	25
1.4. Tekstilės gamybos proceso poveikio aplinkai mažinimo technologijos	26
1.4.1. Vandens nenaudojančios arba mažai vandens reikalaujančios dažymo technologijos	26
1.4.2. Alternatyvios žaliavos tekstilės gamybai	27
1.4.3. Perdirbimo technologijos.....	29
1.5. Būvio ciklo analizės ir straipsnių analizė tekstilės srityje	30
1.6. Teorinės darbo dalies aptarimas	32
2. Tyrimo metodika	33
2.1. Tyrimo tikslo, funkcinio vieneto ir sistemos ribų apibrėžimas	33
2.2. Būvio ciklo vertinimo inventorinė analizė	35
2.3. Būvio ciklo poveikio vertinimas	36
2.4. Rezultatų interpretavimas ir neapibrėžtumo analizė	38
3. Tyrimo rezultatai ir jų aptarimas	40
3.1. Inventorinės analizės rezultatai	40
3.2. Būvio ciklo poveikio vertinimo rezultatai.....	40
3.2.1. Medvilninių marškinėlių su lipduku poveikio analizė pagal du skirtingus scenarijus.....	41
3.2.2. Poliesterinių marškinėlių su lipduku poveikio analizė pagal du skirtingus scenarijus	43
3.2.3. Mišrių marškinėlių poveikio analizė pagal du skirtingus scenarijus.....	44
3.2.4. Trijų skirtingų marškinėlių poveikio analizė, naudojant mišrią energiją ir šalinimą sąvartyne.....	46
3.2.5. Trijų skirtingų marškinėlių poveikio analizė, naudojant atsinaujinančią energiją ir perdirbimą.....	48
3.3. Neapibrėžtumo analizė	50
3.3.1. Medvilninės marškinėliai su lipduku.....	50
3.3.2. Poliesterio marškinėliai su lipduku	50
3.3.3. Mišrios medžiagos marškinėliai	51
Išvados	52
Literatūros sąrašas	54
Priedai.....	60
1 priedas. Inventorinės lentelės	60

2	priedas. Visų 27 poveikio kategorijų charakterizuoti rezultatai	81
3	priedas. Normalizuotų poveikio kategorijų pasiskirstymo grafikai	83

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Išteklių sunaudojimas 1 kg audiniui [14]	16
2 lentelė. Skirtingų tipų marškinėlių įvesties ir išvesties duomenys.....	36
3 lentelė. Medvilnės marškinėlių inventoriniai duomenys [63][64]	60
4 lentelė. Poliesterinių marškinėlių inventoriniai duomenys [65][66][67][68]	70
5 lentelė. Lipdukų inventoriniai duomenys [67][68][69].....	77

Paveikslų sąrašas

1 pav. Tekstilės pluoštų klasifikavimas [13].....	13
2 pav. Pasaulinė pluošto gamyba (mln. tonų) [1].....	13
3 pav. Pasaulinė medvilnės pluošto gamyba (tūkst. tonų ir %)	14
4 pav. Pasaulinė poliesterio gamyba (mln. tonų ir %) [1].....	14
5 pav. ES-27 apytikslis drabužių, avalynės ir namų apyvokos tekstilės (išskyrus kailinius ir odinius drabužius) suvartojimas 2010–2020 m. (mln. tonų, kg asmeniui) [3].....	15
6 pav. Mados pramonės poveikis aplinkai [12]	16
7 pav. Emisijų pasiskirstymas per mados tiekimo grandinės skirtingas stadijas [19]	17
8 pav. Įprastinės veiklos scenarijus ir pažanga siekiant 45 % sumažinti išmetamųjų teršalų kiekį (Apranga, namai tekstilė, avalynė) [52]	18
9 pav. Drabužių pramonėje išskiriamas CO ₂ kiekis, 2019-2030 m., mln. tonų [20]	19
10 pav. Tekstilės procesai ir operacijų metu susidarantių teršalų charakteristikos [37]	20
11 pav. Energijos naudojimas, skalbiant ir džiovinant [24].....	21
12 pav. Europos aplinkosauginiai pranašumai, kai skalbimo temperatūra sumažinama [25]	21
13 pav. Audinių suirimo laikas [34].....	23
14 pav. Tekstilės atliekų susidarymas 2020 m., kg kiekvienam gyventojui [7]	24
15 pav. Tekstilės atliekų apdorojimas ES, 2010-2020 m., procentais [7].....	24
16 pav. Pagrindiniai klimato reglamentai ir direktyvos [10]	26
17 pav. Superkritinio CO ₂ apdorojimo palyginimas su įprastiniu vandens pagrindu atliekamam tekstilės apdorojimu ir dažymu [39]	27
18 pav. Kakavos atliekų perdirbimas į biologiškai skaidų pluoštą [42]	28
19 pav. Skirtingi tekstilės atliekų perdirbimo procesai [44]	29
20 pav. Mechaninis tekstilės perdirbimas [45]	29
21 pav. Perdirbimo procesas cheminio perdirbimo metu [46].....	30
22 pav. Analizuojamų marškinėlių sistemos ribos.....	34
23 pav. Būvio ciklo poveikio vertinimo metodas [74].....	37
24 pav. Lyginamosios analizės charakterizuoti rezultatai medvilniniams marškinėliams dviem skirtingais scenarijais.....	41
25 pav. Normalizuoti rezultatai medvilnės marškinėliams dviem skirtingais scenarijais	42
26 pav. Lyginamosios analizės charakterizuoti rezultatai poliesteriniais marškinėliams dviem skirtingais scenarijais.....	43
27 pav. Normalizuoti rezultatai poliesterio marškinėliams dviem skirtingais scenarijais	44
28 pav. Lyginamosios analizės charakterizuoti rezultatai mišriems marškinėliams dviem skirtingais scenarijais	45
29 pav. Normalizuoti rezultatai mišriems marškinėliams dviem skirtingais scenarijais	46
30 pav. Lyginamosios analizės charakterizuoti rezultatai visiems marškinėliams, naudojant mišrią energiją ir šalinimą sąvartyne	47
31 pav. Normalizuoti rezultatai visiems marškinėliams, naudojant mišrią energiją ir šalinimą sąvartyne.....	48
32 pav. Lyginamosios analizės charakterizuoti rezultatai visiems marškinėliams, naudojant atsinaujinančią energiją ir perdirbimą	49

33 pav. Normalizuoti rezultatai visiems marškinėliams, naudojant atsinaujinančią energiją ir perdirbimą.....	49
34 pav. Medvilnės marškinėlių su lipduku neapibrėžtumo analizė	50
35 pav. Poliesterio marškinėlių su lipduku neapibrėžtumo analizė	51
36 pav. Mišrios medžiagos marškinėlių neapibrėžtumo analizė.....	51
37 pav. Lyginamosios analizės charakterizuoti rezultatai medvilniniams marškinėliams dviem skirtingais scenarijais.....	81
38 pav. Lyginamosios analizės charakterizuoti rezultatai poliesteriniais marškinėliams dviem skirtingais scenarijais.....	81
39 pav. Lyginamosios analizės charakterizuoti rezultatai mišriems marškinėliams dviem skirtingais scenarijais	82
40 pav. Lyginamosios analizės charakterizuoti rezultatai visiems marškinėliams, naudojant mišrią energiją ir šalinimą sąvartyne	82
41 pav. Lyginamosios analizės charakterizuoti rezultatai visiems marškinėliams, naudojant atsinaujinančią energiją ir perdirbimą	82
42 pav. Normalizuoti rezultatai medvilnės marškinėliams dviem skirtingais scenarijais	83
43 pav. Normalizuoti rezultatai poliesterio marškinėliams dviem skirtingais scenarijais	83
44 pav. Normalizuoti rezultatai mišriems marškinėliams dviem skirtingais scenarijais	83
45 pav. Normalizuoti rezultatai visiems marškinėliams, naudojant mišrią energiją ir šalinimą sąvartyne.....	84
46 pav. Normalizuoti rezultatai visiems marškinėliams, naudojant atsinaujinančią energiją ir perdirbimą.....	84

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

BCIA – būvio ciklo inventorinė analizė;

BCID – būvio ciklo inventoriniai duomenys;

BCV – būvio ciklo vertinimas;

BDS – biocheminis deguonies suvartojimas;

ChDS – cheminis deguonies suvartojimas;

CO₂ – anglies dioksidas;

GAP – globalinio atšilimo potencialas;

ISO (International Organization for Standardization) – Tarptautinė standartizacijos organizacija;

MMCF (Man-made cellulosic fibers) – dirbtinis celiuliozės pluoštas;

PET – polietileno tereftalatas;

PFAS – perfluoralkilo ir polifluoralkilo medžiagos;

PPO – pasaulio prekybos organizacija;

sCO₂ – superkritinis anglies dioksidas;

ŠESD – šiltnamio efektą sukeliančios dujos;

TDS – bendras ištirpusių kietųjų dalelių kiekis;

ŽEVP – žiedinės ekonomikos veiksmų planas.

Terminai:

Anglies dioksido ekvivalentas – metano (CH₄), azoto suboksido (N₂O), hidrofluorangliavandenilių (HFC), perfluorangliavandenilių (PFC), sieros heksafluorido (SF₆), azoto trifluorido (NF₃) dujų kiekis, kuris daro tokį patį poveikį klimato kaitai kaip viena tona anglies dioksido (CO₂).

Ivadas

Tekstilės ir drabužių pramonė laikoma viena labiausiai aplinką teršiančių industrijų, dėl intensyvaus vandens, energijos ir cheminių medžiagų naudojimo. Daugiau nei 60% visų pasaulyje pagamintų pluoštų yra naudojami drabužių gamybai, o sparčiai augantis vartojimas ir trumpėjantis drabužių gyvavimo laikas, prisideda prie didėjančio aplinkos poveikio [1]. Medžiagų gamybos, naudojimo ir šalinimo etapai lemia skirtingus aplinkosauginius iššūkius – nuo vandens eikvojimo iki šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų ir mikroplastiko išsiskyrimo.

Šiuo metu vis daugiau dėmesio skiriama tekstilės poveikio vertinimui viso būvio ciklo metu, tačiau dauguma mokslinių tyrimų apsiriboja tik vienos medžiagos analizėmis, neatsižvelgiant į realią drabužių sudėtį ir papildomus elementus, kurie dažnai naudojami gamyboje. Mišrios sudėties gaminiai sudaro vis didesnę rinkos dalį, tačiau jų perdirbimo galimybės ribotos, o poveikis aplinkai mažai ištirtas. Taip pat, nėra tyrimų, kuriuose būtų įtrauktos drabužių detalės, tokios kaip termiška klijuojami lipdukai, nors jų gamyba ir cheminė sudėtis turi ryškų aplinkosauginį poveikį.

Šiame darbe poveikis aplinkai vertinamas taikant būvio ciklo vertinimo (BCV) metodiką, kuri leidžia analizuoti visus gaminio gyvavimo etapus – nuo žaliavų gavybos iki atliekų tvarkymo. Analizė apima trijų skirtingų marškinėlių rūšių – medvilninių, poliesterinių ir mišrios sudėties – palyginimą, įtraukiant ir papildomas sudedamąsias dalis, tokias kaip lipdukai. Vertinant taikomi skirtingi scenarijai, susiję su energijos šaltinių pasirinkimu bei gaminių šalinimo būdais.

Tikslas – atlikti skirtingų marškinėlių medžiagų poveikio aplinkai vertinimą taikant būvio ciklo vertinimo metodiką.

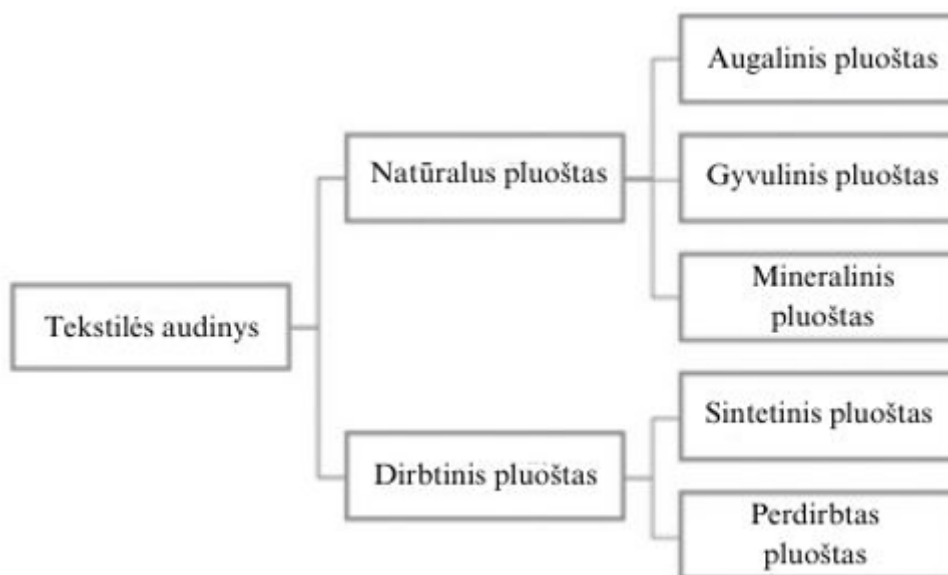
Uždaviniai:

1. apžvelgti esamą literatūrą ir mokslinius tyrimus apie tekstilės gaminių vartojimą, jų rūšis ir poveikį aplinkai, remiantis būvio ciklo vertinimo metodika;
2. surinkti įvairių marškinėlių rūšių inventorinius duomenis pagal nustatytas sistemos ribas;
3. atlikti būvio ciklo vertinimą pagal pasirinktą skaičiavimo metodą bei interpretuoti gautus rezultatus;
4. atlikti neapibrėžtumo analizę;
5. pateikti išvadas ir rekomendacijas.

1. Literatūros apžvalga

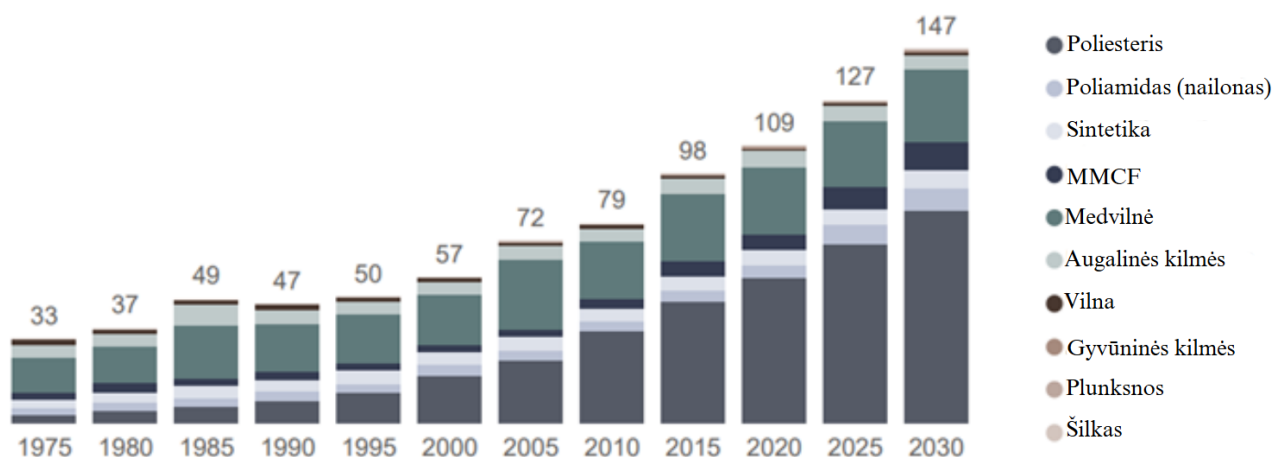
1.1. Tekstilės gamyba pasaulyje ir Europoje

Tekstilės žaliavos gali būti pagamintos iš atsinaujinančių arba iškastinių pluoštų. Atsinaujinantys pluoštai apima gamtinės kilmės medžiagas, tokias kaip medvilnė, vilna, oda, bambukas, linas, šilkas bei mediena, iš kurios gamina viskozė. Sintetiniai pluoštai, tokie kaip nailonas, poliesteris ar akrilas, gaminami naftos pagrindu [13].



1 pav. Tekstilės pluoštų klasifikavimas [13]

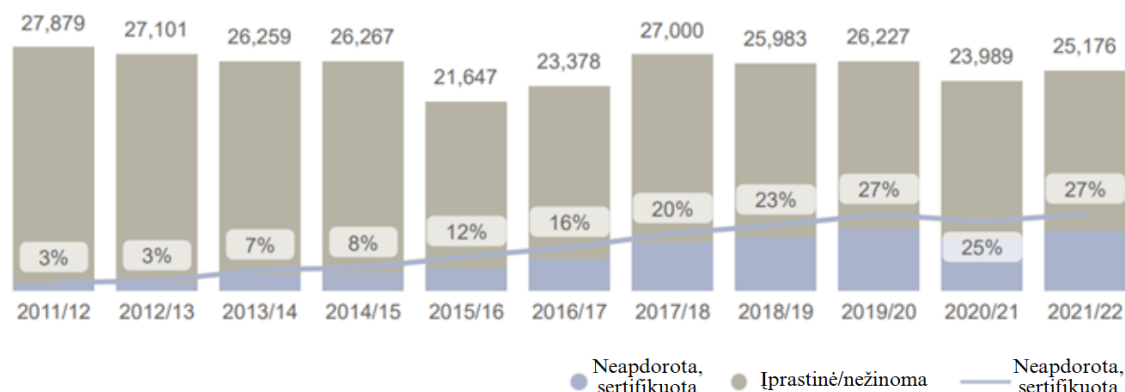
2022 m. pasaulinė pluošto gamyba išaugo ir pasiekė rekordinį 116 mln. tonų kiekį. Nors 2020 m. dėl COVID-19 pandemijos buvo fiksuotas trumpalaikis pasaulinės pluošto gamybos sumažėjimas, tačiau per pastaruosius dvidešimt metų pasaulinė pluošto gamyba išaugo beveik dvigubai – nuo 58 mln. tonų 2000 m. iki 116 mln. tonų 2022 m. Prognozuojama, kad šis augimas tęsis iki 2030 m. ir pasieks 147 mln. tonų [1]. Sintetinių pluoštų, įskaitant poliesterį, poliamidą (nailoną) ir kitus sintetinius variantus, naudojimas gerokai išaugo, pralenkdamas natūralius pluoštus. Nors medvilnės dalis išlieka nepakitusi, jos augimas yra gerokai lėtesnis, palyginti su sintetiniais pluoštais.



2 pav. Pasaulinė pluošto gamyba (mln. tonų) [1]

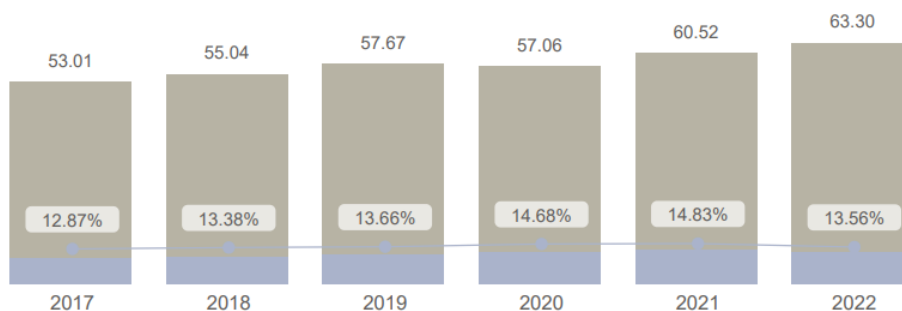
2022 m. padidėjo natūralaus pluošto, pagaminto pagal tvarumo programas, procentinė dalis, įskaitant medvilnę (nuo 25 % 2021 m. iki 27 % 2022 m.) ir vilną (nuo 3 % 2021 m. iki 4,3 % 2022 m.). Tačiau sintetinio pluošto gamyba taip pat padidėjo nuo 63 mln. tonų iki 67 mln. tonų. Poliesteris tebėra plačiausiai pasaulyje gaminamas pluoštas – 2022 m. jis sudaro 54 % gamybos [1].

Bendra pasaulinė medvilnės pluošto gamyba svyruoja, bet ilginiui išlieka nuo 25 iki 27 tūkst. tonų. Sertifikuotos grynios medvilnės rinkos dalis palaipsniui didėjo – nuo 3 % 2011–2012 m. ir iki 27 % iki 2021–2022 m. Ši tendencija atspindi pramonės perėjimą prie tvaresnės praktikos, laikui bėgant. Šis sertifikuotos medvilnės kiekio padidėjimas atitinka tokias iniciatyvas kaip 2025 m. tvarios medvilnės iššūkis, skatinantis taikyti tvarius medvilnės gamybos metodus [1].



3 pav. Pasaulinė medvilnės pluošto gamyba (tūkst. tonų ir %)

Poliesteris yra plačiausiai pasaulyje naudojamas pluoštas. 2021 m. jo buvo pagaminta apie 61 mln. tonų, todėl 2022 m. poliesterio rinkos dalis sudarė apie 54 % pasaulinės pluošto gamybos. Perdirbto poliesterio pluošto gamyba pasaulyje sumažėjo nuo 9 mln. tonų 2021 m. iki 8,6 mln. tonų 2022 m. Šiuo metu didžioji dalis šio pluošto išgaunama mechanškai, daugiausiai naudojant PET buteliu, o chemiškai arba biologiškai perdirbto poliesterio dalis išlieka mažesnė nei 1 % [1].



4 pav. Pasaulinė poliesterio gamyba (mln. tonų ir %) [1]

Remiantis pasaulio prekybos organizacijos duomenimis, didžiausią pasaulinio drabužių ir tekstilės import dalį 2023 m. sudarė ES, kuri turėdama 449,4 mln. gyventojų, sugeneravo 35,5 % visos šio sektoriaus importo vertės. JAV, kurių gyventojų skaičius tais pačiais metais buvo 334,9 mln., užėmė antrą vietą ir sudarė 19,2 % [51].

2023 m. Europa importavo 176,9 mlrd. EUR drabužių (nuo 144,7 mlrd. EUR 2018 m., bet sumažėjo nuo 193 mlrd. EUR 2022 m.), o tai atitinka 27,4 mlrd. vienetų drabužių (nuo 30,2 mlrd.). 50,9 %

visos importo vertės sudarė prekyba megztais arba nertais drabužiais (2018 m. – 49,7 %), o 49,1 % – nemegztais/austiniais drabužiais. 2018 – 2023 metais rinka vidutiniškai augo 4,1 % per metus [51].

ES yra ne tik pagrindinė tekstilės gaminių importuotoja, bet ir viena svarbiausių drabužių eksportuotojų bei reeksportuotojų pasaulyje. Remiantis PPO duomenimis, 2022 m. ES užėmė antrą vietą pagal drabužių eksportą, sudarydama 27,1 % pasaulio eksporto. 2018–2023 m. laikotarpiu ES drabužių eksportas augo vidutiniškai 5,5 % per metus. Didžiausios eksportuojančios šalys 2023 m. buvo Vokietija, Italija, Nyderlandai, Prancūzija, Ispanija ir Lenkija. Šios šešios valstybės kartu sudarė 75,2 % viso ES drabužių eksporto. Tarp jų reikšmingiausią augimą fiksavo Nyderlandai, kurių eksporto vertė per metus augo vidutiniškai daugiau nei 8 % ir Lenkija, kurios eksportas per metus padidėjo 14 % [51].

Europoje dėl COVID-19 pandemijos sumažėjo tekstilės gamyba ir paklausa. Lyginant 2019 m. ir 2020 m. duomenis, matomas drabužių ir avalynės vartojimo viename gyventojui sumažėjimas, Tačiau namų tekstilės gaminių suvartojimas padidėjo. Vidutinis tekstilės suvartojimas viename asmeniui 2020 m. sudarė 6,0 kg drabužių, 6,1 kg buitinės tekstilės ir 2,7 kg avalynės. Bendras tekstilės suvartojimas yra 15 kg viename asmeniui per metus. Remiantis šiais duomenimis, apskaičiuota, kad 2020 m. iš viso Europoje buvo suvartota 6,6 mln. tonų tekstilės gaminių [3].



5 pav. ES-27 apytikslis drabužių, avalynės ir namų apyvokos tekstilės (išskyrus kailinius ir odinius drabužius) suvartojimas 2010–2020 m. (mln. tonų, kg asmeniui) [3]

1.2. Tekstilės būvio ciklas

Drabužių gamyba daro reikšmingą poveikį aplinkai, nes apima įvairius išteklių naudojimo ir taršos procesus. Tekstilės pramonė sunaudoja didžiulius vandens kiekius, ypač auginant žaliavas bei vykdant dažymo ir apdorojimo procesus. Taip pat, gamybos metu išmetama daugybė cheminių medžiagų, kurios teršia vandenynus ir dirvožemį, o anglies dvideginio emisijos prisideda prie klimato

kaitos. Greitosios mados tendencijos dar labiau skatina masinę gamybą, dėl kurios didėja atliekų kiekiai. Tačiau didėjantis vartotojų supratimas ir tvarių sprendimų paieškos skatina permainas.

1.2.1. Žaliavų naudojimas

Tradicinis linijinis mados modelis, naudodamas naujas žaliavas naujai gamybai ir išskirdamas ŠESD, prisideda prie didėjančios pasaulinės krizės. Tokia pramonės veikla prisideda prie miškų naikinimo, biologinės įvairovės nykimo, vandens trūkumo, dirvožemio degradacijos, cheminės taršos ir didelio anglies pėdsako [12].



6 pav. Mados pramonės poveikis aplinkai [12]

Šiame etape jau išryškėja tekstilės tiekimo grandinės tvarumo sudėtingumas. Nors audinių iš atsinaujinančių šaltinių gamyba naudoja daugiau žemės, iškastinių pluoštų naudojimas lemia didesnę CO₂ emisijų kiekį. 1 lentelėje pateikta informacija apie audinių gamybą, skirtingą išteklių sunaudojimą ir jų poveikį aplinkai. Nepaisant to, kad poliesterio audiniams naudojama pagrindinė žaliava - nafta, šiam audiniui reikia mažiau išteklių nei natūraliems audiniams. Tačiau, atsižvelgiant į natūralių audinių sunaudojamus išteklius, pastebima, kad jiems reikia daugiau gamtos resursų. Pavyzdžiui, 1 kg šilko audinio pagaminti reikia iki 1843 MJ energijos. Medvilniniai audiniai sunaudoja iki 22000 litrų vandens, o vilnos audiniai net iki 170 000 litrų vandens [14].

1 lentelė. Išteklių sunaudojimas 1 kg audiniui [14]

Išteklių suvartojimas / 1 kg medžiagos	Poliesteris	Medvilnė	Šilkas	Vilna
Energija (MJ)	217	147	1,843	155
Nafta (Kg)	1.53	-	-	-
Vandens pėdsakas (L)	62	22,000	1,000	170,000
Žemė (kv. m.)	-	19.7	80	4,000
Trąšos (g)	-	457	3,000	-
Pesticidai (g)	-	16	0.04	-
Anglies pėdsakas (KgCO ₂ e)	21	27	25	46

Nustatyta, kad daugiausiai vandens sunaudoja žemės ūkio sektorius. Tekstilės pramonė – antroje vietoje pagal šį rodiklį. Teigiama, jog medvilnė yra ekologiškiausia medžiaga, tačiau vien tik jos auginimas reikalauja didelio vandens kiekio – pasaulio vidurkis siekia 10000 litrų vandens

kiekvienam kilogramui. Pavyzdžiui, kiekvieniems medvilniniams marškinėliams reikia apie 2700 litrų vandens. Uzbekistane iki 2014 m. medvilnė buvo pagrindinė auginama kultūra. Vanduo naudojamas iš Aralo jūros. Ir netgi įvedus įvairias vandens eikvojimo kontrolės priemones, Aralo jūra tiek nuseko, kad beveik išdžiūvo, o likęs vanduo – užterštas [14].

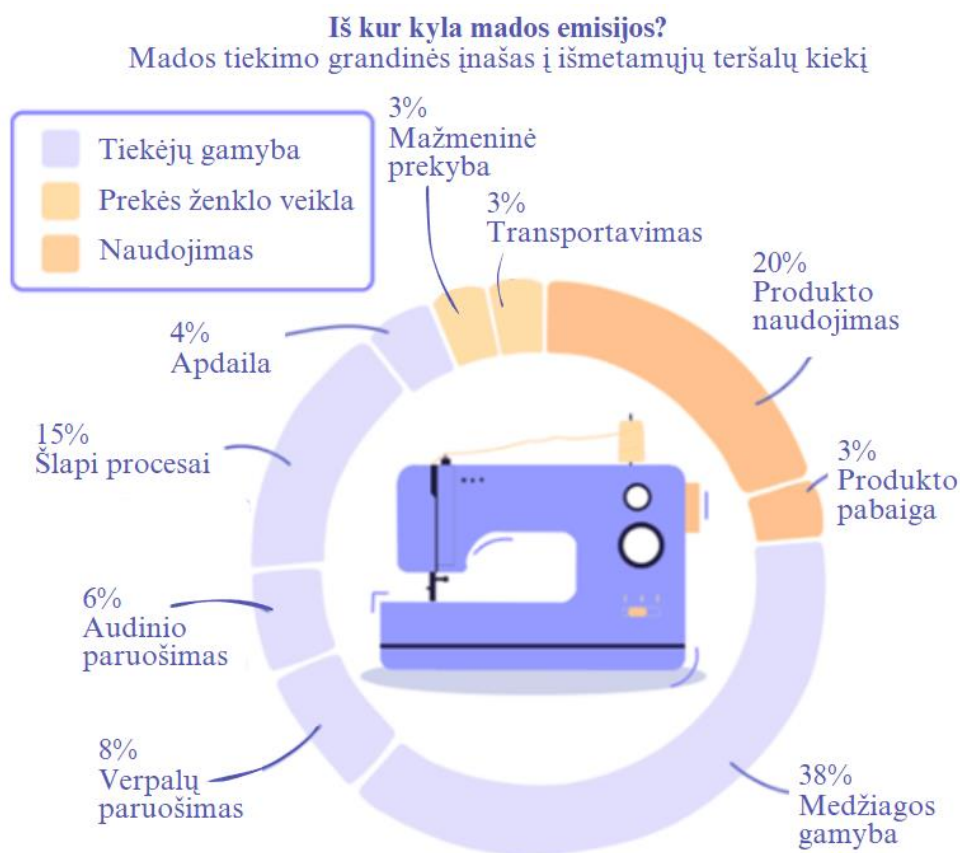
Dar viena problema – požeminių vandenų užterštumas, kurį sąlygoja žemės ūkyje naudojamos trąšos ir pesticidai. Medvilnės augimui naudojama daugiau pesticidų nei bet kuriai kitai kultūrai. Kadangi tekstilės gamyba dažnai vyksta sausuose regionuose, dėl itin didelio vandens bei trąšų naudojimo, vietos gyventojai dažnai susiduria su švaraus geriamojo vandens trūkumu [15].

Ariamos žemės trūkumas kelia susirūpinimą dėl derlingų plotų, skirtų tekstilės žaliavoms auginti. Ir augalinės, ir gyvulinės kilmės pluoštams reikalinga žemės ūkio paskirties žemė arba ganyklos, o sintetiniams pluoštams žemės reikia gerokai mažiau, nes jų gamyba nepriklauso nuo žemdirbystės ar gyvulininkystės [16].

Taip pat, žemės naudojimas kultivavimui ar gyvūnų auginimui gali sukelti dirvožemio degradaciją, cheminius vandens teršalus, miškų naikinimą, endeminių rūšių buveinių praradimą [17].

1.2.2. Tekstilės gamybos metu, susidarančios emisijos į orą

Emisijos susidaro visais drabužio gyvavimo etapais – nuo žaliavų išgavimo, perdirbimo, galutinės produkcijos skalbimo iki šalinimo. Vis dėlto, daugiausiai (apie 70 %) mados pramonės išmetamų teršalų susidaro gamybos procesuose [19].

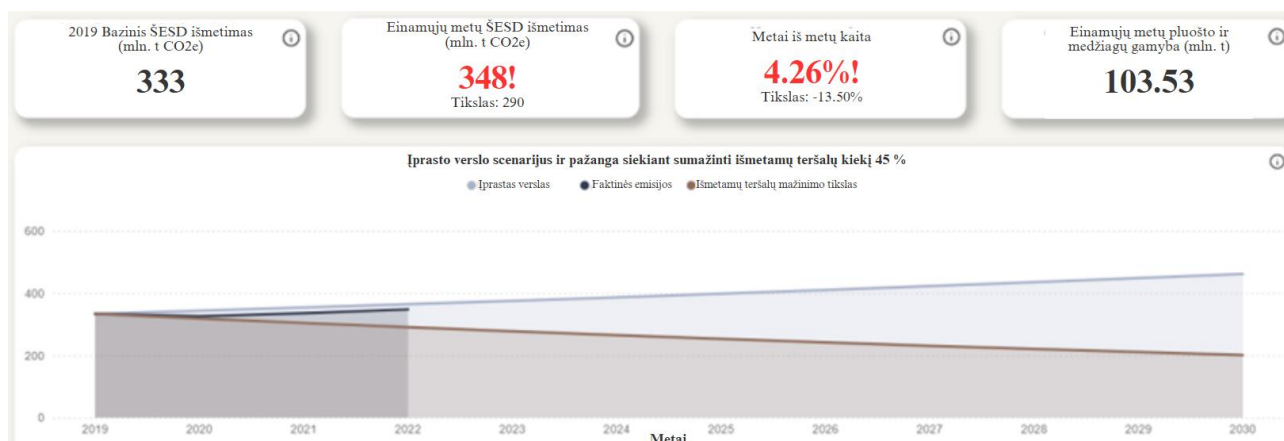


7 pav. Emisijų pasiskirstymas per mados tiekimo grandinės skirtingas stadijas [19]

Tekstilės gamyklose, kuriose žaliavos perdirbamos į audinius ir drabužius, sunaudojami dideli anglies, dujų ir kitų energijos šaltinių kiekiai. Perdirbimo procesai ne tik eikvoja ribotus gamtos išteklius, bet prisideda ir prie taršos. Kinija, Indija ir Bangladešas, turinčios daugiausia tekstilės gamyklų, susiduria su reikšmingu aplinkos poveikiu, todėl šios šalys skatinamos sparčiau pereiti prie tvaresnių energijos šaltinių [17].

Jei tekstilės gamybos ir vartojimo tendencijos išliks tokios, kokios yra dabar, kyla rizika, kad mados ir tekstilės pramonė nesugebės įgyvendinti „Climate+“ tikslo. Duomenys, pateikti 8 pav., rodo, kad net jei dabartiniai, rinkoje jau įrodyti sprendimai, pasiektų 50 %. visos pluošto ir žaliavų gamybos, tai lemtų tik trečdalį būtino ŠESD sumažinimo. Todėl žaliavų pakeitimas yra tik pirmas iš trijų esminių veiksmų, kuriuos reikia įgyvendinti, norint laiku pasiekti numatytus tikslus [35].

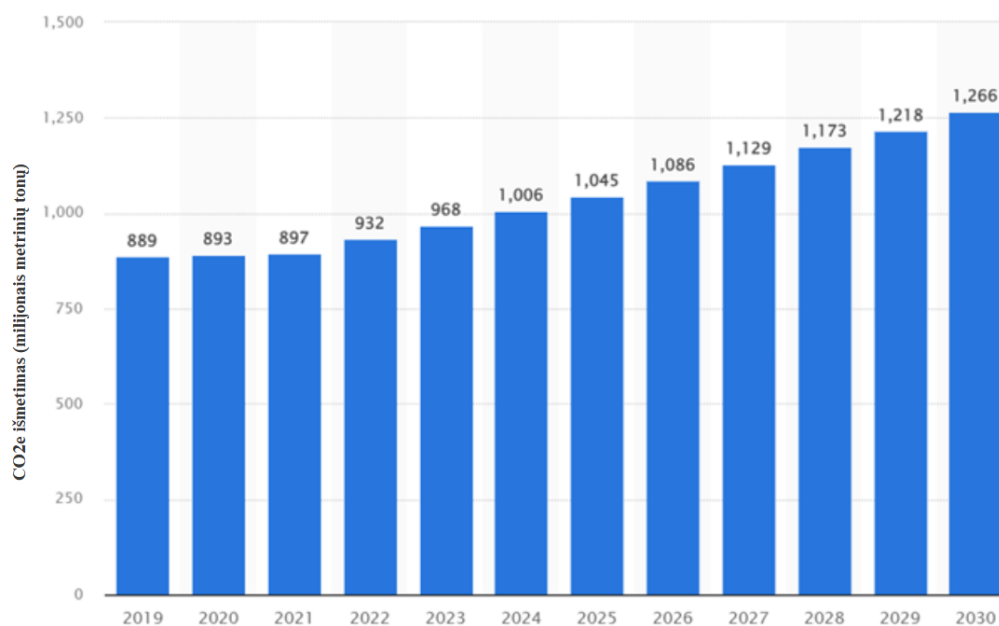
„Climate+“ yra strateginė iniciatyva, kurią 2019 m. pradėjo tekstilės birža. Iniciatyvos tikslas – skatinti mados, tekstilės ir drabužių pramonę iki 2030 m. sumažinti ŠESD 45 %. Šis tikslas atitinka Paryžiaus susitarimo tikslą apriboti visuotinį atšilimą iki 1,5 °C. „Climate+“ pliusas reiškia holistinį požiūrį, apimančią ne tik ŠESD išmetimą, bet ir tarpusavyje susijusias poveikio sritis, tokias kaip dirvožemio būklė, vandens tvarkymas ir biologinė įvairovė [52].



8 pav. Įprastinės veiklos scenarijus ir pažanga siekiant 45 % sumažinti išmetamųjų teršalų kiekį (Apranga, namai tekstilė, avalynė) [52]

Galima teigti, kad CO₂ emisija išsiskiria labiausiai gaminant sintetinius audinius, nes ypač daug šiltnamio efektą sukeliančių dujų išskiriama naftos gavybos, perdirbimo, gamybos metu. Augalinių audinių, pavyzdžiui., medvilnės, viskozės ar bambuko, CO₂ emisijos kiekis skiriasi, priklausomai nuo naudojamų gamybos metodų. Vieni audimo ar mezgimo būdai turi didesnę poveikį nei kiti. Pavyzdžiui, naudojant plonus siūlus, reikia daugiau energijos nei naudojant storus siūlus, nes kuriant drabužių plonais siūlais reikia atlikti daugiau operacijų [18].

Paskaičiuota, kad 2024 m. drabužių pramonė į atmosferą išmetė apie 959 mln. tonų anglies dioksido ekvivalentų. Taip pat apskaičiuota, kad jei nebus imtasi drastiškų veiksmų, iki 2030 m. šis skaičius pasieks beveik 1,2 mlrd. tonų [20].



9 pav. Drabužių pramonėje išskiriamas CO₂ kiekis, 2019-2030 m., mln. tonų [20]

1.2.3. Nuotekų užterštumas

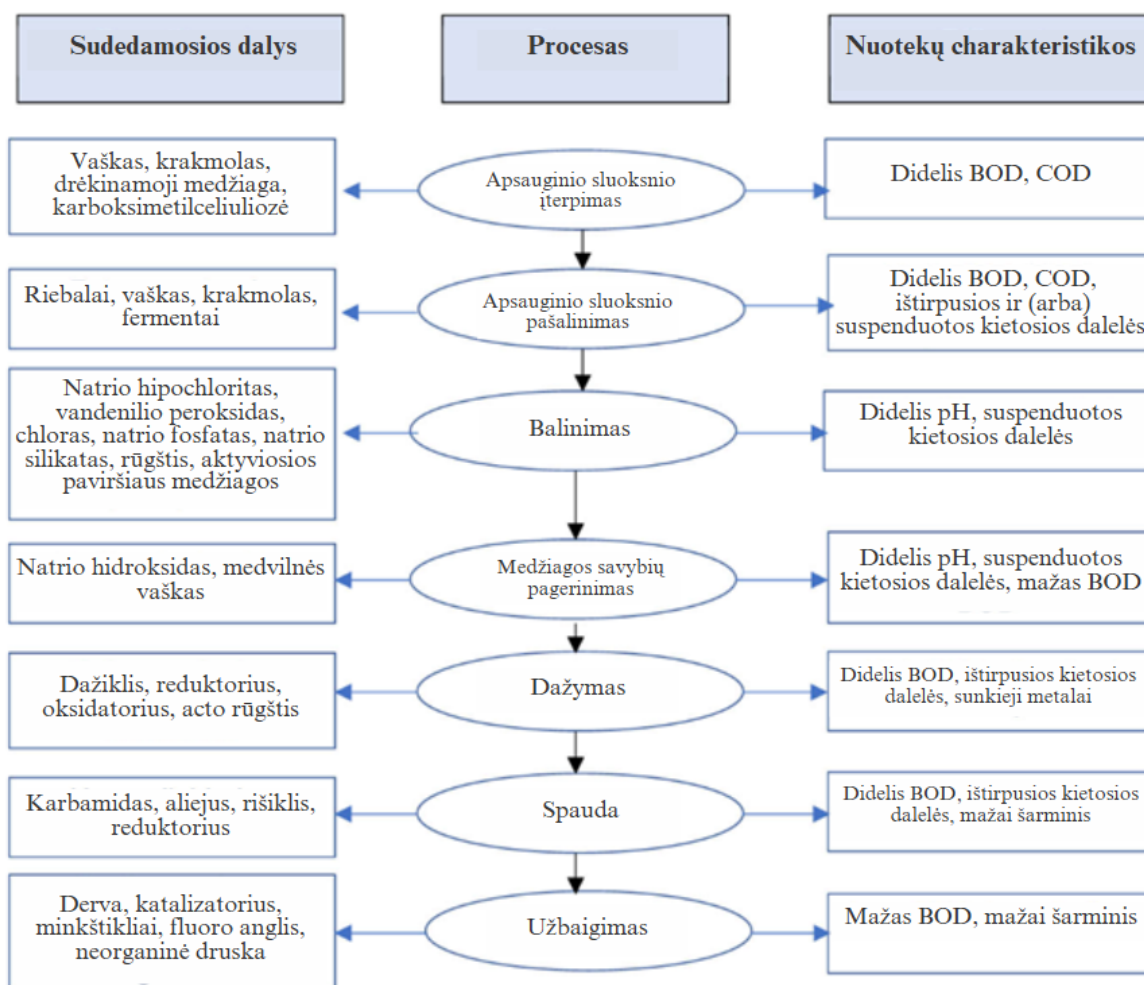
Vienas iš pagrindinių aplinkosaugos iššūkių tekstilės sektoriuje yra cheminių medžiagų naudojimas gamyboje. Apie 20 % viso pasaulio švaraus vandens yra užteršiamas dėl dažų ir cheminių medžiagų, kurios išleidžiamos iš tekstilės pramonės gamyklų [21].

Tekstilės pramonė savo gamybiniuose procesuose, ypač tekstilės medžiagų dažymui ir apdirbimui, sunaudoja itin daug vandens. Ši pramonė kasmet į nuotekas išleidžia iki 200 000 tonų dažų dėl dažymo proceso neefektyvumo. Dauguma sintetinių neapdorotų dažiklių, kurie patenka į aplinką, turi neigiamą poveikį. Net ir po valymo, tam tikra dalis pavojingų medžiagų lieka nuotekose. O tai gali sukelti oro, dirvožemio, augmenijos ir vandens išteklių taršą bei žmonių ligas [21].

Dažai yra nuodingi ir gali sumažinti ištirpusio deguonies kiekį vandenyje, į kurį patenka užterštos nuotekos. Dėl deguonies trūkumo, sulėtėja fotosintezės procesas, dėl kurio sutrinka vandens gyvūnų ir augalų augimas. Sintetiniai dažai yra kancerogeniniai, todėl gali sukelti įvairias ligas, kaip dermatitą, centrinės nervų sistemos sutrikimus, odos išbėrimą, alergines reakcijas [22].

Vanduo, iš pramoninėse zonose esančių telkinių, vėliau naudojamas augalų laistymui. Todėl užterštas vanduo teka iš dirvožemio į augalų audinius ir ten kaupiasi. Taip pat, dažų junginius absorbuoja žuvis ir kiti vandens gyvūnai, jų kūnuose kaupiasi sunkiųjų metalų jonai. Taip žmogaus mitybos grandinėje atsiranda dažų ir tekstilės pluošto [22].

Tekstilės pramonės nuotekose aptinkamos įvairios cheminės medžiagos, kaip aliejus, riebalai, natrio hidroksidas (NaOH), natrio sulfatas (Na₂SO₄), amoniakas (NH₃), vandenilio sulfidas (H₂S), švinas (Pb), sunkieji metalai. Tokios nuotekos pasižymi specifinėmis savybėmis. Šios charakteristikos apima aukštą temperatūrą, įvairius pH lygius, BDS, ChDS, TDS, sunkiųjų metalų ir stiprių pigmentų kieki. Skirtinguose tekstilės gamybos proceso etapuose susidarantių nuotekų ypatybės pavaizduotos 10 pav. [37].



10 pav. Tekstilės procesai ir operacijų metu susidarantių teršalų charakteristikos [37]

1.2.4. Tekstilės naudojimas

Naudojimo fazė apima daugumos drabužių skalbimą, džiovinimą ir lyginimą. Ši fazė taip pat gausiai prisideda prie šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos. Norint pasiekti geresnių rezultatų, reikėtų sumažinti skalbimo dažnumą, keičiant skalbimo ir džiovinimo metodus.

Vartotojai, naudojantys buitines skalbimo mašinas, visame pasaulyje, kasmet sunaudoja apie 20 trilijonų litrų vandens ir 100 TWh elektros energijos. Didžioji dalis – apie 90 % - energijos sunaudojama šildant vandenį. Siekiant sumažinti skalbimo proceso poveikį aplinkai, rekomenduojama rinktis skalbimą žemesnėje temperatūroje – 30°C, o ne 40°C, taip sumažinant ne tik energijos, bet ir vandens sąnaudas. Valymo technologijos skiriasi visame pasaulyje. Pavyzdžiui, linijinis džiovinimas lauke nereikalauja papildomos energijos, o džiovinimas patalpoje arba džiovyklėje naudoja energiją [23].

Nustatyta, jog prieš skalbimą, vilnoniai drabužiai dėvimi daugiau kartų nei kitų pluoštų. Taip sutaupoma energijos ir vandens. Natūralios vilnos pluošto savybės, tokios kaip, atsparumas kvapams ir dėmėms, leidžia ilgiau dėvėti rūbą, išlaikant jį tinkamos formos. Taip pat, vilnonius drabužius galima atnaujinti tiesiog pakabinus ore [24].



11 pav. Energijos naudojimas, skalbiant ir džiovinant [24]

Nustatyta, jog kiekvienas namų ūkis kasmet sutaupytų 27,2 kg CO₂ ekvivalento, jei skalbimo temperatūra būtų sumažinta nuo 40°C iki 30°C [25].



12 pav. Europos aplinkosauginiai pranašumai, kai skalbimo temperatūra sumažinama [25]

Skalbinui naudojamų ploviklių gamyboje dažnai naudojami linijiniai alkilbenzeno sulfonatai, fenoliai ir dirbtinės kvapiosios medžiagos, tačiau šios cheminės medžiagos yra labai toksiškos žmogui. Minėti junginiai gali sukelti širdies, plaučių, inkstų ir odos ligas. Optinis baliklis kelia grėsmę vandens buveinėms ir alerginę reakciją žmogaus organizme [26].

Mikroplastikas, išsiskiriantis iš tekstilės skalbimo proceso metu, yra labiausiai paplitęs mikrodalelių tipas, randamas įvairiose aplinkos srityse ir ekosistemose visame pasaulyje. Sintetinės tekstilės gaminių mikropluoštai išsiskiria dėl mechaninio ir cheminio įtempimo, kurį drabužiai patiria skalbimo mašinose [25].

Iš tekstilės kiekvienais metais į vandenyną yra išleidžiama iki 500 000 tonų mikroplastiko. Pagrindinė priežastis – naujų sintetinių drabužių skalbimas. Didžioji dalis mikroplastiko skaidulų išsiskiria per pirmus penkis skalbimo kartus [25].

Nustatyta, jog vidutiniškai 6 kg skalbinių į nuotekas išleidžia daugiau nei 700 000 mikroskopinių plastiko pluoštų. Daugiau nei 60 % tekstilės yra sintetinė. Sintetiniai pluoštai iš drabužių aptinkami dumble, nuotekų valymo įrenginiuose, skirtinguose pasaulio paplūdimiuose, upių žiotyse bei potvynių nuosėdose [27].

Per pastaruosius du dešimtmečius, gaminamų pigių sintetinių drabužių kiekis išaugo daugiau nei dvigubai. Greitosios mados įmonės masiškai gamina nebrangius, vienkartinius drabužius, kurie pagaminti iškastinio kuro pagrindu. Apskaičiuota, jog sintetinis pluoštas iki 2030 m. sudarys 73 % visos pluošto gamybos. Tačiau, žalingą poveikį daro ne tik sintetiniai pluoštai. Manoma, jog natūralūs pluoštai yra ekologiškesnis sintetinio pluošto pakaitalas, nes jie yra biologiškai skaidūs. Tačiau, iš tikrųjų, gamybos procese naudojami dažai ir apdirbimo medžiagos pakeičia įprastas natūralių pluoštų skilimo savybes ir neleidžia jiems suirti [28].

Mikroplastiko dalelės yra itin mažos ir gali netiesiogiai patekti į organizmus per vandens ir oro cirkuliaciją ir sukelia tris pagrindinius pavojus. Pirma, dauguma tekstilės mikroplastikų yra cheminiai pluoštai, kuriuos mikroorganizmai sunkiai virškina ir metabolizuoja dėl didelės molekulinės masės ir stabilų fizinių bei cheminių savybių. Todėl jie ilgai išlieka aplinkoje, kartais dešimtmečius ar net šimtmečius, tokiu būdu sutrikdydami organizmų imuninę sistemą, augimą ir dauginimąsi. Antra, norint pagerinti tekstilės savybes, tiek natūralių, tiek sintetinių pluoštų, gamyboje į juos yra pridama katalizatorių, dažiklių ar kitų priedų. Dauguma šių priedų yra mažos molekulinės masės organiniai junginiai arba sunkiųjų metalų neorganiniai junginiai, kurie biologiškai yra toksiški. Trečia, kadangi mikroplastikas turi didesnę paviršiaus plotą, lyginant su didesnio dydžio plastiko atliekomis, jis gali veikti kaip teršalų nešėjas ir migruoti per įvairias ekosistemas. Dėl šios priežasties, kyla pavojus vandens organizmams ir sukelia kancerogeninį poveikį žmonėms. Taip pat, absorbuodami kitus teršalus, mikroplastikai gali sukurti toksiškus junginius, kurie kelia fizinį ir biocheminį pavojų vandens organizmams [29].

1.2.5. Produktų tarnavimo laikas ir kokybė

Greitoji mada skatina efektyvią ir pigią drabužių gamybą. Tačiau dažnai tai lemia žemą gaminių kokybę, trumpą naudojimosi jais trukmę bei daro įtaką didėjantiems tekstilės atliekų srautams. Linijinė sistema (projektavimas-gamyba-pardavimas-šalinimas) ne tik prisideda prie didelės žalos ekosistemai ir sukelia daugybę poveikių, tokių kaip klimato kaita ir biologinės įvairovės nykimas, bet ir praranda didžiulius kiekius vertingų išteklių bei medžiagų [30].

Produkto naudojimo trukmės pailginimas daro didesnę poveikį aplinkai nei bet kuri kita priemonė. Pailginus drabužių tarnavimo laiką devyniais mėnesiais, poveikis aplinkai sumažėtų 20–30 %. Vidutiniškai padvigubėjus drabužių dėvėjimui, šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisija gali sumažėti 44 %, palyginti su naujo drabužio gamyba [31].

Gyvavimo trukmė metais susideda iš trijų rodiklių – metų skaičius, naudojimo kartų (dėvėjimosi) skaičius ir vartotojų skaičius. Vidutinė gyvavimo trukmė yra šiek tiek daugiau nei 3 metai. Vidutiniškai, drabužiai dėvimi 7 kartus prieš juos išmetant, nors šis skaičius turėtų siekti 100-200 dėvėjimo kartų. Per pastaruosius 15 metų, drabužių dėvėjimo skaičius prieš juos išmetant, sumažėjo 36 % [32].

1.2.6. Tekstilės atliekų tvarkymas

Kiekvienais metais visame pasaulyje susidaro daugiau nei 150 mln. tonų tekstilės atliekų. Daugiau nei 75 % šių atliekų yra šalinamos sąvartynuose, o tik 25 % yra perdirbamos arba panaudojamos pakartotinai. Į drabužius atgal perdirbama mažiau nei 1 %. Remiantis JAV apsaugos agentūros (USEPA) duomenimis, tekstilės atliekos sudaro apie 5 % viso sąvartynuose užimamo ploto [33].

Daugelis senų drabužių yra išmetami į sąvartynus, o tai leidžia daryti prielaidą, jog visuomenėje vis dar vyrauja įsitikinimas, kad tekstilės gaminiai natūraliai sunyksta aplinkoje. Natūralūs pluoštai, tokie kaip medvilnė, šilkas ar vilna, susideda iš organinių medžiagų, kurios palankiomis sąlygomis gana greitai suskaidomos mikroorganizmų. Priešingai, sintetiniai audiniai, tokie kaip poliesteris, nailonas ar akrilas, gamtoje išlieka itin ilgai, nes jų cheminė struktūra yra atspari aplinkos poveikiui ir biologiniam skaidymui [34].

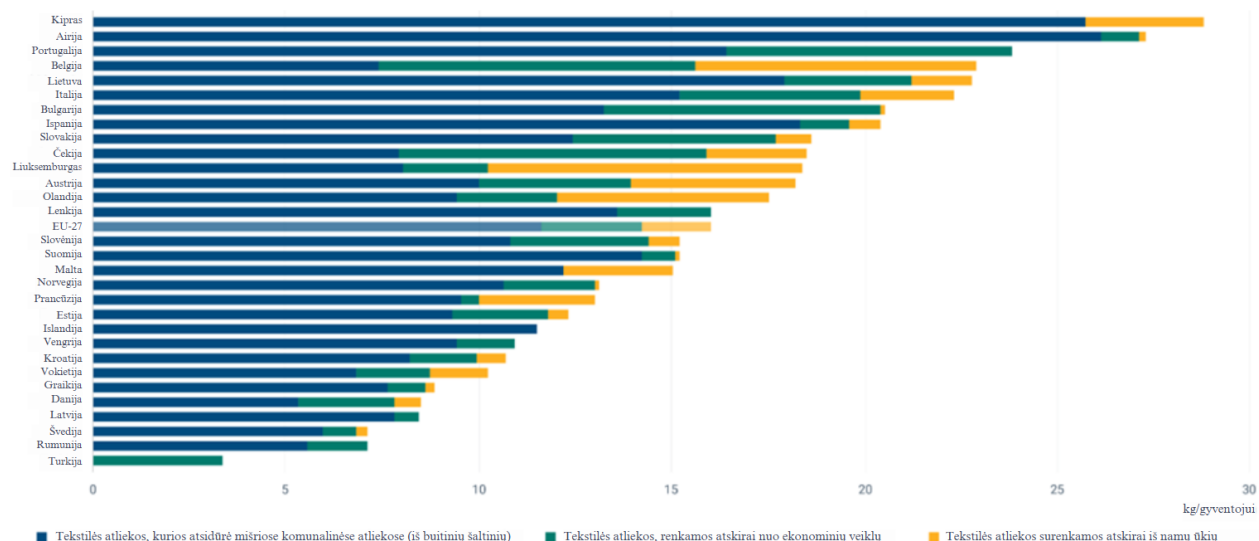


13 pav. Audinių suirimo laikas [34]

ES kasmet susidaro apie 12,6 mln. tonų tekstilės atliekų, iš kurių drabužiai ir avalynė sudaro 5,2 mln. tonų. Tai atitinka 12 kg atliekų vienam gyventojui per metus. Šiuo metu tik 22 % šių atliekų po vartojimo yra surenkama atskirai, siekiant jas perdirbti ar panaudoti pakartotinai o likusi dalis vis dar deginama arba patenka į sąvartynus [5].

Greitosios mados principu kuriami drabužiai dažnai pasižymi trumpu naudojimo laikotarpiu, o tai skatina perteklinį vartojimą ir didina atliekų kiekį. Dėl to susidaro per daug atliekų, kurių didžiosios dalies negalima perdirbti. Visame pasaulyje tekstilės gamyklose 25 – 40 % sunaudotų audinių tampa atliekomis. O dėl ribotų pakartotinio panaudojimo ir perdirbimo galimybių Europoje, nemaža dalis nenaudojamų ar paaukotų drabužių dalis eksportuojama į Afrikos ir Azijos šalis, kur jie dažnai patenka į sąvartynus ir neoficialius atliekų srautus [6].

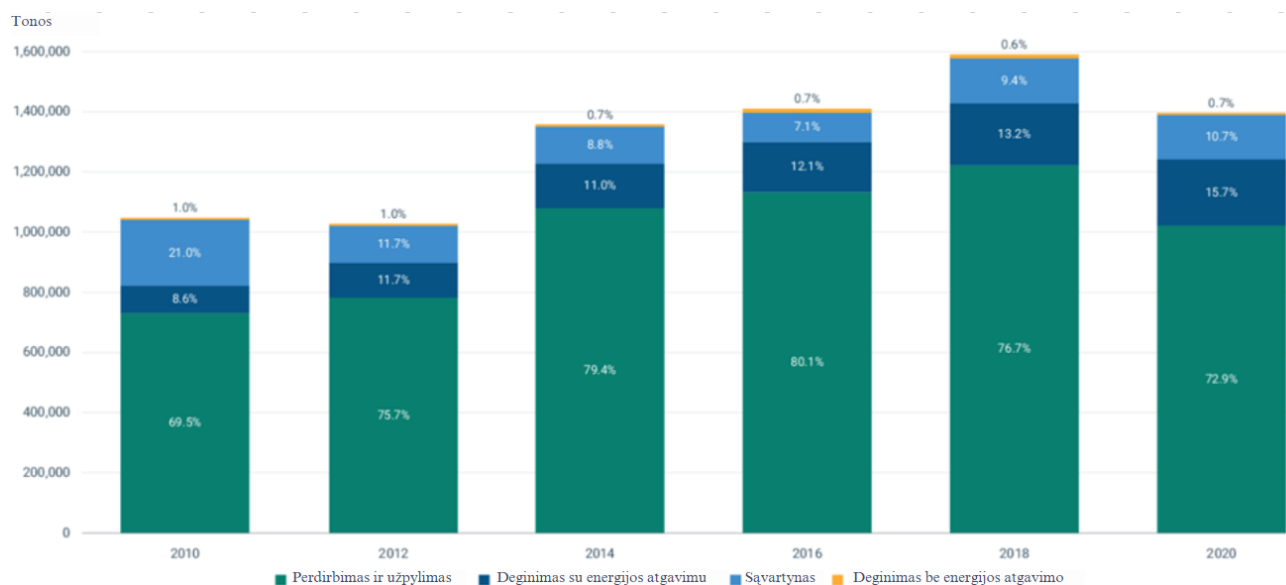
Apskaičiuota, kad 2020 m. ES-27 iš viso susidarė 6,95 mln. tonų tekstilės atliekų – apie 16 kg vienam asmeniui. Iš jų 4,4 kg vienam asmeniui buvo surinkta atskirai pakartotiniam naudojimui ir perdirbimui, o 11,6 kg vienam asmeniui atsidūrė mišrioje buitinėse atliekose. 14 pav. pavaizduotas tekstilės atliekų susidarymas pagal šalį 2020 m. Jame pavaizduotos tekstilės atliekos, surinktos iš ūkinės veiklos ir iš namų ūkių, kartu su tekstilės atliekomis, kurios atsidūrė mišrioje buitinėse atliekose (kg vienam gyventojui) [7].



14 pav. Tekstilės atliekų susidarymas 2020 m., kg kiekvienam gyventojui [7]

Duomenys gali neatitikti dėl skirtingų surinkimo sistemų kiekvienoje valstybėje narėje ir skirtingų atliekų kategorijų interpretacijų. Pavyzdžiui, kai kuriose šalyse pakartotiniam naudojimui surinkta tekstilė gali būti klasifikuojama ne kaip atliekos, o kaip produktai. Vidutinis tekstilės atliekų surinkimo lygis Europoje yra tik 12 %, o tai rodo, kad likusi dalis patenka į mišrias komunalines atliekas ir dėl to šalinamos sąvartynuose arba sudeginamos [7].

15 pav. parodytas pastebimas tekstilės atliekų šalinimo į sąvartynus ES sumažėjimas. 2010 metais į sąvartynus buvo išvežta 21 % tekstilės atliekų, tačiau iki 2020 metų šis skaičius sumažėjo iki 11 %. Tai reiškia, kad nuo 220 000 tonų 2010 m. sumažėjo iki 150 000 tonų 2020 m. Tekstilės šalinimas į sąvartynus iki 2020 m. daugelyje šalių sumažėjo, o Bulgarijoje, Estijoje, Prancūzijoje, Lenkijoje, Latvijoje, Lietuvoje, Nyderlanduose ir Vengrijoje – padidėjo. Tuo pačiu metu tekstilės atliekų, nukreiptų energijai gauti, kiekis išaugo nuo 9 % 2010 m. iki 16 % 2020 m. Tai atitinka padidėjimą nuo 90 000 tonų 2010 m. iki 220 000 tonų 2020 m. [7].



15 pav. Tekstilės atliekų apdorojimas ES, 2010-2020 m., procentais [7]

Lietuva, kartu su kitomis ES šalimis, parengė atskirą sistemą tekstilės atliekų rinkimui iš namų ūkių iki 2025 m. sausio 1 d. Numatomas tekstilės atliekų kiekis komunaliniuose atliekų srautuose siekia apie 8 % iš viso Lietuvos komunalinių atliekų kiekio, ir dauguma šių atliekų šiuo metu yra deponuojamos arba deginamos [8].

Surinkimo lygis dėvėtų tekstilės atžvilgiu Lietuvoje yra nepakankamas – tik 13 % viso šalyje parduoto tekstilės kiekio yra surenkama atskirai [9].

1.3. Tekstilės atliekų teisinis reglamentavimas

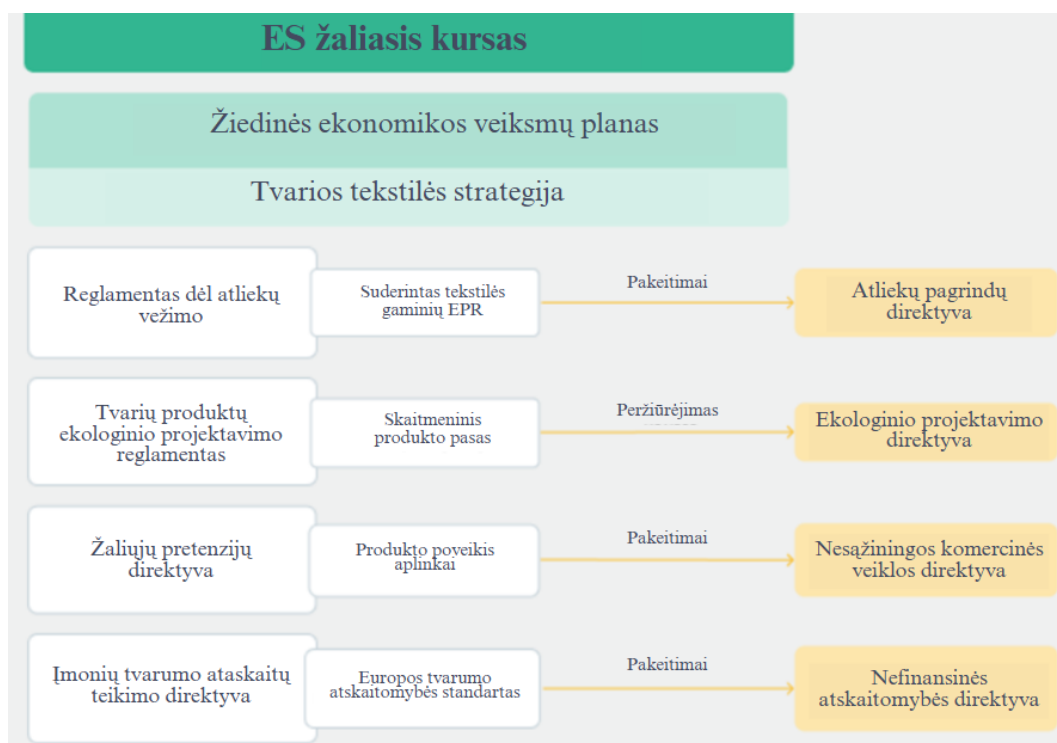
2024 m. pasaulinė tekstilės pramonė patyrė reikšmingų politikos pokyčių, atspindinčių suaktyvėjusį įsipareigojimą siekti tvarumo ir atskaitomybės. Vyriausybės ir organizacijos visame pasaulyje įvedė taisykles, skirtas spręsti aplinkosaugos iššūkius ir užtikrinti ekonomikos tvarumą. Šiomis priemonėmis siekiama paskatinti pramonę mažinti poveikį aplinkai, gerinti darbo sąlygas ir skatinti apyvartumą [53].

2024 m. Jungtinės Valstijos priėmė ir išplėtė pagrindinius teisės aktus, skirtus tvarumui ir darbo problemoms tekstilės pramonėje spręsti. Ši politika pabrėžia augantį aplinkos ir socialinių įsipareigojimų suvokimą: Meino PFAS taršos prevencijos įstatymas, JAV vertybinių popierių ir biržų komisijos (SEC) su klimatu susijusi informacija, Kalifornijos atsakingo tekstilės atkūrimo įstatymas (SB 707) [53].

Europos žaliojo kurso tikslas – iki 2050 m. Europą paversti pirmuoju klimatui neutraliu žemynu. Šiuo tikslu jame nustatomi plataus užmojo aplinkosaugos tikslai ir uždaviniai, kurie savo ruožtu yra nuolat priimamų direktyvų ir reglamentų pagrindas. Vienas iš pagrindinių tikslų yra sumažinti grynąjį ŠESD kiekį, siekiant iki 2030 m. sumažinti mažiausiai 55 %, palyginti su 1990 m. užfiksuotu lygiu. Pabrėžiant miškų atkūrimo ir ekosistemų atkūrimo svarbą, iniciatyva taip pat siekiama iki 2030 m. ES pasodinti 3 milijardus medžių. Europos žaliajame kurse yra du konkretūs planai, kurie yra svarbūs norint suprasti esamus ir būsimus klimato teisės aktus [11].

Siekdama sukurti ekologiškesnę tekstilės sektorių, ES turi tvarios ir žiedinės tekstilės strategiją. Ši strategija siekia sukurti ekologiškesnę ir atsakingesnę tekstilės pramonę, mažinant atliekas, skatinant perdirbimą ir tvarius verslo modelius. Iki 2030 m. planuojama, kad visi tekstilės gaminiai būtų ilgaamžiai, perdirbami ir nekenksmingi aplinkai. Strategija taip pat kovoja su greitąja mada, skatina sąžiningą gamybą ir geresnes darbo sąlygas visoje tiekimo grandinėje [6].

ŽEVP yra Europos žaliojo kurso kertinis akmuo. Ją sudaro 35 konkretūs veiksmai, ypatingas dėmesys skiriamas tekstilės sektoriui, kuris pripažintas viena iš daugiausiai išteklių reikalaujančių pramonės šakų. Žiedinės ekonomikos veiksmų plane pristatoma daugybė iniciatyvų, skirtų skatinti tvarų gaminių dizainą, sukurti žiedinės ekonomikos praktiką ir sumažinti atliekų susidarymą [10].



16 pav. Pagrindiniai klimato reglamentai ir direktyvos [10]

1.4. Tekstilės gamybos proceso poveikio aplinkai mažinimo technologijos

Didėjant susirūpinimui dėl klimato kaitos, tekstilės sektorius vis dažniau ieško technologijų ir strategijų, mažinančių anglies pėdsaką. Atsižvelgiant į šias priežastis, buvo sukurta daugybė inovatyvių technologijų, skirtų mažinti CO₂ emisijas visoje tekstilės gamybos grandinėje. Tekstilės ir aprangos sektorius gali gerokai sumažinti anglies dioksido emisijas, jei vietoje neefektyvios šilumos gamybos iš iškastinio kuro pereitų prie švaresnės, elektrifikuotos šilumos gamybos. Šiame procese būtų naudojama elektra, kuri išskiria mažai arba visai neišskiria CO₂ į aplinką [36].

Vandens tarša yra dar vienas svarbus iššūkis, nes pramonėje susidaro daug nuotekų, kuriose yra įvairių teršalų, kurie gali pakenkti ekosistemoms ir kelti pavojų visuomenės sveikatai. Tekstilės gamyboje daug vandens sunaudojama, tokiais etapais kaip paruošiamasis apdorojimas, dažymas ir apdaila. Tai gali prisidėti prie vandens trūkumo kai kuriuose regionuose. Todėl vandenį tausojančių technologijų pritaikymas gali sumažinti vandens suvartojimą [37].

Tradiciniai audiniai, tokie kaip poliesteris ir nailonas, yra pagaminti iš plastiko ir kenkia aplinkai. Augalinės kilmės pluoštai gaunami iš įvairių augalų dalių, įskaitant sėklas, stiebus, lapus ir vaisius. Skirtingai nei sintetiniai pluoštai, gauti iš naftos šaltinių, augaliniai pluoštai yra biologiškai skaidūs ir turi žymiai mažesnę poveikį aplinkai. Šios medžiagos gali būti ne tik tvari alternatyva, bet ir prisidėti prie atliekų mažinimo panaudojant šalutinius žemės ūkio procesų produktus. Be to, dėl technologijų ir perdirbimo metodų pažangos augaliniai pluoštai tampa universalesni ir patvaresni, atveriant naujas galimybes juos pritaikyti įvairiose pramonės šakose [54].

1.4.1. Vandens nenaudojančios arba mažai vandens reikalaujančios dažymo technologijos

Tekstilės pramonė yra viena iš didžiausių vandens vartotojų savo gamybos sistemoms ir visoms perdirbimo operacijoms, todėl perėjimas prie tvaresnio vandens naudojimo tampa organizacijų

prioritetu. Pramonės iššūkis yra pritaikyti vandeniui nekenksmingas technologijas pirminio apdorojimo, dažymo, spausdinimo ir apdailos operacijoms. Nauji gamybos metodai, nenaudojantys vandens arba naudojantys mažesnę vandens kiekį, pavyzdžiui, superkritinis dažymas anglies dioksidu ir dažymas ultragarsu [38].

Superkritinių skysčių dažymo technologija yra tvari alternatyva tradiciniams spausdinimo ir dažymo procesams, kurie naudoja daug vandens ir energijos. Vietoje vandens šiame metode naudojamas superkritinis anglies dioksidas (sCO_2), kuris pasižymi dideliu tirpumu ir afinitetu, leidžiančiu efektyviai ir tolygiai pernešti dažus į audinius [39].

Vienas iš pagrindinių sCO_2 dažymo privalumų – galimybė atskirti ir perdirbti tiek anglies dioksidą, tiek nepanaudotus dažus. Be to, ši technologija pašalina vandens reikalaujančius plovimo ir džiovavimo etapus bei nereikalauja cheminių priedų, tokių kaip dispergentai, išlyginamosios medžiagos ar lėtintuvai. Tai ne tik didina gamybos efektyvumą, bet ir ženkliai sumažina energijos sąnaudas [39].

sCO_2 dažymo procesas gali būti vykdomas dviem pagrindiniais būdais: statiniu ir dinaminiu dažymu. Šiai technologijai taikomos skirtingos sistemos, tokios kaip statinio dažymo sistema, dinaminio pluošto dažymo sistema ir dinaminė dažymo sistema, kurios optimizuoja procesą pagal audinio tipą ir specifinius eksploatacinius reikalavimus [39].

Įprastinis tekstilės dažymas vandeniui	Alternatyvus tekstilės dažymas naudojant SC-CO ₂
● Didelis vandens sunaudojimas ● Didelis druskų ir šarmų kiekis ● Dažiklių molekulių hidrolizė ● Brangus vandens valymas ● Tekstilės džiovavimo etapas	● Vandens naudojimo panaikinimas ● Nėra priedų ● Nėra dažiklio molekulių hidrolizės ● Negaminamas užterštas vanduo ● Nėra džiovavimo etapo (taupoma energija) ● Trumpesnis proceso laikas dėl didelio difuzijos koeficiento ir mažo pasipriešinimo masės pernašai ● Lengvas dažiklio atskyrimas nuo SC-CO₂ su dažiklio atgavimu ● Anglies dioksidas gali būti naudojamas pakartotinai

17 pav. Superkritinio CO₂ apdorojimo palyginimas su įprastiniu vandens pagrindu atliekamu tekstilės apdorojimu ir dažymu [39]

Ultragarso dažymas yra novatoriška technika, kuri naudoja ultragarso bangas, kad pagerintų tekstilės dažymo procesą. Šis metodas ypač naudingas įvairių tipų pluoštams, įskaitant medvilnę, vilną ir sintetines medžiagas, nes žymiai sumažina energijos ir cheminių medžiagų poreikį, palyginti su tradiciniais dažymo būdais. Ultragarso taikymas dažymo metu palengvina dažų aglomeratų skilimą, padidina dažų molekulių masės pernešimą ir padidina difuzijos greitį į pluoštus. Dėl to šis metodas leidžia dažyti esant žemesnei temperatūrai ir skysčių santykiui, o tai leidžia sutaupyti vandens, energijos ir dažų sąnaudas. Pavyzdžiui, dažymas mažu skysčių santykiu gali sumažinti bendrą poveikį aplinkai, sumažindamas nuotekų susidarymą [40].

1.4.2. Alternatyvios žaliavos tekstilės gamybai

Maistinių augalų auginimas sukuria didžiulį atliekų kiekį iš tų augalų dalių, kurios nėra vartojamos (pvz.: lapai, žievės, vaisių odelės ir kt.). Vidutiniškai kiekvienas nuimto maisto kilogramas atitinka 1,5 kilogramo likučių, o vien iš bananų derliaus susidaro 270 mln. tonų atliekų. Dažnai šių atliekų likučiai sudeginami arba paliekami pūti, padarydami didelę žalą aplinkai, nes yrant pasėlių šalutiniams produktams susidaro daug šiltnamio efektą sukeliančių dujų, o tai prisideda prie klimato

kaitos. Augalų biomasėje, t.y. atliekų likučiuose, yra įvairių biopolimerų, tokių kaip celiuliozė, ligninas ir pektinas, atsinaujinančių šaltinių, kuriuos galima paversti tekstilės pluoštu [41].

Pietų Taivane kasmet užauginama 2 000 tonų kakavos, tačiau tik 20 % vaisių perdirbama į šokoladą. Panaudojamas minkštimas ir sėklos, o likęs lukštas, kuris sudaro 80 % vaisiaus, laikomas žemės ūkio atliekomis ir skirtas deginti. Tačiau buvo sukurtas procesas, kuris suteikia lukštams naują gyvybės formą – iš jų gaminami biologiškai suyrantys siūlai. Ūkininkai surenka lukštus ir palieka juos išdžiūti saulėje, o po to jie susmulkinami, kad būtų paruošti gamybos procesui. Susmulkinti lukštai sumaišomi su fermentu, pagamintu pagal išskirtinę formulę, ir mišinys paliekamas fermentuotis. Taip susidaro angliavandenis, kurį galima pridėti į „Masterbatch“ procesą ir pagaminti biologiškai skaidžius siūlus, panašius į poliesterio ir nailono, iš kurių galima verpti audinius [42].

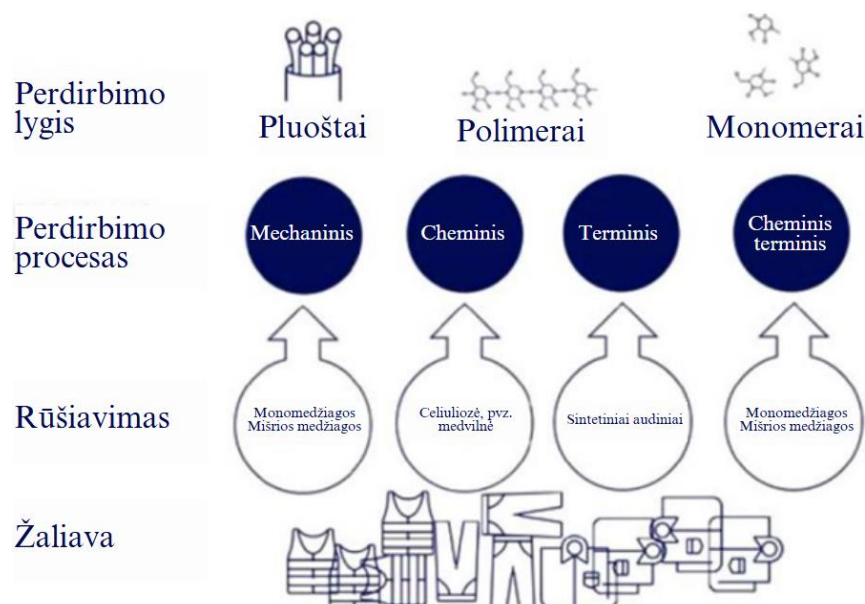


18 pav. Kakavos atliekų perdirbimas į biologiškai skaidų pluoštą [42]

Oda yra populiari medžiaga, naudojama gaminant drabužius, batus, aksesuarus, baldus ir kt. Dėl odos pramonės, kiekvienais metais paskerdžiama daugiau nei milijardas gyvūnų. Gyvūnų auginimas odos gamybai gali trukti iki trejų metų, kol išgaunamas reikalingas odos fragmentas. Odos rauginamos ir apdorojamos keliomis sąlygomis, dėl kurių išsiskiria toksiškos cheminės medžiagos ir išmetamos ŠESD. Viena iš tvarių alternatyvų gyvūnų odai yra grybų pagrindu pagaminta oda [43].

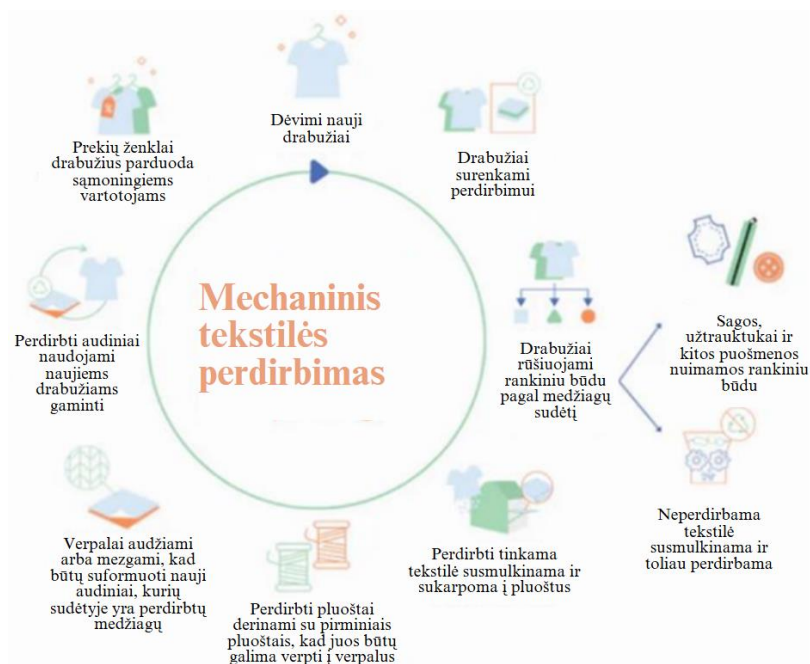
1.4.3. Perdirbimo technologijos

Pastaraisiais metais išaugo tekstilės perdirbimo apimtys, todėl perdirbimo technologijų poreikis taip pat padidėjo. Ypač tos technologijos, kurios taikomos konkrečioms pluoštams ar pluoštų mišiniams. Šios technologijos pagrįstos mechaniniais, cheminiais ir terminiais procesais [44].



19 pav. Skirtingi tekstilės atliekų perdirbimo procesai [44]

Mechaninis perdirbimas – tai tekstilės audinių perdirbimo procesas, kuriame nenaudojamos cheminės medžiagos. Jo metu audiniai kelis kartus smulkinami ir karpomi, kol iš jų išgaunami atskiri pluoštai. Gautas pluoštas vėliau naudojamas naujai tekstilei verpti. Šis metodas ypač tinkamas vienos rūšies audiniams, pavyzdžiui, 100 % medvilnei, nes tokius audinius lengviau perdirbti – jų pluoštai nereikalauja sudėtingo atskyrimo [45].



20 pav. Mechaninis tekstilės perdirbimas [45]

Cheminio perdirbimo metu medžiagos yra suskaidomos į mažesnius polimerus arba pagrindines sudedamąsias dalis. Šis procesas vyksta kontroliuojamoje aplinkoje, uždaru būdu, todėl susidaro minimalus atliekų kiekis. Gautus mažesnius polimerus ir pagrindines medžiagas galima pakartotinai polimerizuoti, iš jų sukuriant aukštos kokybės tekstilės pluoštus. Šis perdirbimo metodas taikomas įvairių rūšių pluoštams, tokiems kaip medvilnė ir poliesteris [46].



21 pav. Perdirbimo procesas cheminio perdirbimo metu [46]

Terminis tekstilės atliekų perdirbimas, dar vadinamas „energijos atgavimu“ arba „atliekų pavertimu energija“, reiškia tekstilės medžiagų konvertavimą į naudingą energiją, pavyzdžiui, šilumą ar elektrą, pasitelkiant deginimą ar kitus terminius procesus. Šis metodas dažniausiai taikomas užterštoms, mišrioms arba sunkiai atskiriamoms tekstilės medžiagoms, taip pat toms, kurių būvio ciklas jau baigėsi ir jos netinkamos perdirbimui. Terminis perdirbimas skirstomas į termo-mechaninius ir termo-cheminius procesus. Termo-mechaninio proceso metu polimeras yra tiesiog išlydomas, išlaikant jo grandines nepažeistas, o termo-cheminio proceso metu šios grandinės suskaidomos į mažos molekulinės masės komponentus [47].

1.5. Būvio ciklo analizės ir straipsnių analizė tekstilės srityje

Būvio vertinimo metodika, naudojama gaminio poveikiui aplinkai įvertinti viso jo būvio ciklo metu, tapo itin svarbia priemone sprendžiant mados ir drabužių ženklų ekologinio pėdsako problemas. Didėjantis dėmesys BCV nėra vien tik mados tendencija, bet ir atsakas į besikeičiančius teisinius reikalavimus. Įmonių tvarumo ataskaitų teikimo direktyva (CSRD) siekiama, jog įmonės ir bendrovės reguliariai skelbtų ataskaitas apie socialinę ir aplinkos riziką, su kuria jos susiduria, ir apie jų veiklos poveikį žmonėms bei aplinkai. Tai padeda investuotojams, pilietinės visuomenės organizacijoms, vartotojams ir kitoms suinteresuotoms šalims įvertinti įmonių tvarumą įgyvendinant Europos žaliąjį susitarimą. Šie reikalavimai įpareigoja mados įmones atlikti išsamų savo gaminių BCV ir skaidriai dalytis šiais duomenimis su vartotojais [48][55]. Yra nemažai mokslinių tyrimų apie medvilnės bei poliesterio tekstilės bendrai ir marškinėlių atskirai poveikio aplinkai vertinimą, tačiau mokslinių tyrimų, kurie palygintų mišrios tekstilės ir tekstilės su lipdukais poveikį aplinkai dar nėra atlikta.

2020 metų tyrimą „*Life cycle assessment of cotton woven shirts and alternative manufacturing techniques*“ atliko mokslininkai Hilal Kazan, Deniz Akgul ir Aslihan Kerc [49]. Tyrime atliktas 100 % medvilninių marškinių gamybos būvio ciklo vertinimas – nuo medvilnės auginimo iki galutinio

produkto. Šioje srityje buvo sukurti ir įvertinti keturi alternatyvūs gamybos scenarijai. Šie scenarijai apima tradicinių medvilninių marškinių gamybą, ekologiškos medvilnės auginimą, kartu su atsinaujinančios energijos naudojimu gamybos etape, natūralaus dažymo įvertinimą gamybos procese ir regeneruotos medvilnės kaip žaliavos naudojimą. Kiekvienam iš šių scenarijų buvo įvertintos kelios poveikio aplinkai kategorijos, įskaitant visuotinį atšilimą, rūgštėjimą ir eutrofikacijos potencialą. Palyginti su įprastu medvilnės auginimu (1 scenarijus), auginant ekologišką medvilnę (2 scenarijus) šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisija sumažėjo 58 %. Ši GAP pagerėjimą lemia kelios priežastys, pavyzdžiui, perėjimas nuo cheminių trąšų prie organinių trąšų, herbicidų, insekticidų ir fungicidų nenaudojimas. Be to, vietoj įprastų energijos šaltinių naudojant fotovoltines (PV) plokštes (2 scenarijus), GAP visais gamybos etapais sumažėja 70 %. Šie rezultatai pabrėžia atsinaujinančių energijos šaltinių naudojimo GAP svarbą. Dėl pirmiau išvardytų priežasčių, palyginti su 1 scenarijumi, RP (rūgštėjimo potencialas), EP (eutrofikacijos potencialas) ir GAP 2 scenarijuje sumažėjo atitinkamai 52 %, 48 % ir 70 %. 3 scenarijus skyrėsi dažymo etapu. Naudojant natūralius dažus, o ne įprastus, sumažėjo bendras GAP (11 %), RP (18 %), EP (23 %) poveikis. Pagal 4 scenarijų buvo įvertintas perdirbtos medvilnės pūkelių naudojimas, todėl medvilnės auginimo etapo poveikio nėra. Pagal šį scenarijų panaudoti medvilniniai audiniai surenkami, atskiriami pagal spalvas ir gaminami smulkinti ir spalvoti medvilniniai siūlai. Todėl papildomai dažyti nereikia. Nors ši programa padidino RP, EP, GAP poveikį verpalų gamybos etape, ji sumažino bendrą RP, EP, GAP poveikį atitinkamai 96 %, 90 %, 47 % [49].

Horn, S. et al. [50] (2023 m.) savo straipsnyje „*Environmental sustainability assessment of a polyester T-shirt*“ nagrinėja poliesterio marškinėlių linijinio būvio ciklo poveikį aplinkai, taikydami būvio ciklo vertinimą, ir vertina naudą, kurią galima pasiekti įgyvendinant įvairias žiedinės ekonomikos strategijas. Tyrime aptariami 7 scenarijai:

- 1 scenarijus (S1): marškinėlių sudegimas po pirmojo naudojimo ir energijos atgavimas.
- 2 scenarijus (S2): marškinėlių pakartotinis naudojimas ir sudegimas (su energijos atgavimu) pasibaigus jo gyvavimo laikui.
- 3 scenarijus (S3): marškinėlių nuoma kasmet naujam žaidėjui pašalinant senus atspaudus ir spausdinant iš naujo.
- 4 scenarijus (S4): marškinėlių gamyba iš perdirbto poliesterio medžiagos.
- 5 scenarijus (S5): marškinėlių perdirbimas į naują poliesterio pluoštą, pasibaigus jų gyvavimo laikui.
- 6 scenarijus (S6): produkto naudojimo efektyvumo didinimas mažinant plovimų skaičių ir vengiant džiovinimo skalbyklėje.
- 7 scenarijus (S7): žiedinės ekonomikos metodų derinimas pagal scenarijus S2, S4, S5 ir S6.

Scenarijus S7 yra aiškiai efektyviausias visose poveikio kategorijose, o tai logiška, nes jame susideda visa kitų scenarijų teikiama nauda. Įgyvendinus visas žiedinės ekonomikos strategijas kartu, poveikis ženkliai sumažėja visose kategorijose – nuo 52 % (jūrinė eutrofikacija) iki 77 % (išteklių išekvojimas). Tarp atskirų scenarijų, S6 išsiskiria kaip efektyviausias pasirinkimas. Šis scenarijus remiasi prielaida, kad drabužių naudojimo fazė taps efektyvesnė, kai jie bus rečiau skalbiami ir nedžiovinami džiovyklėje. Mažesnis plovimo ir džiovinimo intensyvumas reikšmingai sumažina poveikį aplinkai, ypač klimato kaitos ir išteklių išekvojimo kategorijose, nes sumažėja energijos sąnaudos. Tuo tarpu perdirbimo scenarijai (S4 ir S5) sumažina poveikį vidutiniškai tik nuo 5 % iki 10 % įvairiose poveikio kategorijose. Taip yra todėl, kad perdirbimo procesai reikalauja energijos, o

perdirbant audinius dažnai reikia papildyti pirminėmis medžiagomis, dėl ko gaunama nauda mažėja. Scenarijai, skirti didinti drabužių naudojimo ciklą skaičių (S2 ir S3), gali sumažinti bendrą poveikį aplinkai nuo 13 % iki 27 %. Tačiau šie privalumai riboti, nes didesnis naudojimo ciklo skaičius lemia intensyvesnį plovimą ir džiovinimą, o tai mažina bendrą naudą [50].

1.6. Teorinės darbo dalies aptarimas

Tekstilės pramonė yra viena iš didžiausių aplinkos teršėjų, o jos poveikį lemia gamybos metu sunaudojami ištekliai, didelės CO₂ emisijos, vandens užterštumas ir atliekų kiekiai. Ypač didelis dėmesys skiriamas sintetiniams pluoštams, tokiems kaip poliesteris, kurie sudaro daugiau nei pusę visos pluošto gamybos, tačiau dėl sudėtingo perdirbimo jis kelia rimtų aplinkosauginių iššūkių. Nors natūralūs pluoštai, tokie kaip medvilnė, atrodo tvaresni, jų gamyba reikalauja didelių vandens ir žemės resursų bei intensyviai teršia aplinką pesticidais.

Būvio ciklo vertinimas tampa vis svarbesniu įrankiu vertinant tekstilės gaminių poveikį aplinkai. Šis metodas leidžia nustatyti, kokie gamybos ir vartojimo etapai daro didžiausią žalą, ir ieškoti būdų ją mažinti. ES šalyse vis daugiau dėmesio skiriama žiedinei ekonomikai – akcentuojamas produktų ilgaamžiškumas, atliekų perdirbimas ir inovatyvių žaliavų naudojimas. Literatūros apžvalgoje aptariamos naujos technologijos, kurios gali padėti mažinti tekstilės pramonės poveikį aplinkai. Pavyzdžiui, vandens nenaudojančios dažymo technologijos ir cheminis pluoštų perdirbimas prisideda prie išteklių taupymo. Be to, alternatyvios žaliavos, tokios kaip maisto atliekų pagrindu sukurti pluoštai ar grybų oda, gali tapti perspektyviais sprendimais.

Nors dažnai akcentuojama, kad natūralūs pluoštai yra tvaresni nei sintetiniai, praktikoje svarbu ne tik medžiagos kilmė, bet ir jų perdirbimo galimybės bei ilgaamžiškumas. Ypač mažai tyrimų yra atlikta apie mišrių audinių ir papildomų elementų, tokių kaip lipdukai, įtaką gaminio būvio ciklui.

Lyginant medvilninius, poliesterinius bei mišrius marškinėlius su lipdukais būvio ciklo vertinimo metodu, galima nustatyti, kurios medžiagos ir gamybos technologijos yra mažiausiai žalingos. Taip pat svarbu suprasti, ar didesnę poveikį daro pačios tekstilės rūšis, ar papildomi gamybos procesai, tokie kaip lipdukų naudojimas.

2. Tyrimo metodika

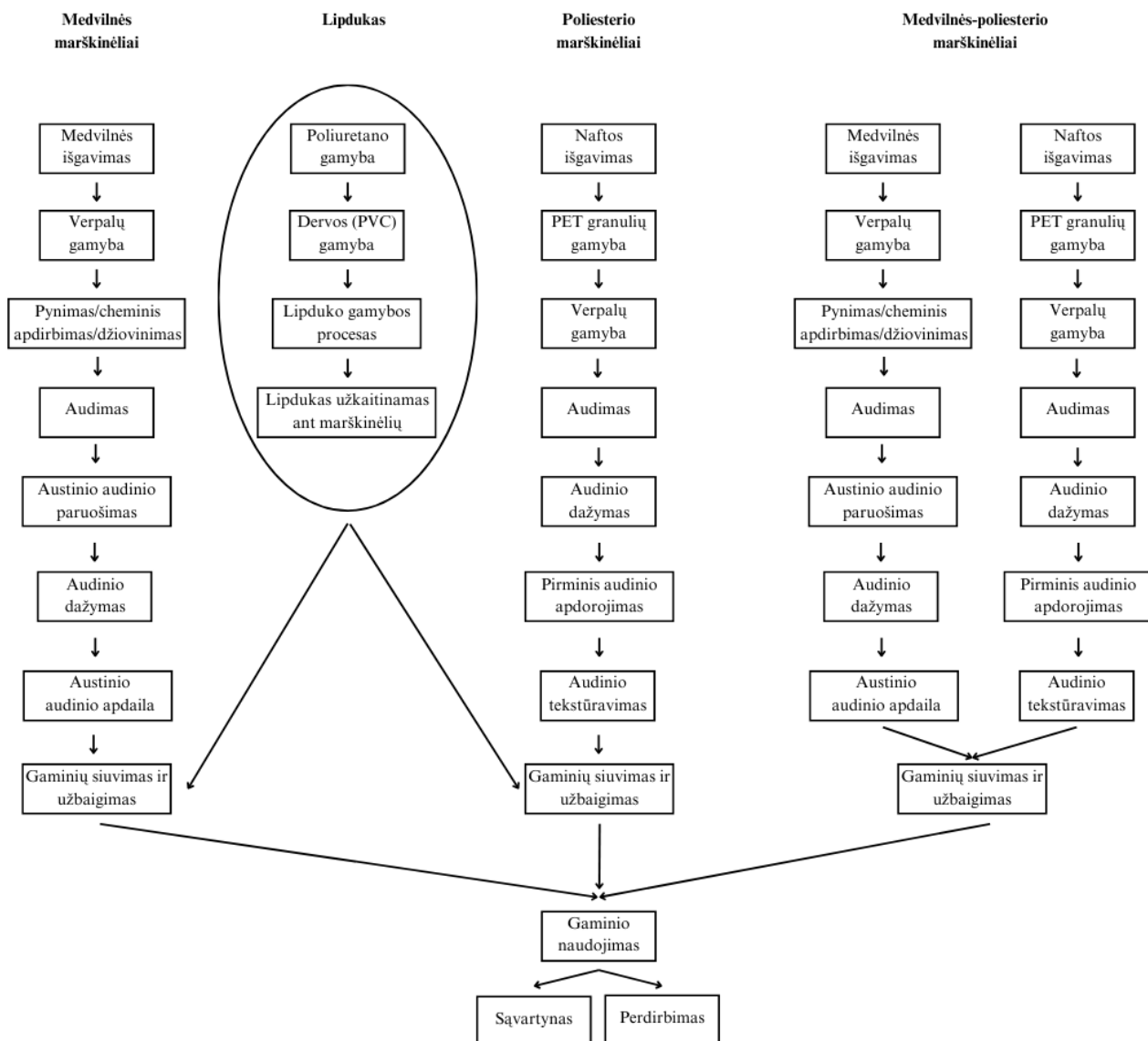
Šiame tyrime taikoma BCV metodika, kuri remiasi Tarptautinės standartizacijos organizacijos (ISO) standartais – 14040:2006 ir 14044:2006. ISO 14040 nustato pagrindinius BCV atlikimo principus, struktūrą ir ataskaitų teikimo gaires, o ISO 14044 detalizuoja vertinimo etapus, metodines nuostatas bei pavyzdžius. BCV yra sisteminis gaminio, paslaugos ar proceso poveikio aplinkai vertinimo metodas per visą jo būvio ciklą – nuo žaliavų gavybos iki šalinimo [57].

2.1. Tyrimo tikslo, funkcinio vieneto ir sistemos ribų apibrėžimas

Šio tyrimo tikslas – atlikti medvilninių marškinėlių (100 %) su lipdukais, poliesterio marškinėlių (100 %) su lipdukais bei poliesterio ir medvilnės (poliesterio – 20 %, medvilnės – 80 %) marškinėlių būvio ciklo vertinimą.

Remiantis moksline literatūra, priimama jog funkcinis vienetas yra vidutinė marškinėlių gyvavimo trukmė, kuri yra 4.6 metų. Per šį laikorapį, marškinėliai vidutiniškai yra dėvimi 83 kartus. Šis tyrimas buvo pagrįstas vertinimais ir neįtraukė įvairių aspektų, turinčių įtakos gyvenimo trukmei [56].

Marškinėlių būvio ciklo vertinimo sistemos ribos apima pirminius, antrinius ir tretinius procesus, susijusius su trijų skirtingų marškinėlių rūšių gyvavimo etapais. Pirminiai procesai apima žaliavų išgavimą (pavyzdžiui, medvilnės, poliesterio gamybą), jų apdorojimą ir energijos išteklių panaudojimą pradinuose gamybos etapuose. Antriniai procesai apima marškinėlių gamybą, jų dažymą ir apdailą. Tretiniai procesai – produkto gyvavimo pabaigą, įskaitant perdirbimo arba šalinimo sąvartynuose būdus. 22 pav. pavaizduotos sistemos ribos, apimančios pagrindinius procesus.



22 pav. Analizuojamų marškinėlių sistemos ribos

Atliekant tyrimą buvo išanalizuoti šeši skirtingi marškinėlių būvio ciklo scenarijai, kuriuose skyrėsi žaliavų sudėtis, energijos šaltinis bei atliekų tvarkymo būdas. Analizuojant trijų skirtingų marškinėlių poveikį aplinkai, atsižvelgiama į elektros energijos šaltinį ir atliekų tvarkymą. Trys scenarijai apima mišrios elektros energijos naudojimą, kur 60 % gaunama iš iškastinio kuro, o 40 % – iš atsinaujinančių šaltinių [70]. Šiame scenarijuje numatoma, kad dalis marškinėlių (25 %) bus perdirbama, o kita dalis (75 %) pateks į sąvartyną [33]. Kiti trys scenarijai remiasi prielaida, kad elektros energija gamybos metu gaunama tik iš atsinaujinančių šaltinių, o pasibaigus naudojimo laikui, marškinėliai perdirbami.

- 1) 100 % medvilnės marškinėliai su lipduku + mišri energija (60 %, 40 %) + šalinimas sąvartyne (75 %) ir perdirbimas (25 %);
- 2) 100 % medvilnės marškinėliai su lipduku + atsinaujinanti energija (100 %) + perdirbimas (100 %);
- 3) 100 % poliesterio marškinėliai su lipduku + mišri energija (60 %, 40 %) + šalinimas sąvartyne (75 %) ir perdirbimas (25 %);

- 4) 100 % poliesterio marškinėliai su lipduku + atsinaujinanti energija (100 %) + perdirbimas (100 %);
- 5) 80 % medvilnė ir 20 % poliesteris + mišri energija (60 %, 40 %) + šalinimas sąvartyne (75 %) ir perdirbimas (25 %);
- 6) 80 % medvilnė ir 20 % poliesteris + atsinaujinanti energija (100 %) + perdirbimas (100 %).

2.2. Būvio ciklo vertinimo inventorinė analizė

Inventorinė analizė yra antrasis būvio ciklo vertinimo etapas, kurio tikslas – surinkti, susisteminti ir kiekybiškai įvertinti visus įvesties ir išvesties srautus produkto sistemoje per visą jo būvio ciklą pagal nustatytą funkcinį vienetą. Ši analizė leidžia nustatyti, kiek ir kokių medžiagų bei energijos sunaudojama, taip pat kokie teršalai išmetami į aplinką skirtinguose produkto gyvavimo etapuose. Inventorinė analizė apima šiuos pagrindinius aspektus:

- žaliavų ir energijos poreikius;
- gamybos procesus;
- transportavimą, sandėliavimą ir paskirstymą;
- produkto naudojimą ir pakartotinį naudojimą;
- eksploatavimo pabaigos scenarijus (pavyzdžiui, perdirbimą, deginimą ar šalinimą sąvartynuose) [58].

Šio etapo metu renkami duomenys apie visas produkto būvio ciklo fazes – nuo žaliavų išgavimo ir apdorojimo iki galutinio atliekų tvarkymo. Kadangi inventorinė analizė tiesiogiai veikia BCV tikslumą, duomenys turi būti kruopščiai tikrinami ir analizuojami, siekiant užtikrinti kuo tikslesnius rezultatus.

2 lentelėje pateikiamos medžiagos, energijos sąnaudos ir emisijos, susijusios su trijų tipų marškinėlių gamyba. Marškinėlių gamyboje naudojamos žaliavos priklauso nuo audinio sudėties. Medvilniniai marškinėliai gaminami iš medvilnės pluoštų, kuriems auginant reikia daug vandens. Priešingai, poliesterio marškinėliai yra pagaminti iš PET, sintetinio polimero, gauto iš naftos. Medvilnės ir poliesterio mišinys naudoja tiek natūralų, tiek sintetinį pluoštą, taip sukuriant tokias savybes kaip pralaidumas orui ir ilgaamžiškumas. Papildomos gamyboje naudojamos medžiagos apima cheminius priedus, tokius kaip TDI, MDI, PTMEG ir PPG, kurie dažniausiai siejami su tekstilės dangomis ir pluošto apdorojimu. Klėjai ir paviršių aktyvinančios medžiagos yra specialiai naudojamos lipdukams klijuoti, o tai gali turėti įtakos perdirbimui.

Elektros energijos suvartojimas analizuojamas pagal du skirtingus scenarijus. Pirmojo scenarijaus atveju, naudojama elektros energija yra mišri – gaunama tiek iš atsinaujinančių, tiek iš įprastinių šaltinių. Remiantis Europos investicijų banko duomenimis, šiuo metu atsinaujinanti energija sudaro 40 %, o iškastinis kuras – 60 % elektros gamybos [70]. Antrasis scenarijus siejamas su nulinės emisijos scenarijumi iki 2050 m., kurio tikslas – spartinti švarių energijos technologijų diegimą ir mažinti priklausomybę nuo iškastinio kuro [71].

Marškinėlių gamyba išskiria įvairias emisijas, kurios daro įtaką oro, vandens ir dirvožemio kokybei. Gamybos proceso metu išsiskiria šiltnamio efektą sukeliančios dujos, tokios kaip, anglies dioksidas (CO₂), metanas (CH₄) ir azoto dujos (N₂O). Poliesterio gamyba paprastai turi didesnę anglies pėdsaką dėl priklausomybės nuo iškastinio kuro žaliavų ir daug energijos reikalaujančio apdorojimo.

Apdorojant pluoštą, dažant ir klijuojant lipdukus, išsiskiria sieros oksidai (SO_x), azoto oksidai (NO_x), anglies monoksidas (CO) ir lakieji organiniai junginiai (LOJ). Skalbimo metu, iš poliesterinių marškinėlių išsiskiria mikroplastikas, kuris patenka į vandens sistemas ir kaupiasi jūrinėje aplinkoje. Tekstilės gamyboje susidaro audinių ir cheminių medžiagų likučiai bei lipdukų atliekos, kurios gali apsunkinti perdirbimą ir šalinimą. Lipdukai suteikia klijų pagrindu pagamintų papildomų atliekų, kurios sumažina drabužių tinkamumą perdirbti ir padidina cheminę taršą.

2 lentelė. Skirtingų tipų marškinėlių įvesties ir išvesties duomenys

		Medvilnė su lipduku	Poliesteris su lipduku	Medvilnė-poliesteris
Medžiagos	Medvilnės pūkai ir pluoštas	X	–	–
	PET	X	X	X
	Vanduo	X	X	X
	Chemikalai	X	X	X
	TDI, MDI, PTMEG, PPG	X	X	–
	Klijai	X	X	–
	Paviršiaus aktyvumo medžiagos	–	X	X
Energija	Elektra	X	X	X
	Elektra iš atsinaujinančių šaltinių	X	X	X
Emisijos	Augalų atliekos	X	–	–
	CO ₂	X	X	X
	CH ₄	X	X	X
	N ₂ O	X	X	X
	SO _x	X	X	X
	Smulkios kietosios dalelės	X	X	X
	CO	X	X	X
	NO _x	X	X	X
	Lakieji organiniai junginiai	–	X	X
	Audinių atliekos	X	X	X
	Mikropluoštas	X	X	X
	Chemikalai	X	X	X
	Lipdukų atliekos	X	X	X

2.3. Būvio ciklo poveikio vertinimas

Šiame etape inventoriniai duomenys transformuojami į reikšmingus aplinkos rodiklius, kurie padeda geriau suprasti produkto būvio ciklo pasekmes. BCIA apima inventorinius duomenis, pavyzdžiui, išmetamo CO₂ kiekį, sunaudotą vandenį ar susidariusias atliekas, ir įvertina jo poveikį įvairioms aplinkos kategorijoms. Šis procesas dažnai apima kelis pagrindinius etapus: charakterizaciją, normalizaciją, svertinį vertinimą [60].

Šiame tyrime BCV buvo atliktas, naudojant SimaPro 10.1.0.4 – specializuotą BCV analizės programinę įrangą, pasirenkant Aplinkosaugino pėdsako 3.1 skaičiavimo metodą.

Aplinkosauginis pėdsakas 3.1 yra metodas, atitinkantis Europos Komisijos nustatytus Aplinkosauginio pėdsako metodikos standartus, siekiant užtikrinti vieningą ir patikimą produktų bei organizacijų aplinkosauginio poveikio vertinimą Europoje [72]. Aplinkosauginio pėdsako 3.1 duomenų bazė pasižymi keliomis pagrindinėmis savybėmis. Pirmą, ji užtikrina aukštą duomenų kokybę ir patikimumą – visi pateikti duomenys yra kruopščiai tikrinami ir atitinka aukštus kokybės standartus, kad būtų galima atlikti tikslų ir patikimą LCA modeliavimą. Antra, duomenų bazė apima platų duomenų spektrą iš įvairių pramonės šakų ir produktų, leidžiančių atlikti išsamius bei įvairiapusius aplinkosauginius vertinimus [73].

Būvio ciklo inventoriniai duomenys yra susumuojami į 16 vidurio taško poveikio kategorijų. Šios kategorijos vėliau normalizuojamos, t. y. jų rezultatai padalijami iš nustatyto atskaitos vieneto (pvz., viso pasaulio inventoriaus), siekiant išreikšti poveikį kaip santykinę analizuojamos sistemos dalį. Po to, poveikio kategorijos sveriamos – kiekvienai jų priskiriamas svorio koeficientas, atspindintis jų santykinę svarbą. Galiausiai, susumavus svertinius poveikio kategorijų rezultatus, gaunamas bendras aplinkosauginio pėdsako balas, leidžiantis įvertinti bendrą sistemos poveikį aplinkai [74].



23 pav. Būvio ciklo poveikio vertinimo metodas [74]

Poveikio aplinkai kategorijos: [61]

- Klimato kaitos rodiklis nusako, kiek padidėja temperatūra dėl ŠESD emisijų, dažniausiai išsiskiriančių deginant iškastinį kurą. Visų ŠESD emisijų poveikis lyginamas su 1 kg CO₂ pasaulinio atšilimo potencialu ir išreiškiamas CO₂ ekv. kg.
- Ozono sluoksnio ardymas padidina odos vėžio atvejų skaičių žmonėms ir žalą augalams. Galimas visų svarbių medžiagų poveikis ozono sluoksnio ardymui paverčiamas jų ekvivalentu kilogramais trichlorfluormetano (taip pat vadinamo Freon-11 ir R-11), todėl matavimo vienetas yra kilogramais CFC-11 ekvivalento (kg CFC-11 ekv.).

- Toksiškumas žmogui, vėžinio ir ne vėžinio poveikio rodiklis įvertina galimą žalingą medžiagų, patenkančių per orą, vandenį ar dirvožemį, poveikį žmonių sveikatai. Naudojamas lyginamasis toksiškumo vienetas žmonėms (CTUh).
- Kietųjų dalelių poveikio rodiklis nusako, kaip smukiosios kietosios dalelės (KD_{2,5}) ir jų pirmtakai (pvz., NO_x, SO₂) gali paveikti žmonių sveikatą. Poveikis matuojamas kaip mirtingumo dėl kietųjų dalelių emisijos pokytis, išreiškiamas ligų paplitimu vienam išmestų KD_{2,5} kg.
- Jonizuojančiosios spinduliuotės rodiklis apima radiacijos poveikį sveikatai įprastomis sąlygomis (neįtraukiant avarijų). Poveikis žmonių sveikatai perskaičiuojamas į urano 235 kilobekerelių ekvivalentą (kg U235 ekv.).
- Fotocheminio smogo susidarymo rodiklis rodo, kaip tam tikros medžiagos prisideda prie ozono susidarymo žemuosiuose atmosferos sluoksniuose, kuris kenkia žmonėms ir ekosistemoms. Matavimo vienetas – nemetano LOJ ekvivalentas.
- Rūgštėjimą gali sukelti išmetimai į orą ir išmetamų teršalų nusėdimas vandenyje ir dirvožemyje. Poveikis išreiškiamas vandenilio molių ekvivalentais (mol H⁺ ekv.).
- Sausumos eutrofikacijos rodiklis nurodo, kaip azoto ar fosforo junginių perteklius skatina tam tikrų augalų ar dumblių plitimą, pakeisdamas natūralias ekosistemas. Poveikis matuojamas azoto molių ekvivalentais (mol N ekv.).
- Gėlo vandens eutrofikacijos rodiklis įvertina, kaip maistinių medžiagų, ypač fosforo ir azoto, perteklius vandenyje skatina dumblių augimą, mažindamas deguonies kiekį. Vertinamas pagal kilogramų fosforo ekvivalentą (kg P ekv.).
- Jūrinė eutrofikacijos rodiklis rodo, kaip jūros ekosistemas veikia perteklinis azoto ar fosforo kiekis, ypač dėl žemės ūkio veiklos ar degimo procesų. Poveikis išreiškiamas kilogramais azoto ekvivalentais (kg N ekv.).
- Gėlo vandens ekotoksiškumo rodiklis įvertina cheminių medžiagų toksiškumą vandens organizmams ir jų poveikį visai ekosistemai. Poveikis matuojamas lyginamuoju toksininiu vienetu ekosistemoms (CTUe).
- Žemės naudojimas ir pertvarkymas vyksta įvairiose srityse, tokiose kaip žemės ūkis, kelių tiesimas, būsto statyba ar kalnakasyba. Šie procesai gali turėti įvairiapusį poveikį aplinkai, įskaitant rūšių nykimą, organinių medžiagų kiekio mažėjimą dirvožemyje ar net paties dirvožemio praradimą dėl erozijos. Tai sudėtinis rodiklis, matuojantis poveikį keturioms dirvožemio savybėms (biotinei gamybai, atsparumui erozijai, požeminio vandens regeneracijai ir mechaninei filtravimui), išreikštas taškais (Pts).
- Vandens naudojimo rodiklis parodo, kiek vandens paimama iš ežerų, upių ar požeminio vandens. Poveikio kategorijoje atsižvelgiama į vandens prieinamumą arba trūkumą regionuose, kuriuose vykdoma veikla, jei ši informacija žinoma. Galimas poveikis išreiškiamas vandens naudojimo kubiniais metrais (m³) dėl vietinio vandens trūkumo.
- Išteklų naudojimo rodiklis apima iškastinio kuro, metalų ir mineralų naudojimą. Iškastinio kuro vartojimas išreiškiamas MJ, o mineralų ir metalų naudojimas – stibio ekvivalentais kilogramais (kg Sb ekv.).

2.4. Rezultatų interpretavimas ir neapibrėžtumo analizė

Būvio ciklo interpretavimas yra esminė BCV dalis, kurioje atliekama gautų duomenų analizė ir vertinimas, siekiant užtikrinti jų atitiktį tyrimo tikslams ir apibrėžtai apimčiai. Šiame etape vertinami

inventorinės analizės ir poveikio vertinimo rezultatai, siekiant nustatyti pagrindines problemas, susijusias su naudotų metodų patikimumu, atliktomis prielaidomis ir reikšmingiausiomis poveikio kategorijomis. Analizės metu identifikuojami tie būvio ciklo etapai, kurie labiausiai prisidėjo prie galutinių rezultatų, atliekamos jautrumo ir neapibrėžtumo analizės, kurios padeda įvertinti rezultatų stabilumą ir patikimumą. Interpretavimo etapas yra kartotinis procesas – įvertinus rezultatus, gali būti nustatyti aspektai, kuriuos reikėtų tobulinti ankstesniuose BCV etapuose, taip užtikrinant didesnę tyrimo patikimumą. Galutinis šio etapo tikslas – parengti pagrįstas išvadas ir rekomendacijas, kurios padėtų sprendimų priėmėjams tinkamai įvertinti tyrimo rezultatus ir priimti sprendimus [59].

Rezultatai pateikiami, juos charakterizuojant. Charakterizuoti duomenys BCV yra apdoroti inventoriniai duomenys, išreikšti konkrečiomis poveikio kategorijomis, leidžiančiomis tinkamai įvertinti tiriamo objekto ar proceso poveikį aplinkai. Šiame etape surinkti inventoriniai duomenys yra transformuojami į poveikio rodiklius, naudojant charakterizavimo koeficientus, kurie apibrėžia kiekvieno srauto poveikį tam tikrai aplinkos sričiai. Pavyzdžiui, išmetamas anglies dioksidas (CO_2) ir metanas (CH_4) gali būti išreikšti kaip ekvivalentiški CO_2 , atsižvelgiant į jų skirtingą poveikį klimato kaitai. Tokiu būdu charakterizuoti duomenys suteikia galimybę išskirti svarbiausius poveikio šaltinius ir aiškiai identifiкуoti, kurie proceso etapai daro didžiausią įtaką aplinkai [75].

Normalizuoti duomenys BCV yra charakterizuoti duomenys, kurie perskaičiuojami į santykinę reikšmę, leidžiančią įvertinti skirtingų poveikio kategorijų svarbą bendram aplinkos poveikiui. Normalizavimo proceso metu kiekvienos poveikio kategorijos charakterizuoti rodikliai lyginami su atitinkamais pasauliniais arba regioniniais foniniais rodikliais, taip paverčiant juos lyginamosiomis reikšmėmis. Tai leidžia suprasti, kiek konkretaus tyrimo rezultatai prisideda prie bendro poveikio aplinkai ir kurios kategorijos yra reikšmingiausios [75].

Neapibrėžtumo analizė – tai metodas, leidžiantis įvertinti ir kiekybiškai nustatyti BCV rezultatų jautrumą ir rezultatų kitimą dėl prielaidų, duomenų ir modeliavimo parametrų neapibrėžtumų. Ji leidžia įvertinti, kaip kinta modelio rezultatai dėl įvairių veiksnių, tokių kaip įvesties duomenų atsitiktinumas ar vidinis modelio kintamumas. Ši analizė padeda geriau suprasti modelio patikimumą ir tikslumą. Neapibrėžtumo analizė gali būti atliekama keliais būdais. Vienas iš jų – jautrumo analizė, kuri leidžia įvertinti, kaip modelio rezultatus veikia įvesties duomenų pokyčiai. Kitas būdas – Monte Karlo modeliavimas, kai atliekami pakartotiniai skaičiavimai su skirtingais įvesties duomenimis, siekiant nustatyti rezultatų kintamumą. Gavus neapibrėžtumo analizės rezultatus, galima įvertinti modelio patikimumą ir nustatyti, kiek galima pasitikėti prognozuojamais rezultatais [75].

Monte Karlo modeliavimas taikomas analizuojant neapibrėžtumą, susijusį su būvio ciklo inventoriniais duomenimis, poveikio vertinimu bei normalizavimo ir svorio nustatymo procesais. Šis metodas leidžia įvertinti rezultatų kintamumą ir patikimumą, atliekant daugybę pakartotinių skaičiavimų su atsitiktinai kintančiais duomenimis. Atliekant Monte Karlo modeliavimą, modelio įvesties duomenys atsitiktinai keičiami, naudojant neapibrėžtumo skirstinius, todėl gaunami keli skaičiavimo rezultatai, kurių kiekvienas turi tam tikrą neapibrėžtumo pasiskirstymą. Paprastai atliekama keli tūkstančiai iteracijų, kad būtų gauti patikimi rezultatai. Taip pat, šis metodas naudojamas atskirų poveikio kategorijų aplinkosauginio veiksmingumo neapibrėžtumui apskaičiuoti ir palyginti, suteikiant išsamesnę įžvalgą apie modelio rezultatų tikslumą [76].

3. Tyrimo rezultatai ir jų aptarimas

3.1. Inventorinės analizės rezultatai

Visų scenarijų analizė atlikta pagal būvio ciklo vertinimo (LCA) metodiką, naudojant „SimaPro“ programinės įrangos duomenų bazes bei literatūroje pateiktą informaciją. Visi duomenys buvo perskaičiuoti pagal taikomą funkcinį vienetą, kuris apibrėžtas kaip vidutinė marškinėlių gyvavimo trukmė – 4,6 metų, per kuriuos marškinėliai vidutiniškai yra dėvimi 83 kartus.

Tiek medvilninių, tiek poliesterinių marškinėlių svoris yra 140 g (0,14 kg), jų tarnavimo trukmė – 83 dėvėjimo ciklai per 4,6 metų. Todėl vieno ciklo svoris (be lipdukų) yra:

$$0,14 \text{ kg} / 83 = 0,00168675 \text{ kg/ciklas}$$

Tačiau naudojimo fazėje papildomai prisideda lipduko svoris, todėl šiame etape funkcinis vienetas skaičiuojamas pagal padidintą bendrą masę:

- Medvilnės marškinėliai su lipduku (10 g)

$$0,15 \text{ kg} / 83 = 0,00180723 \text{ kg/ciklas}$$

- Poliesterio marškinėliai su lipduku (3 g)

$$0,143 \text{ kg} / 83 = 0,00172289 \text{ kg/ciklas}$$

Mišrių marškinėlių, sudarytų iš 80 % medvilnės ir 20 % poliesterio, funkcinis vienetas apskaičiuotas procentiškai pagal žaliavų dalį. Bendras jų svoris taip pat sudaro 0,14 kg, tad konkrečių žaliavų kiekis apskaičiuotas taip:

- Medvilnės dalis (80 %)

$$0,14 \text{ kg} \times 0,80 = 0,112 \text{ kg}$$

- Poliesterio dalis (20 %)

$$0,14 \text{ kg} \times 0,20 = 0,028 \text{ kg}$$

Atsižvelgiant į tai, jog marškinėlių naudojimo fazėje prisideda ir lipdukai, jų sukeliamas papildomas poveikis buvo įtrauktas į analizę, taikant tokią skaičiavimo išraišką:

$$(\text{Mokslinė vertė} \times \text{lipduko svoris}) / \text{marškinėlių svoris}$$

Inventoriniai duomenys, kuriais remiantis atliktas vertinimas, detalai išdėstyti darbo prieduose.

3.2. Būvio ciklo poveikio vertinimo rezultatai

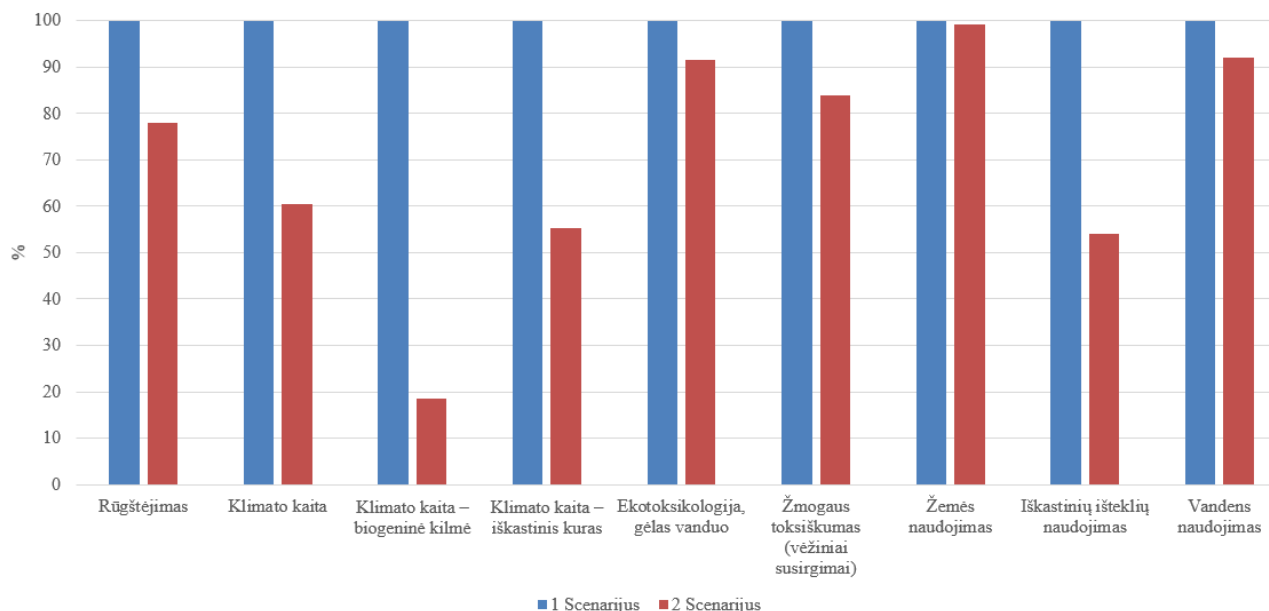
Atliekant poveikio vertinimo analizę, duomenys buvo įvertinti pagal 27 poveikio kategorijas. Tačiau siekiant išlaikyti analizės aiškumą ir sutelkti dėmesį į reikšmingiausius rezultatus, toliau išsamiai aptariamos tik 9 pasirinktos kategorijos. Jos atrinktos remiantis jų poveikio mastu, reikšmingais skirtumais tarp scenarijų bei aktualumu aplinkosauginiu požiūriu. Išsamūs visų 27 poveikio kategorijų rezultatai pateikiami 2 priede.

Atlikus rezultatų normalizavimą pagal 16 poveikio kategorijų, tolesnei analizei pasirinktos 7 kategorijos. Jos sutampa su anksčiau pasirinktomis charakterizavimo etape, siekiant užtikrinti vertinimo nuoseklumą ir palengvinti rezultatų palyginimą. Pilni normalizuotų duomenų pasiskirstymo grafikai pateikiami 3 priede.

3.2.1. Medvilninių marškinėlių su lipduku poveikio analizė pagal du skirtingus scenarijus

Lyginamoji analizė atliekama siekiant palyginti medvilnės (100 %) marškinėlių su lipduku poveikį aplinkai, nagrinėjant juos dviem skirtingais scenarijais. 24 pav. pateikti medvilnės (100 %) marškinėlių su lipduku (1 ir 2 scenarijų) charakterizuoti rezultatai pasirinktose poveikio kategorijose.

Rezultatai rodo, jog 2 scenarijus pasižymi mažesniu poveikiu daugumoje vertintų kategorijų. Ypač ryškus skirtumas matomas klimato kaitos kategorijoje. 1 scenarijaus poveikis – 1,65 kg CO₂ ekv., iš jų 1,26 kg sudarė emisijos iš iškastinio kuro, o 0,01 kg – biogeninės kilmės. Antruoju scenarijumi poveikis sumažėjo iki 0,99 kg CO₂ ekv., iš kurių 0,69 kg iš iškastinio kuro ir 0,02 kg biogeninės kilmės. Vertinant procentiškai, bendras klimato kaitos poveikis 2 scenarijuje sudaro 60 % 1 scenarijaus vertės, biogeninės kilmės emisijos – 19 %, o iškastinio kuro – 55 %. Iškastinių išteklių naudojimas sudaro 54 % 1 scenarijaus poveikio. Šie pokyčiai tiesiogiai susiję su energijos kilme – atsinaujinanti energija sukuria mažiau ŠESD emisijų ir padeda sumažinti priklausomybę nuo iškastinių resursų. Mažesni skirtumai pastebimi rūgštėjimo (78 %), žmogaus toksiškumo – vėžinių susirgimų (84 %) kategorijose. Tai leidžia daryti prielaidą, kad šiose srityse pagrindinį poveikį lemia ne tiek energijos ar atliekų tvarkymo ypatybės, kiek pati žaliava ir jos auginimo procesas. Tuo tarpu žemės naudojimo (99 %), vandens naudojimo (92 %) ir ekotoksikologijos (91 %) kategorijose skirtumas tarp scenarijų – nežymus. Remiantis rezultatais galima teigti, jog poveikis šiose srityse daugiausia susijęs su pačia žaliava ir jos auginimo ypatumais, kurie lieka tokie patys abiejuose scenarijuose.

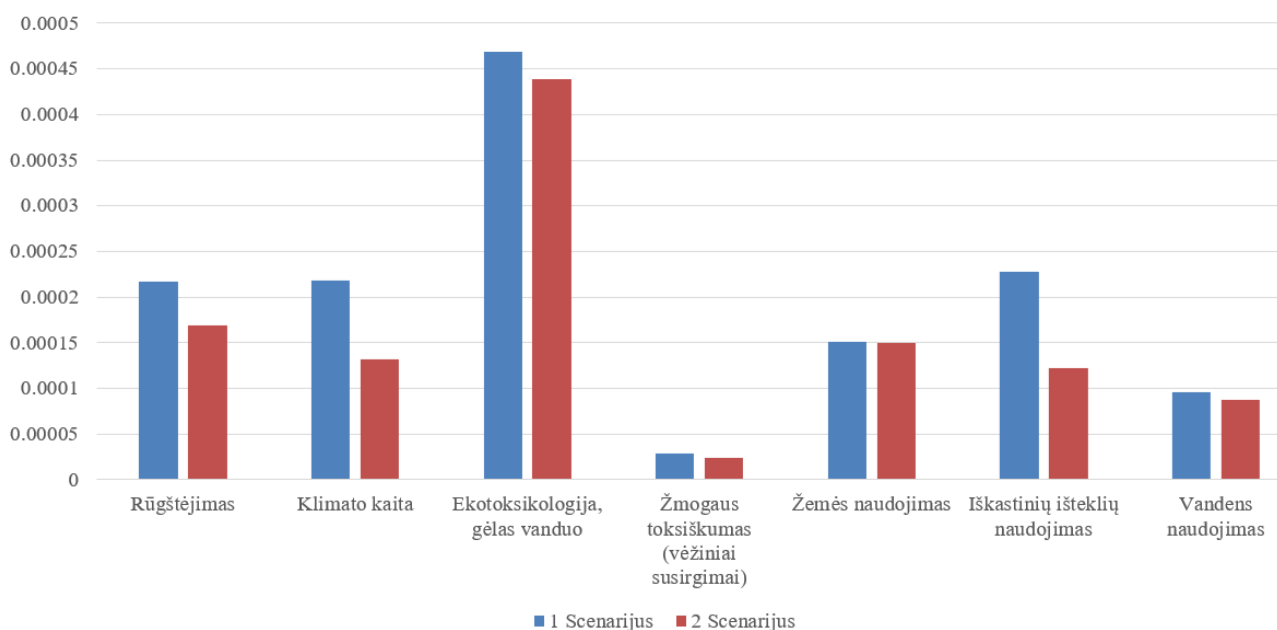


24 pav. Lyginamosios analizės charakterizuoti rezultatai medvilniniams marškinėliams dviem skirtingais scenarijais

Normalizuoti rezultatai, pateikti 25 pav., leidžia įvertinti ne tik poveikio skirtumus tarp nagrinėtų scenarijų, bet ir išryškinti, kurios poveikio kategorijos daro didžiausią santykinį poveikį bendrame visų kategorijų kontekste.

Palyginus skirtingas kategorijas, matoma, jog ekotoksikologijos gėlo vandens kategorija turi didžiausią poveikį. Jos reikšmė yra 16 kartų didesnė nei žmogaus toksiškumo (vėžinių surigimų) kategorijos, kuri turi mažiausią poveikį. Tai rodo, jog medvilnės gamybos procesuose naudojamos trąšos ir chemikalai, skirti žaliavos auginimui, daro didelę įtaką vandens ekosistemoms. Klimato kaitos poveikis ir rūgštėjimo potencialas yra 2,15 karto mažesni nei ekotoksikologijos gėlo vandens, bet 7,5 karto didesni nei žmogaus toksiškumo kategorijoje. Tai rodo, kad šios dvi kategorijos yra susijusios su energijos ir cheminių medžiagų naudojimu gamybos procesuose. Iškastinių išteklių naudojimas yra 2,06 karto mažesnis nei ekotoksikologijos gėlo vandens. Vandens naudojimas yra 4,91 karto mažesnis nei ekotoksikologijos gėlo vandens, tačiau 3,3 karto didesnis nei žmogaus toksiškumo kategorijoje. Tai parodo, kad nors vandens sunaudojimas yra svarbus rodiklis, jo tiesioginis poveikis ekosistemoms yra dar reikšmingesnis.

Šie rezultatai parodo, kad didžiausias poveikis medvilnės marškinėlių atveju tenka kategorijoms, tiesiogiai susijusioms su žaliavos gamyba ir naudojimu – ypač ekotoksikologijai ir klimato kaitai, kurią lemia energijos vartojimas ir ŠESD.



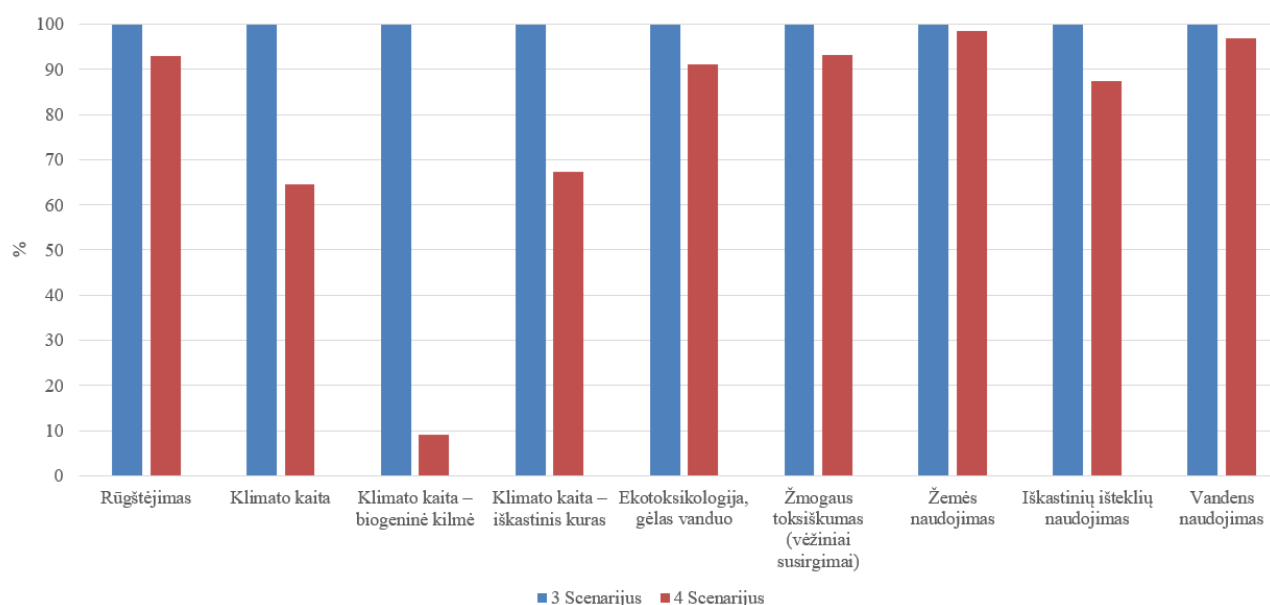
25 pav. Normalizuoti rezultatai medvilnės marškinėliams dviem skirtingais scenarijais

Palyginus gautus rezultatus su literatūroje aprašytais tyrimais, galima išvelti panašias tendencijas. Hilal Kazan, Deniz Akgul ir Aslihan Kerc 2020 metų tyrime „*Life cycle assessment of cotton woven shirts and alternative manufacturing techniques*“, kuriame analizuotas medvilninių marškinėlių būvio ciklas, taip pat nustatyta, jog didžiausią poveikį daro žaliavos auginimas, ypač vandens naudojimo ir klimato kaitos kategorijose. Šiame tyrime pabrėžiama, jog perėjimas prie ekologiškos medvilnės ir atsinaujinančios energijos gali sumažinti emisijas iki 58 %. Tokie rezultatai atitinka šiame darbe atlikto vertinimo tendencijas. 2 scenarijuje, naudojant atsinaujinančią energiją ir perdirbimą, poveikis klimato kaitos kategorijoje sumažėjo 40 %. Tai parodo, kad energijos šaltinių keitimas ir alternatyvūs žaliavos auginimo metodai ženkliai prisideda prie poveikio mažinimo.

3.2.2. Poliesterinių marškinėlių su lipduku poveikio analizė pagal du skirtingus scenarijus

Charakterizuoti rezultatai, pateikti 26 pav., parodo poveikio skirtumus tarp 3 ir 4 scenarijų, vertinant poliesterinių marškinėlių su lipduku būvio ciklus. Daugelyje poveikio kategorijų 4 scenarijus pasižymi mažesniu poveikiu nei 3 scenarijus.

Didžiausi skirtumai matomi klimato kaitos kategorijoje. 3 scenarijuje poveikio reikšmė – 6,35 kg CO₂ ekv., iš kurių 2,29 kg iškastinės kilmės, o 1,66 kg – biogeninės. 4 scenarijuje bendras klimato kaitos poveikis sumažėjo iki 4,09 kg CO₂ ekv., iš jų, iškastinės kilmės – 1,54 kg ir 0,15 kg biogeninės kilmės. Vertinant procentiškai, iškastinio kuro emisijos sudaro 67 %, bendras klimato kaitos poveikis – 65 %, o biogeninės kilmės emisijos sudaro tik 9 % 3 scenarijaus vertės. Šie pokyčiai rodo, kad 4 scenarijuje taikytas atsinaujinančios energijos šaltinis sumažino ŠESD emisijas. Iškastinių išteklių naudojimo kategorijoje poveikis sumažėjo iki 87 %, kas svarbu poliesterio atveju, nes ši medžiaga tiesiogiai susijusi su naftos išteklių naudojimu. Kitose kategorijose, tokiose kaip rūgštėjimas (93 %), ekotoksikologija (91 %), žmogaus toksiškumas (93 %) bei vandens naudojimas (97 %), poveikio skirtumai tarp scenarijų yra nedideli. Mažiausias pokytis fiksuotas žemės naudojimo kategorijoje (99 %), kas būdinga poliesteriui kaip sintetiniam pluoštui, nes jo gamyba nereikalauja dirbamos žemės išteklių.



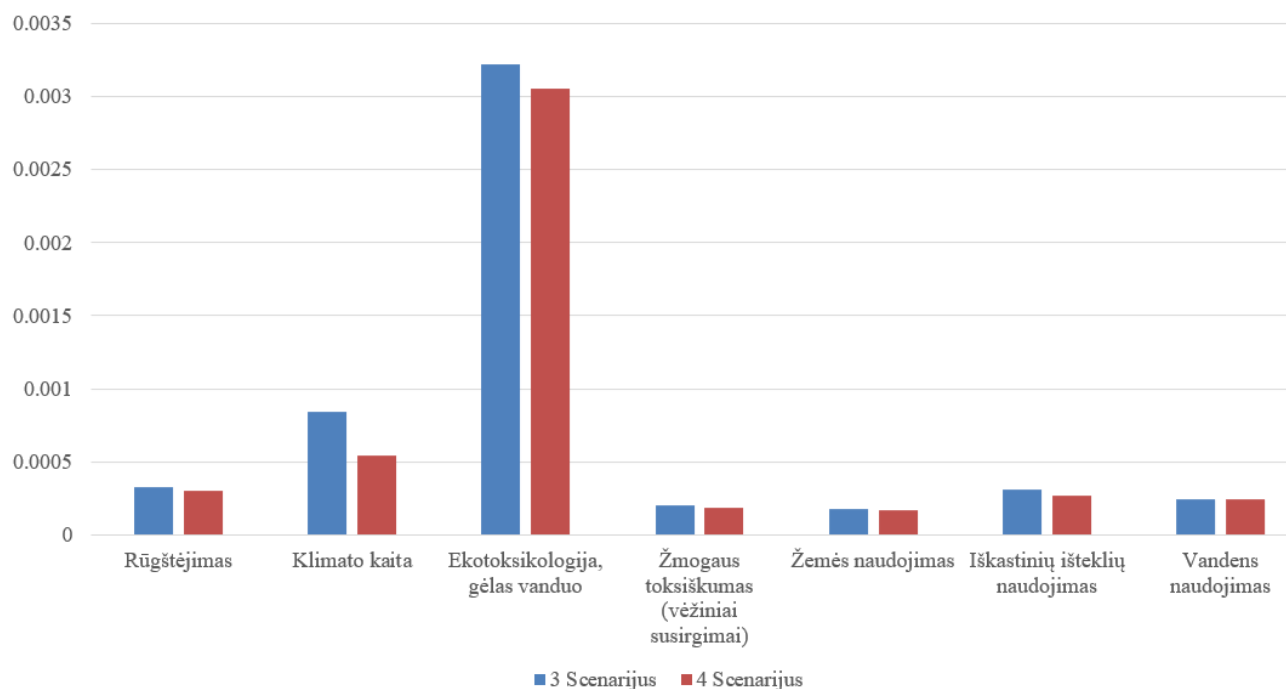
26 pav. Lyginamosios analizės charakterizuoti rezultatai poliesteriniais marškinėliams dviem skirtingais scenarijais

Normalizuoti rezultatai, pateikti 27 pav., leidžia įvertinti, kurios poveikio kategorijos daro didžiausią poveikį poliesterinių marškinėlių būvio cikle. Kaip ir medvilnės atveju, labiausiai išsiskiria ekotoksikologijos gėlo vandens kategorija.

Lyginant su ekotoksikologijos reikšme, klimato kaitos poveikis yra 3,8 karto mažesnis, o rūgštėjimo potencialas – 9,8 karto mažesnis. Tai rodo, jog nors oro emisijos turi įtakos, jos nėra tokios reikšmingos kaip poveikis vandens ekosistemoms. Tarp mažesnio poveikio kategorijų išsiskiria žmogaus toksiškumo (vėžiniai susirgimai), kurios vertė yra 16,1 karto mažesnė nei ekotoksikologijos reikšmė. Žemės naudojimo reikšmė dar mažesnė – 18,9 karto. Taip yra todėl, kad poliesteris yra sintetinė medžiaga, kurios gamybai nereikia žemės ūkio paskirties plotų. Vandens naudojimo

kategorijos reikšmė yra 12,9 kartų mažesnė nei ekotoksikologijos reikšmė. Nors iškastinių išteklių naudojimas yra viena iš reikšmingiausių poveikio kategorijų, ji yra 10,4 karto mažesnė. Tai parodo poliesterio gamybos pobūdį, kuris tiesiogiai priklauso nuo iškastinės žaliavos – naftos.

Vertinant poliesterinių marškinėlių scenarijus, didžiausias poveikis tenka vandens taršai, ypač ekotoksikologijos gėlo vandens kategorijai. Taikant atsinaujinančią energiją ar efektyvesnį atliekų tvarkymą, bendras poveikio pasiskirstymas skiriasi nežymiai. Tai parodo, kad didžiausią įtaką daro ne tik energijos šaltinis, bet ir pati naudojama medžiaga bei su jos gamyba ir naudojimu susiję procesai viso būvio ciklo metu.



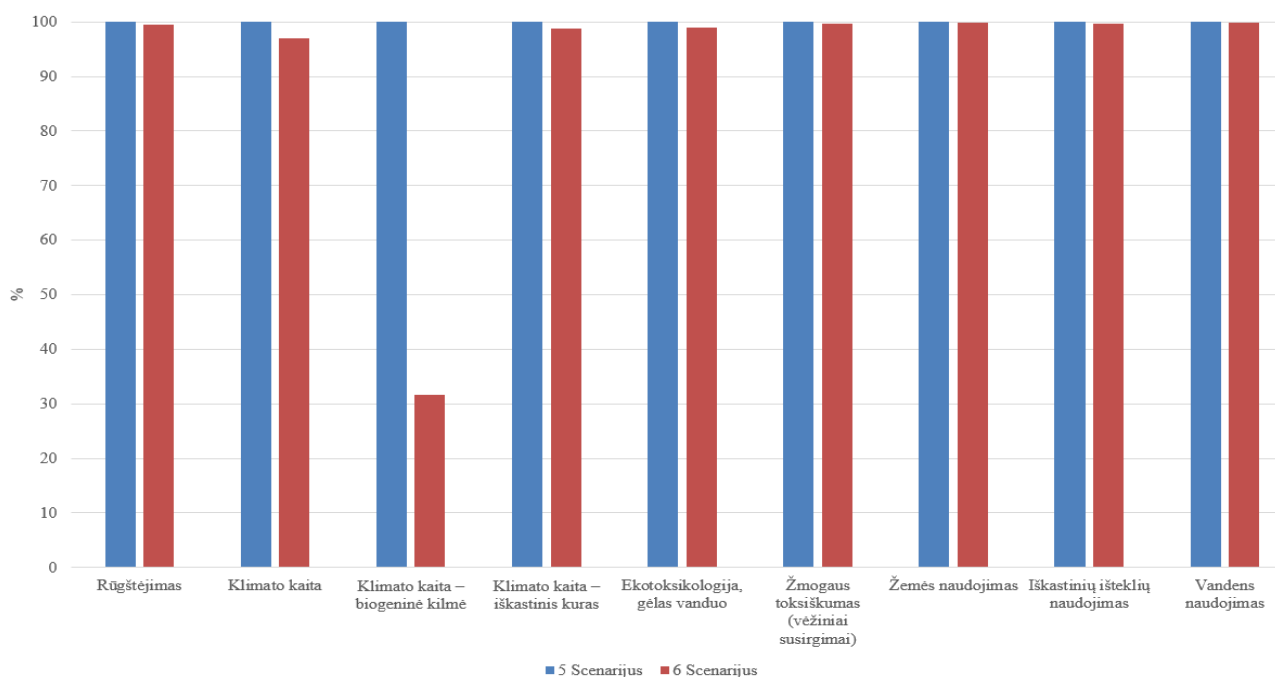
27 pav. Normalizuoti rezultatai poliesterio marškinėliams dviem skirtingais scenarijais

Nors analizuojamas būvio ciklas nėra identiškas literatūroje aprašytam, tam tikros tendencijos sutampa. Horn, S. et al. (2023 m.) straipsnyje „*Environmental sustainability assessment of a polyester T-shirt*“ aprašytame tyrime nustatyta, kad labiausiai poveikį sumažinti galima optimizuojant naudojimo fazę, renkantis mažesnę skalbimų skaičių ir natūralų džiovinimą. Straipsnyje nagrinėtų perdirbimo strategijų (S4 ir S5) poveikio mažinimo potencialas ribotas, nes perdirbimui reikalingos papildomos medžiagos ir energija. Ši išvada sutampa su šiame darbe gautais rezultatais. 4 scenarijuje, naudojant atsinaujinančią energiją ir perdirbimą, poveikis pakito nežymiai. Nors pokytis yra, poveikio pasiskirstymas tarp kategorijų išlieka panašus. Tai rodo, kad poveikį lemia pati žaliava ir su jos gamyba susiję procesai.

3.2.3. Mišrių marškinėlių poveikio analizė pagal du skirtingus scenarijus

Charakterizuoti rezultatai, pateikti 28 pav., rodo mišraus pluošto marškinėlių (80 % medvilnės ir 20 % poliesterio) poveikio palyginimą tarp dviejų scenarijų – 5 ir 6. Tarp šių scenarijų matomas nedidelis skirtumas, tačiau ryškiausias pokytis fiksuotas klimato kaitos – biogeninės kilmės kategorijoje. 5 scenarijuje poveikis siekia 3,32 kg CO₂ ekv., iš jų 0,09 kg yra biogeninės kilmės, o 6 senarijuje vertė sumažėjo iki 3,22 kg CO₂ ekv., iš jų tik 0,02 kg sudaro biogeninės emisijos. Šios kategorijos 6 scenarijaus vertė sudaro tik 32 % 5 scenarijaus reikšmės. Tai rodo, kad poveikio sumažėjimą lėmė

energijos šaltinio pasikeitimas arba perdirbimo alternatyva. Tuo tarpu visose kitose poveikio kategorijose skirtumai tarp scenarijų yra nežymūs. Klimato kaitos – iškastinio kuro poveikis sumažėjo tik 1,2 %, bendras klimato kaitos poveikis sumažėjo 3 %, rūgštėjimo – 0,47 %, ekotoksikologijos, gėlo vandens – 0,97 %, vandens naudojimas – 0,18 %, žemės naudojimas – 0,07 %, žmogaus toksiškumo (vėžiniai susirgimai) – 0,22 %. Tai rodo, kad šiose poveikio kategorijose rezultatai išlieka panašūs tarp scenarijų, kai pagrindinė žaliavų sudėtis ir jų proporcijos nesikeičia visame gaminio būvio cikle.

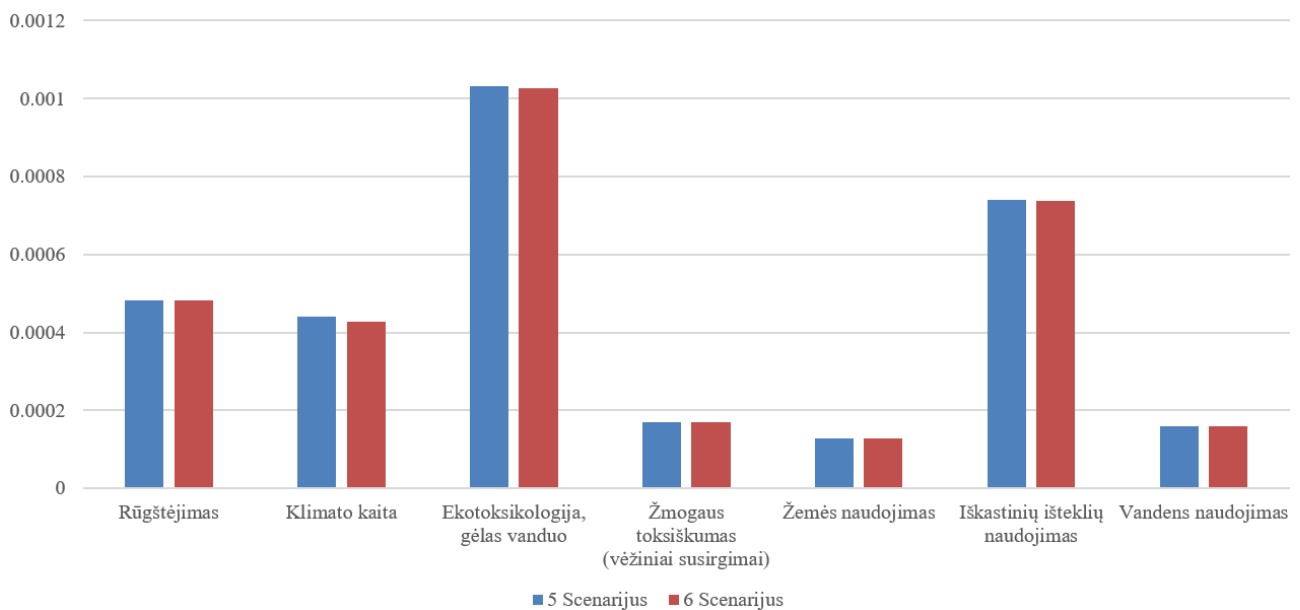


28 pav. Lyginamosios analizės charakterizuoti rezultatai mišriems marškinėliams dviem skirtingais scenarijais

Normalizuoti rezultatai, pateikti 29 pav., leidžia įvertinti, kurios poveikio kategorijos mišriems marškinėliams daro didžiausią poveikį. Viena ryškiausių kategorijų yra ekotoksikologijos, gėlo vandens. Tai rodo, jog vandens telkiniai užteršiami cheminėmis medžiagomis, kurios susidaro ir medvilnės auginimo, ir poliesterio gamybos metu.

Kita reikšminga kategorija – iškastinių išteklių naudojimas, kurios reikšmė yra 1,4 karto mažesnė nei ekotoksikologijos reikšmė, ir tai parodo poliesterio kaip sintetinės medžiagos priklausomybę nuo naftos produktų. Rūgštėjimo potencialo reikšmė – 2,1 karto mažesnė, o klimato kaitos – 2,4 karto mažesnė nei ekotoksikologijos. Žmogaus toksiškumo (vėžiniai susirgimai) reikšmė mažesnė 6,1 karto. Vandens naudojimo ir žemės naudojimo kategorijų reikšmės dar mažesnės – atitinkamai 6,5 ir 8 kartus.

Mišrių marškinėlių atveju didžiausias poveikis pasireiškia ekotoksikologijos gėlo vandens kategorijai. Toliau išsiskiria iškastinių išteklių naudojimas, rūgštėjimo potencialas ir klimato kaita. Likusios kategorijos – žmogaus toksiškumas, vandens ir žemės naudojimas – sudaro mažiausią poveikio dalį. Šie rezultatai leidžia spręsti, kad didžiausią įtaką daro ne energijos šaltinis, bet žaliavų išgavimo ir apdorojimo procesai.

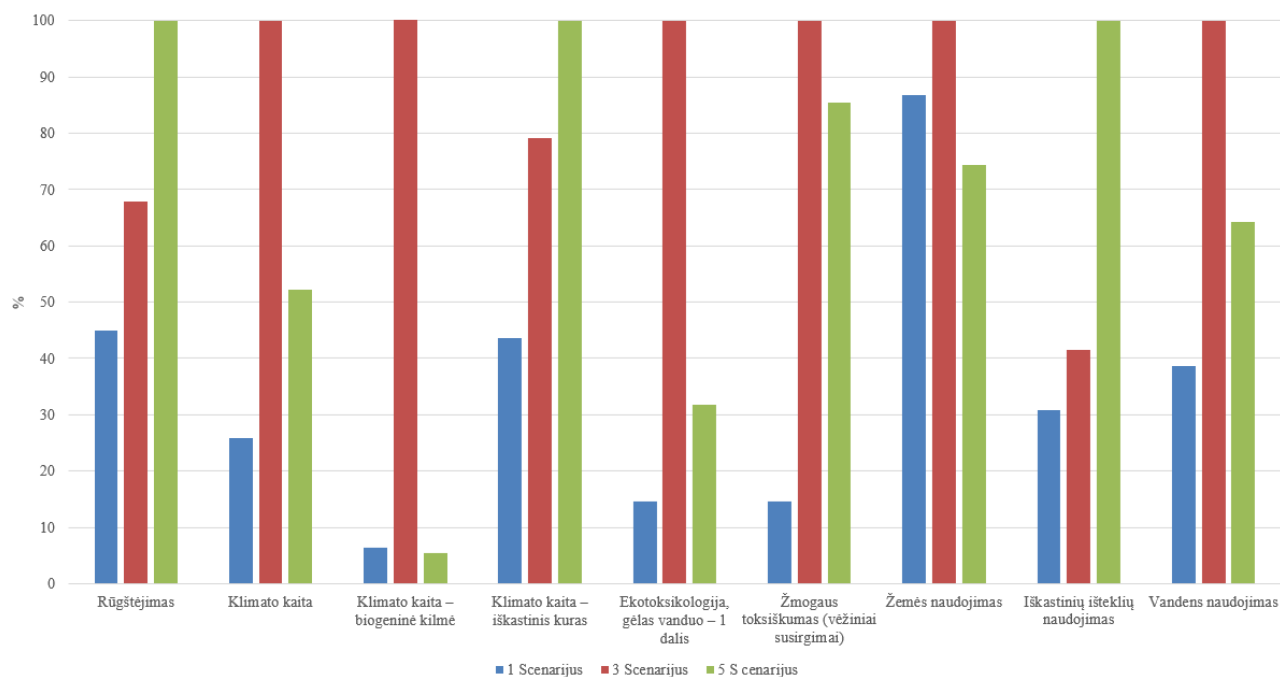


29 pav. Normalizuoti rezultatai mišriems marškinėliams dviem skirtingais scenarijais

3.2.4. Trijų skirtingų marškinėlių poveikio analizė, naudojant mišrią energiją ir šalinimą sąvartyne

Charakterizuoti rezultatai, pateikti 30 pav., lygina skirtingų medžiagų marškinėlius – 1, 3 ir 5 scenarijus. Daugelyje poveikio kategorijų didžiausias poveikis tenka 3 scenarijui. Šio scenarijaus bendras klimato kaitos poveikis 6,35 kg CO₂ ekv., iš kurių 2,29 kg iškastinio kuro kilmės, o 1,66 kg – biogeninės kilmės. 5 scenarijaus poveikis sudaro 3,32 kg CO₂ ekv., iš jų 2,89 kg sudaro iškastinės kilmės, o 0,09 kg – biogeninės emisijos. 1 scenariju turėjo mažiausią poveikį – 1,65 kg CO₂ ekv., iš jų 1,26 kg buvo iškastinės kilmės, o 0,10 kg – biogeninės kilmės. Vertinant procentiškai, 1 scenarijaus poveikis bendroje klimato kaitos kategorijoje siekia 26 %, o 5 scenarijaus – 52 %, lyginant su 3 scenarijumi. Biogeninės kilmės emisijų atžvilgiu, 5 scenarijus sudaro 5,5 %, o 1 scenarijus – 6 % 3 scenarijaus vertės. Iškastinio kuro kilmės emisijų atžvilgiu, didžiausią poveikį sudaro 5 scenarijus, lyginant su juo, 1 scenarijus sudaro 44 %, o 3 scenarijus – 79 %. Ekotoksikologijos ir žmogaus toksiškumo kategorijose didžiausias poveikis fiksuotas 3 scenarijuje (100 %), 1 scenarijus tesiekia apie 14–15 %. 5 scenarijus užima tarpinę poziciją – nuo 32 % iki 85 %. Tokie skirtumai rodo, kad poveikis žmogaus sveikatai ir aplinkai labiausiai priklauso nuo naudojamos žaliavos tipo – natūralaus ar sintetinio pluošto. 1 scenarijus siekia 87 % žemės naudojimo ir tik 39 % vandens naudojimo, palyginti su 3 scenarijumi. Tai gali atrodyti neįprasta, nes medvilnės gamyba dažnai siejama su dideliu žemės ir ypač vandens poreikiu. Vis dėlto šiuo atveju bendras poveikis šiose kategorijose gali būti paveiktas kitų veiksnių, pavyzdžiui, poliesterio gamybos energijos intensyvumo arba sąvartynų poveikio būvio ciklui. Rūgštėjimo potencialo kategorijoje 3 scenarijus sudaro 68 %, o 1 – 45 %, lyginant su 5 scenarijumi.

Apibendrinant galima teigti, kad žaliavos sudėtis yra pagrindinis veiksnys, lemiantis poveikio rezultatų skirtumus tarp scenarijų. Sintetiniai pluoštai, tokie kaip poliesteris, daro didžiausią įtaką klimato kaitai ir iškastinių išteklių naudojimui dėl energijai imlios gamybos. Tuo tarpu natūralūs pluoštai, ypač medvilnė, pasižymi didesniu žemės ir vandens naudojimu, susijusiu su žemės ūkio veikla. Mišraus pluošto (medvilnės ir poliesterio) marškinėliai aplinkosauginio poveikio požiūriu užima tarpinę poziciją.

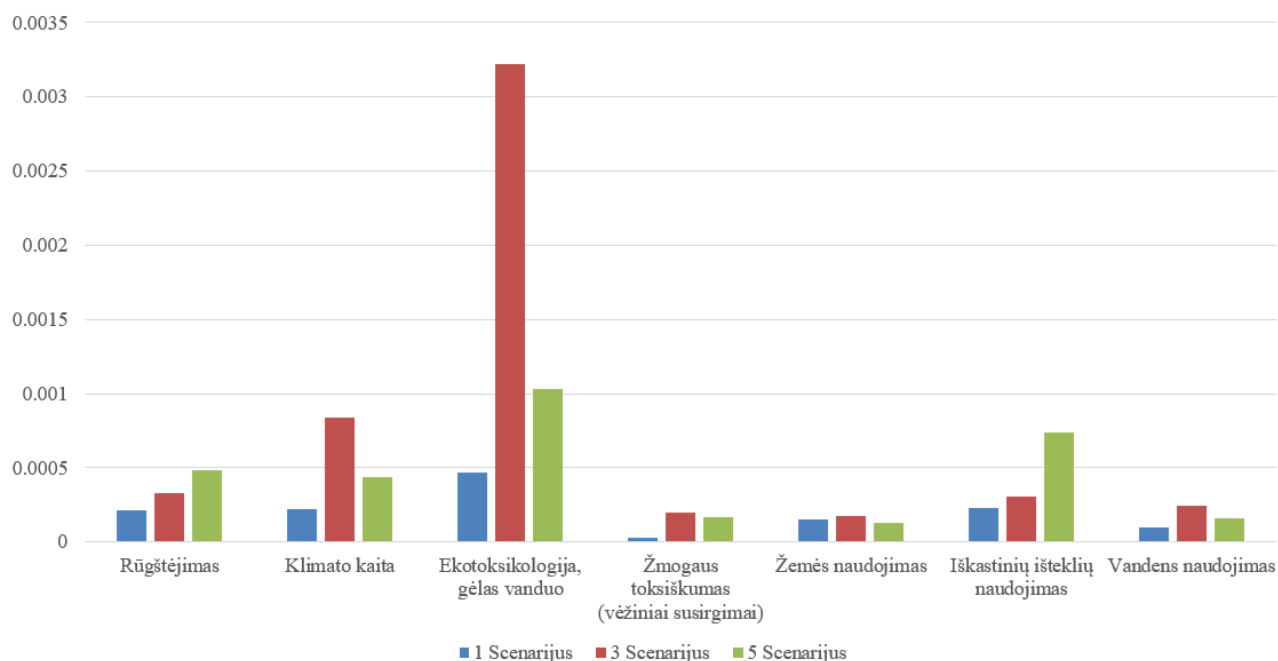


30 pav. Lyginamosios analizės charakterizuoti rezultatai visiems marškinėliams, naudojant mišrią energiją ir šalinimą sąvartyne

Normalizuoti rezultatai, pateikti 31 pav., leidžia įvertinti, kurios poveikio kategorijos daro didžiausią poveikį bendrame kontekste. Visais atvejais išsiskiria ekotoksikologijos, gėlo vandens kategorija. Lyginant su šios kategorijos reikšmėmis, visos kitos sudaro mažesnę poveikio dalį.

Klimato kaita yra kita reikšminga kategorija, kuri 3,8 karto mažesnė nei ekotoksikologijos. Šis skirtumas rodo, kad ŠESD emisijos nesudaro didžiausios poveikio dalies. Iškastinių išteklių naudojimo reikšmė artima klimato kaitos kategorijai, tačiau 4,4 karto mažesnė nei ekotoksikologijos. Rūgštėjimo potencialas sudaro mažesnę dalį, jo reikšmė 6,7 karto mažesnė. Žmogaus toksiškumo (vėžiniai susirgimai) turi vieną mažiausių reikšmių ir yra 16 kartų mažesnė už ekotoksikologijos kategoriją. Dar mažesnės reikšmės fiksuojamos vandens naudojimo ir žemės naudojimo kategorijose, atitinkamai 12,9 ir 18,8 karto mažesnės.

Didžiausią aplinkosauginį krūvį sudaro poveikis ekotoksikologijos, klimato kaitos ir iškastinių išteklių naudojimo kategorijose. Šios sritys pasižymi aukščiausiomis normalizuotomis reikšmėmis, todėl vertinamos kaip reikšmingiausios visame poveikio kontekste. Tokie rezultatai rodo, kad didžiausią aplinkai daromą poveikį lemia energijos vartojimas, žaliavų kilmė bei teršalų patekimas į aplinką.

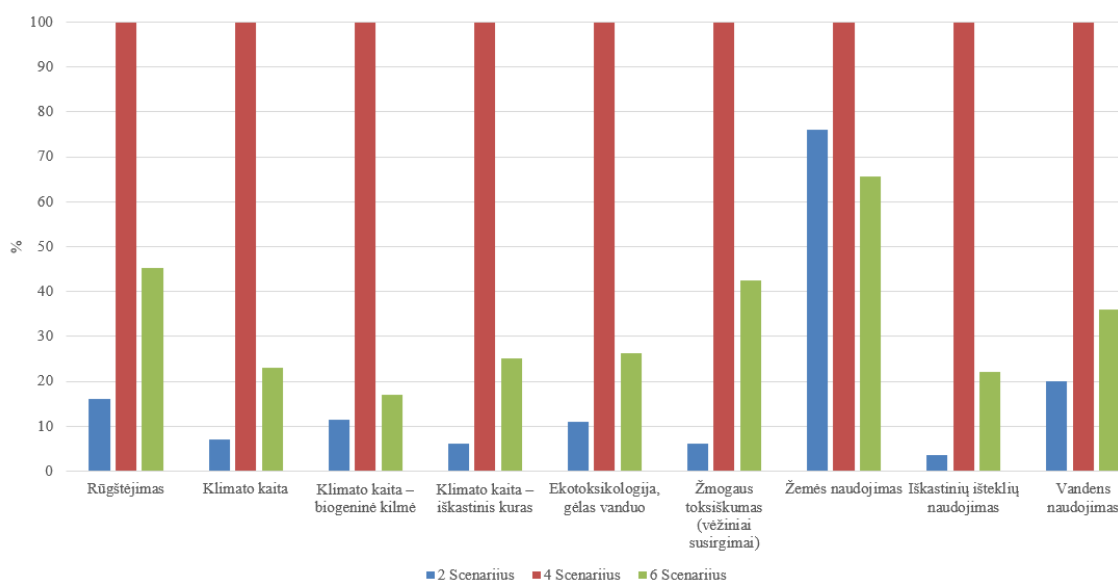


31 pav. Normalizuoti rezultatai visiems marškinėliams, naudojant mišrią energiją ir šalinimą sąvartyne

3.2.5. Trijų skirtingų marškinėlių poveikio analizė, naudojant atsinaujinančią energiją ir perdirbimą

32 pav. pateikiamas trijų marškinėlių tipų palyginimas. 2, 4 ir 6 scenarijai vertinami taikant atsinaujinančios energijos šaltinį ir pilną perdirbimą, todėl jų poveikis aplinkai yra mažesnis nei anksčiau aptartuose scenarijuose.

Lyginant visų trijų scenarijų poveikį klimato kaitos kategorijoje, išsiskiria 2 scenarijus su mažiausiu poveikiu. Šio scenarijaus bendra klimato kaitos reikšmė siekia 0,9961 kg CO₂ ekv., iš kurių 0,6974 kg iškastinės kilmės, o 0,0195 kg – biogeninės kilmės. 4 scenarijus sudaro didžiausią poveikį – 13,92 kg CO₂ ekv., iš jų 11,34 kg iškastinės ir 0,17 kg biogeninės kilmės. 6 scenarijus sudaro tarpinį variant – 3,22 kg CO₂ ekv., iš jų 2,86 kg iškastinės ir 0,029 kg biogeninės kilmės emisijos. Vertinant procentiškai, 2 scenarijus sudaro 7 % bendro klimato kaitos poveikio, o mišrūs – 23 %, lygiant su 4 scenarijumi. Biogeninės kilmės emisijų atveju 2 scenarijus sudaro 11,5 %, o 5 – 17 % 4 scenarijaus vertės. Didesni skirtumai pastebimi iškastinio kuro emisijų kategorijoje – 2 scenarijus sudaro tik 6 %, o 6 scenarijus – 25 % 3 scenarijaus vertės. Šie rezultatai rodo, jog ir naudojant atsinaujinantį energijos šaltinį bei renkantis perdirbimą, poliesteris išlieka labiausiai teršianti medžiaga. Rūgštėjimo potencialas 2 scenarijuje sudaro 16 %, 6 scenarijuje – 45 %, o 4 – 100 %, parodant, kad sintetinių pluoštų gamyba pasižymi žymiai didesniu cheminių emisijų kiekiu. Ekotoksikologijos gėlame vandenyje poveikis 2 scenarijuje sudaro tik 11 %, o 6 – 26 %. Žmogaus toksiškumo (vėžiniai susirgimai) atveju 2 scenarijus siekia 6 %, 6 scenarijus – 42 %. Iškastinių išteklių naudojimo kategorijoje 2 scenarijus sudaro 4 %, o 6 – 22 %. Šie rezultatai aiškiai parodo sintetinių pluoštų priklausomybę nuo iškastinės žaliavos. Tuo tarpu žemės ir vandens naudojimo kategorijose skirtumai tarp 2 ir 6 scenarijaus mažesni. Žemės naudojimo atveju 2 scenarijus sudaro 76 %, 6 scenarijus – 66 %, o vandens naudojimo srityje atitinkamai 20 % ir 36 %. Tai rodo, kad šiose poveikio kategorijose didžiausią įtaką daro medvilnės kiekis audinyje, todėl mišraus audinio marškinėlių rezultatai artimesni grynos medvilnės scenarijaus rezultatams.

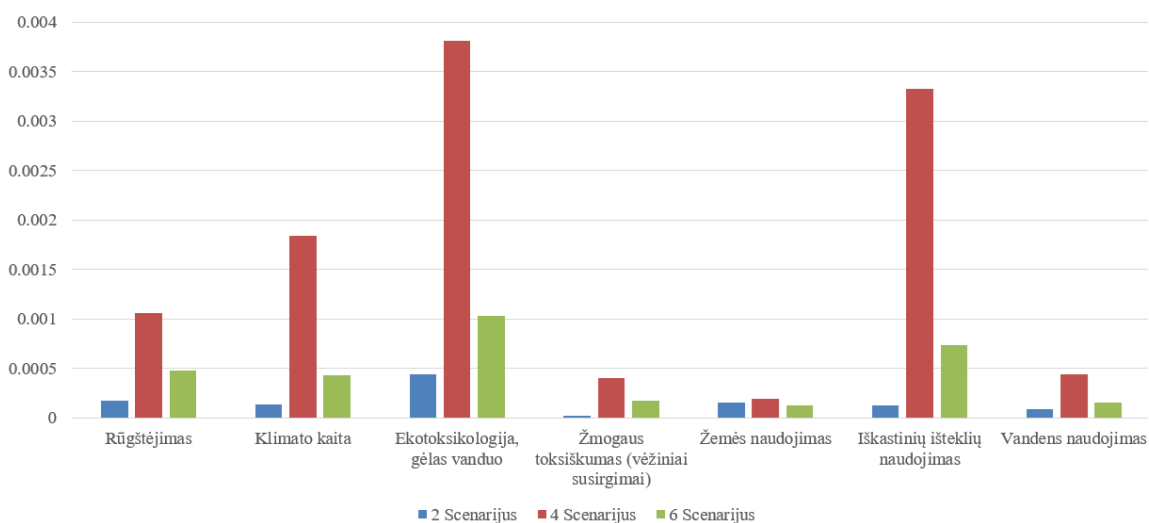


32 pav. Lyginamosios analizės charakterizuoti rezultatai visiems marškinėliams, naudojant atsinaujinančią energiją ir perdirbimą

Normalizuoti rezultatai, pateikti 32 pav., leidžia įvertinti, kurios poveikio kategorijos daro didžiausią poveikį bendrame kontekste, taikant atsinaujinančią energijos šaltinį ir perdirbimą. Visų trijų scenarijų atveju išsiskiria ekotoksikologijos, gėlo vandens kategorija.

Klimato kaitos reikšmė yra 2,1 karto mažesnė nei ekotoksikologijos. Iškastinių išteklių naudojimo reikšmė 1,2 karto mažesnė. Tokie rezultatai parodo šių kategorijų priklausomybę nuo naudojamos energijos tipo. Rūgštėjimo potencialas yra 3,6 karto mažesnis, o žmogaus toksiškumo (vėžiniai susirgimai) kategorija – 9,5 karto mažesnė už ekotoksikologijos reikšmę. Dar mažesnės reikšmės fiksuojamos vandens naudojimo ir žemės naudojimo kategorijose, kurių reikšmės atitinkamai 8,7 ir 19,4 mažesnės už ekotoksikologijos.

Net ir naudojant atsinaujinančią energijos šaltinį ir perdirbimą, pagrindinį aplinkosauginį poveikį sudaro vandens tarša, ŠESD emisijos ir iškastinių išteklių naudojimas. Šios sritys yra susijusios su medžiagos kilme, energijos rūšimi bei gamybos procesais.



33 pav. Normalizuoti rezultatai visiems marškinėliams, naudojant atsinaujinančią energiją ir perdirbimą

3.3. Neapibrėžtumo analizė

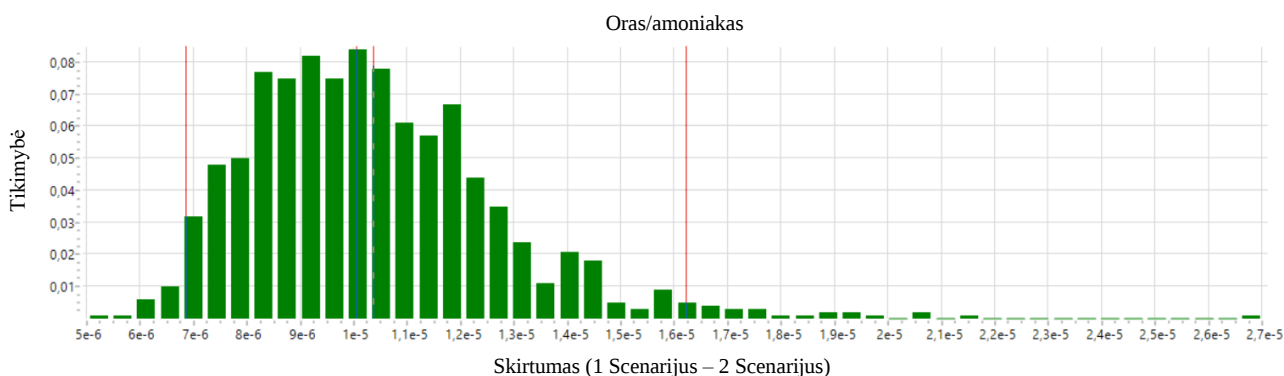
Analizei pasirinkta poveikio kategorija – amoniako emisijos į orą, nes ši medžiaga dažnai pasitaiko tekstilės būvio cikle – tiek žaliavų gamybos, tiek skalbimo procesuose. Amoniakas susijęs su rūgštėjimo ir eutrofikacijos poveikio kategorijomis, o vertinant normalizuotas reikšmes, eutrofikacijos poveikio vertės buvo didesnės nei kitų kategorijų.

3.3.1. Medvilninės marškinėliai su lipduku

34 pav. pateiktoje histogramoje pavaizduota 10 000 Monte Karlo simuliacijų rezultatų pasiskirstymas, kuris atspindi skirtumą tarp 1 ir 2 scenarijų pagal amoniako emisijų poveikio kategoriją. Analizė atlikta naudojant normaliąją tikimybės skirstinio funkciją, kuria remiantis atsitiktinai buvo generuojamos galimos skirtumo reikšmės (1 Scenarijus – 2 Scenarijus), atsižvelgiant į standartinį nuokrypį ($2,39 \times 10^{-6}$).

Visi gauti skirtumai teigiami, o tai reiškia, jog 100 % visų simuliacijų atveju 1 scenarijus $\geq$ 2 scenarijui, todėl galima teigti, kad poveikis 2 scenarijuje yra visais atvejais mažesnis. Rezultatai rodo, kad vidutinė skirtumo reikšmė yra $1,04 \times 10^{-5}$, o mediana – $1,00 \times 10^{-5}$, tai atskleidžia, jog reikšmės šiek tiek pasiskirsčiusios asimetriškai į dešinę, tačiau reikšmingų nukrypimų nėra.

Vertikalios šoninės raudonos linijos grafike atvaizduoja 95 % pasikliautinojo intervalo ribas, kurios šiuo atveju apima reikšmes nuo $7,0 \times 10^{-6}$ iki $1,6 \times 10^{-5}$. Tai reiškia, kad 95 % visų galimų skirtumo tarp 1 ir 2 scenarijų reikšmių patenka į šį intervalą. Šio intervalo reikšmė yra svarbi, nes leidžia įvertinti rezultatų stabilumą – kuo siauresnis intervalas, tuo rezultatas stabilesnis ir patikimesnis.



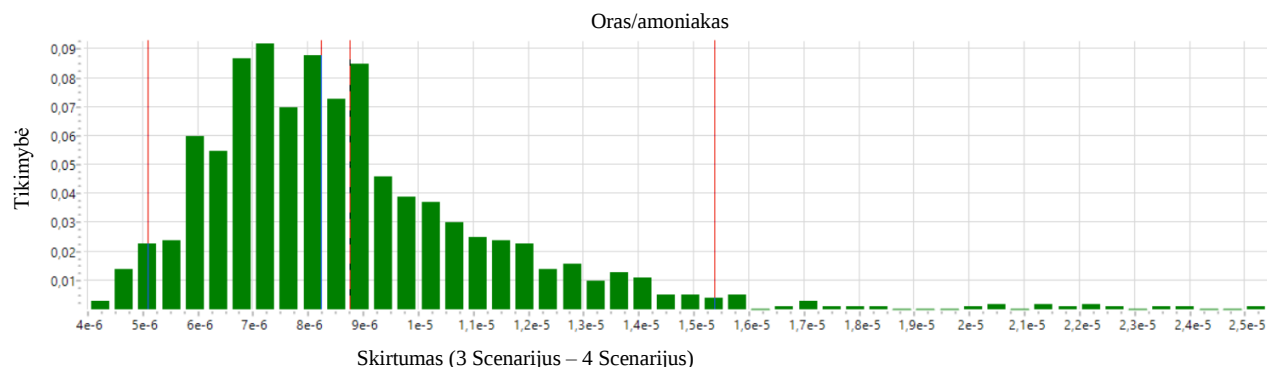
34 pav. Medvilnės marškinėlių su lipduku neapibrėžtumo analizė

3.3.2. Poliesterio marškinėliai su lipduku

35 pav. pateiktoje histogramoje vaizduojamas 10 000 Monte Karlo simuliacijų rezultatų pasiskirstymas, kuris atspindi skirtumą tarp 3 ir 4 scenarijų pagal amoniako emisijų poveikio kategoriją. Analizė atlikta naudojant normaliąją tikimybės skirstinio funkciją, kuria remiantis atsitiktinai buvo generuojamos galimos skirtumo reikšmės (3 Scenarijus – 4 Scenarijus), atsižvelgiant į standartinį nuokrypį ($2,80 \times 10^{-6}$).

Visi gauti skirtumai yra teigiami, o tai parodo, kad 100 % simuliacijų atvejų 3 scenarijus $\geq$ 4 scenarijui. Dėl to galima teigti, jog poveikis 4 scenarijuje visais atvejais buvo mažesnis. Vidutinė skirtumo reikšmė $8,75 \times 10^{-6}$, o mediana – $8,23 \times 10^{-6}$, todėl galima teigti, kad reikšmės pasiskirsčiusios šiek tiek asimetriškai, daugiau rezultatų nukrypsta į dešinę pusę.

Vertikalios raudonos šoninės linijos grafike žymi 95 % pasikliautinojo intervalo ribas, kurios apima reikšmes nuo $5,8 \times 10^{-6}$ iki $1,6 \times 10^{-5}$. Dauguma skirtumo reikšmių patenka į siaurą intervalą, tai rodo rezultatų stabilumą ir patikimumą.



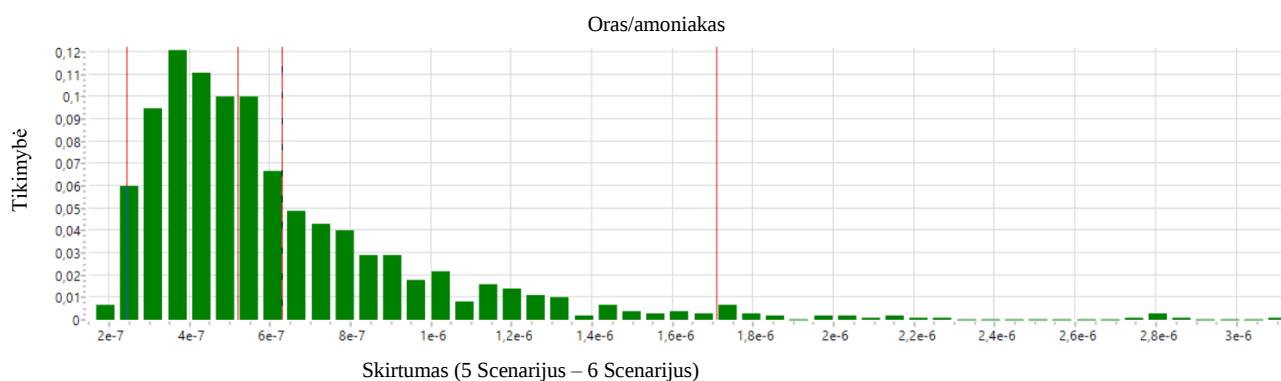
35 pav. Poliesterio marškinėlių su lipduku neapibrėžtumo analizė

3.3.3. Mišrios medžiagos marškinėliai

34 pav. pateiktoje histogramoje pavaizduotas skirtumo tarp 5 ir 6 scenarijų rezultatas, vertinant amoniako emisijų poveikį, taikant Monte Karlo simuliaciją. Skaičiavimai atlikti naudojant normalaus skirstinio funkciją, kurios pagrindu atsitiktinai generuojamos galimos skirtumo reikšmės (5 scenarijus – 6 scenarijus), atsižvelgiant į standartinę nuokrypį ($3,84 \times 10^{-7}$).

Visi gauti skirtumai yra teigiami, o tai reiškia, kad 100 % simuliacijų atvejų 5 scenarijus $\geq$ 6 scenarijui. Dėl to galima teigti, jog poveikis 6 scenarijuje visais atvejais mažesnis. Vidutinė skirtumo reikšmė – $6,35 \times 10^{-7}$, o mediana – $5,19 \times 10^{-7}$. Tai rodo, kad reikšmės pasiskirsčiusios šiek tiek asimetriškai – daugiau rezultatų pasislinkę į dešinę.

Vertikalios raudonos šoninės linijos grafike žymi 95 % pasikliautinojo intervalo ribas, kurios apima reikšmes nuo $2,6 \times 10^{-7}$ iki $1,8 \times 10^{-6}$. Dauguma skirtumo reikšmių patenka į siaurą intervalą, tai rodo rezultatų stabilumą ir patikimumą.



36 pav. Mišrios medžiagos marškinėlių neapibrėžtumo analizė

Išvados

1. Atlikus literatūros analizę nustatyta, kad tekstilės gaminiai daro poveikį aplinkai visuose savo būvio ciklo etapuose – nuo žaliavų išgavimo iki atliekų šalinimo. Būvio ciklo vertinimo metodika leidžia sistemiskai įvertinti poveikį, palyginti skirtingas medžiagas, jų gamybos būdus ir vartojimo scenarijus.
2. Analizei atlikti buvo pasirinkti trijų tipų marškinėliai – medvilniniai (100 %) su lipduku, poliesteriniai (100 %) su lipduku ir mišraus audinio (80 % medvilnė, 20 % poliesteris). Kiekvienam gaminiui buvo nustatytos sistemos ribos, pagal kurias buvo surinkti inventoriniai duomenys. Taip pat įtraukti lipdukų gamybos duomenys, nes jie yra papildoma sudedamoji medžiaga, kuri daro įtaką analizės rezultatams. Įtraukti ir skirtingi energijos šaltinių scenarijai – mišrios ir atsinaujinančios energijos naudojimas. Šie duomenys sudarė pagrindą tolimesnei poveikio analizei.
3. Atlikus būvio ciklo vertinimą, naudojant SimaPro 10.1.0.4 programinę įrangą ir taikant aplinkosauginio pėdsako 3.1 metodą, nustatyta, jog marškinėlių poveikis aplinkai priklauso nuo jų sudėties, pasirinktų energijos šaltinių bei atliekų tvarkymo būdo. Charakterizuotų rezultatų analizė parodė, jog didžiausią įtaką aplinkos poveikiui daro marškinėlių sudėtis ir pasirinktų scenarijų veiksniai. Medvilniniai marškinėliai pasižymėjo dideliu vandens sunaudojimu ir poveikiu ekotoksikologijos kategorijoje, kur jų vertė buvo didesnė 60 % nei poliesterinių marškinėlių ir 30 % didesnė nei mišrių. Klimato kaitos kategorijoje jų emisijos siekė 1,65 kg CO₂ ekv., naudojant mišrią energiją ir sumažėjo iki 0,996 kg CO₂ ekv. taikant atsinaujinančią energiją. Poliesteriniai marškinėliai išsiskyrė dideliu iškastinių išteklių naudojimu ir klimato kaitos poveikiu. Naudojant mišrią energiją jų emisijos siekė 6,35 kg CO₂ ekv., o naudojant atsinaujinančią energiją sumažėjo iki 4,09 kg CO₂ ekv. Mišrios sudėties marškinėliai išliko tarpiniu variantu, vandens naudojimas sudarė 55 % medvilninių marškinėlių vertės, o klimato kaitos reikšmė sumažėjo nuo 3,32 kg CO₂ ekv. iki 3,22 kg CO₂ ekv. Normalizuotų duomenų analizė parodė, kad ekotoksikologijos, gėlo vandens poveikio kategorijos reikšmės visais scenarijais buvo didžiausios, visų kitų kategorijų reikšmės buvo mažesnės. Pavyzdžiui, klimato kaitos reikšmė mažesnė 3,8 karto, rūgštėjimo potencialo – 6,7 karto, o žmogaus toksiškumo – 16 kartų. Skirtingų energijos šaltinių analizė parodė, jog naudojant atsinaujinančią energiją bendras poveikis gali sumažėti daugiau nei perpus, o perdirbimo scenarijai sumažina poveikį klimato kaitos ir išteklių naudojimo kategorijose.
4. Atlikta neapibrėžtumo analizė (Monte Karlo metodu) parodė, jog gauti būvio ciklo vertinimo rezultatai yra statistiškai patikimi. Skaičiavimai parodė, kad visais atvejais (100 % simuliacijų) scenarijai, kuriuose naudojama atsinaujinanti energija ir perdirbimas, buvo palankesni aplinkosauginiu požiūriu. Medvilninių marškinėlių atveju vidutinė skirtumo reikšmė tarp 1 ir 2 scenarijų buvo $1,04 \times 10^{-5}$, o 95 % pasikliautinojo intervalo ribos siekė nuo $7,0 \times 10^{-6}$ iki $1,6 \times 10^{-5}$. Poliesterinių marškinėlių skirtumas tarp 3 ir 4 scenarijų buvo panašus – vidutinė reikšmė $8,75 \times 10^{-6}$, o pasikliautinojo intervalo ribos nuo $5,8 \times 10^{-6}$ iki $1,6 \times 10^{-5}$. Mišrių marškinėlių atveju skirtumas tarp 5 ir 6 scenarijų siekė $6,35 \times 10^{-7}$, su 95 % intervalu nuo $2,6 \times 10^{-7}$ iki $1,8 \times 10^{-6}$. Šie rezultatai rodo, kad analizuoti skirtumai yra ne tik statistiškai reikšmingi, bet ir pakankamai stabilūs.
5. Rezultatai atskleidė, kad didžiausią poveikį daro medžiagų pasirinkimas, energijos šaltinis ir atliekų tvarkymo būdas. Todėl rekomenduojama naudoti medžiagas, kurių gamybos metu naudojama mažiau vandens ir iškastinių išteklių, pavyzdžiui, perdirbtas poliesteris ar

ekologiškai auginta medvilnė. Taip pat svarbu mažinti poveikį naudojimo etape, skatinant skalbimą mažesnėje temperatūroje, naudojant natūralius džiovavimo metodus bei ilgiau dėvint marškinėlius. Ilgesnis naudojimo laikas, atsakinga priežiūra ir drabužių rūšiavimas gali reikšmingai prisidėti prie poveikio aplinkai mažinimo. Siekiant ilgalaikių pokyčių, reikia skatinti perdirbimą, antrinių žaliavų naudojimą bei mišrių audinių technologinį tvarkymą.

Literatūros sąrašas

1. *Materials Market Report 2023 - Textile Exchange*. Interaktyvus. Textile Exchange, 2023. Prieiga per: <https://textileexchange.org/knowledge-center/reports/materials-market-report-2023/>. [žiūrėta 2024-10-30].
2. *Global textile fiber production per capita 1975-2030* | Statista. Interaktyvus. Statista, 2024. Prieiga per: <https://www.statista.com/statistics/1260339/global-textile-fiber-production-per-capita/>. [žiūrėta 2024-10-30].
3. *Textiles and the environment: the role of design in Europe's circular economy*. Interaktyvus. European Environment Agency, 2024. Prieiga per: <https://www.eea.europa.eu/publications/textiles-and-the-environment-the/textiles-and-the-environment-the>. [žiūrėta 2024-10-30].
4. *The impact of textile production and waste on the environment (infographics) | Topics | European Parliament*. Interaktyvus. Topics | European Parliament, 2020. Prieiga per: <https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20201208STO93327/the-impact-of-textile-production-and-waste-on-the-environment-infographics>. [žiūrėta 2024-04-16].
5. *Circular economy for textiles: taking responsibility to reduce, reuse and recycle textile waste and boosting markets for used textiles*. Interaktyvus. European Commission - European Commission, 2023. Prieiga per: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_3635. [žiūrėta 2024-04-16].
6. *Learn what the EU does on sustainable fashion and RESet the Trend*. Interaktyvus. Environment, 2024. Prieiga per: https://environment.ec.europa.eu/topics/circular-economy/reset-trend/how-eu-making-fashion-sustainable_en. [žiūrėta 2024-04-16].
7. *Management of used and waste textiles in Europe's circular economy*. Interaktyvus. European Environment Agency, 2024. Prieiga per: <https://www.eea.europa.eu/publications/management-of-used-and-waste-textiles>. [žiūrėta 2024-10-31].
8. *Tekstilė - informacija apie tekstilės tvarkymą Lietuvoje*. Interaktyvus. Tekstilės tvarkymas, 2024. Prieiga per: <https://tekstilestvarkymas.lt/>. [žiūrėta 2024-04-16].
9. *Tekstilės atliekos: ką turi žinoti gyventojai?* Interaktyvus. Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija, 2022. Prieiga per: <https://am.lrv.lt/lt/naujienos/tekstiles-atliekos-ka-turi-zinoti-gyventojai/>. [žiūrėta 2024-04-16].
10. *Circular economy action plan*. Interaktyvus. Environment, 2024. Prieiga per: https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan_en. [žiūrėta 2024-10-31].
11. LÜTTIN, Lidia. *Full overview of the EU textile strategy and regulations*. Interaktyvus. Carbonfact | Sustainability Platform for Apparel & Footwear, 2025. Available from: <https://www.carbonfact.com/blog/policy/eu-regulations-for-textile-brands>. [žiūrėta 2025-05-29].
12. KHANDELWAL, Bharat, Kunal BHATIA, Holger RUBEL, Abhishek DALMIA, Shilpa SHARMA, et al. *Circular Strategies for a Garment's End-of-Life Moment*. Interaktyvus. BCG Global, 2023. Prieiga per: <https://www.bcg.com/publications/2023/end-of-life-recycling-in-the-fashion-industry>. [žiūrėta 2024-10-31].
13. GONZALEZ, Victoria, Xingqiu LOU, and Ting CHI. *Evaluating Environmental Impact of Natural and Synthetic Fibers: A Life Cycle Assessment Approach*. Interaktyvus. MDPI. [n.d.], 2023. Prieiga per: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/9/7670>. [žiūrėta 2024-10-31].

14. *Water Efficiency For The Textile Industry*. Interaktyvus. Castlewater, 2022. Available from: <https://www.castlewater.co.uk/blog/water-efficiency-for-the-textile-industry>. [žiūrėta 2024-10-31].
15. *The danger of the textile industry to the environment - Green Fashion*. Interaktyvus. Green Fashion, 2020. Available from: <https://greenfashion-stores.com/the-danger-of-the-textile-industry-to-the-environment/>. [žiūrėta 2024-10-31].
16. *The impact of textile production and waste on the environment (infographics) - EU monitor*. Interaktyvus. EU Monitor - EU monitor, 2023. Prieiga per: <https://www.eumonitor.eu/9353000/1/j9vvik7m1c3gyxp/vlf0bgvqy6vx?ctx=vjxzjv7ta8z1>. [žiūrėta 2024-10-31].
17. WASTIAUX, Max. *The environmental impact of the textile sector - Hedgehog*. Interaktyvus. Hedgehog Knowledge Base, 2024. Prieiga per: <https://www.hhc.earth/knowledge-base/the-environmental-impact-of-the-textile-sector>. [žiūrėta 2024-10-31].
18. FILHO, Walter Leal, Maria Alzira Pimenta DINIS, Olena LIAKH, Arminda PAÇO, Karen DENNIS, et al. *Reducing the carbon footprint of the textile sector: an overview of impacts and solutions*. Interaktyvus. SageJournals, 2024-03-18. Prieiga per: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/00405175241236971>. [žiūrėta 2025-05-29].
19. *Textiles: Can We Make Fashion Sustainable? | ClimateScience*. Interaktyvus. Learn How To Solve Climate Change | ClimateScience, 2024. Prieiga per: <https://climatescience.org/advanced-fashion-textiles-sustainable>. [žiūrėta 2024-10-31].
20. *Apparel industry CO2e emissions projection 2019-2030 | Statista*. Interaktyvus. Statista, 2025. Prieiga per: <https://www.statista.com/statistics/1305696/apparel-industry-co2e-emissions/>. [žiūrėta 2024-10-31].
21. ISLAM, Tarekul, Md. Reazuddin REPON, Tarikul ISLAM, Zahid SARWAR, Mohammed M. RAHMAN. *Impact of textile dyes on health and ecosystem: a review of structure, causes, and potential solutions*. Interaktyvus. Springer, 2022. Prieiga per: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-022-24398-3>. [žiūrėta 2024-10-31].
22. AKTER, Tanzina, Anica Tasnim PROTITY, Modhusudon SHAHA, Mohammad Al MAMUN, Abu HASHEM. *The Impact of Textile Dyes on the Environment*. Interaktyvus. Springer, 2023. Prieiga per: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-99-3901-5_17. [žiūrėta 2024-10-31].
23. WIEDEMANN, Stephen G., Leo BIGGS, Quan V. NGUYEN, Simon J. CLARKE, Krisi LAITALA, Ingun G. KLEPP. *Reducing environmental impacts from garments through best practice garment use and care, using the example of a Merino wool sweater*. Interaktyvus. Springer, 2021. Prieiga per: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-021-01909-x>. [žiūrėta 2024-10-31].
24. *How wool reduces climate impact*. Interaktyvus. IWTO, 2022. [žiūrėta 2024-10-31]. Prieiga per: https://iwto.org/sdm_downloads/how-wool-reduces-climate-impact/. [žiūrėta 2024-10-31].
25. *The Truth About Laundry*. Interaktyvus. Electrolux, 2023. Prieiga per: <https://admin.betterlivingprogram.com/wp-content/uploads/2023/04/ELECTROLUX-TRUTH-ABOUT-LAUNDRY-2023.pdf>. [žiūrėta 2024-10-31].
26. MOAZZEM, Shadia, Enda CROSSIN, Fugen DAVER, Lijing WANG. *Environmental impact of apparel supply chain and textile products*. Interaktyvus. Springer, 2021. Prieiga per: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10668-021-01873-4>. [žiūrėta 2024-10-31].
27. DE FALCO, Francesca, Emilia Di PACE, Mariacristina COCCA, Maurizio AVELLA. *The contribution of washing processes of synthetic clothes to microplastic pollution*. Interaktyvus. Nature news, 2019. Prieiga per: <https://www.nature.com/articles/s41598-019-43023-x>. [žiūrėta 2024-10-31].
28. *What is microfibre pollution?* Interaktyvus. Xeros, 2024. Prieiga per: <https://xerostech.com/microfibres-macro-problem/>. [žiūrėta 2024-10-31].

29. CUI, Hong, Changquan XU. *Study on the Relationship between Textile Microplastics Shedding and Fabric Structure*. Interaktyvus. Researchgate, 2022. Prieiga per: https://www.researchgate.net/publication/366024332_Study_on_the_Relationship_between_Textile_Microplastics_Shedding_and_Fabric_Structure. [žiūrėta 2024-10-31].
30. PIIPPO, Riikka, Kirsi NIINIMAKI, Maarit AAKKOO. *Fit for the future: Garment quality and product lifetimes in a CE context*. Interaktyvus. MDPI, 2022. Prieiga per: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/2/726>. [žiūrėta 2024-10-31].
31. *How can we improve sustainability in the textile industry?* Interaktyvus. Lindström Group, 2024. Prieiga per: <https://lindstromgroup.com/how-can-we-improve-sustainability-in-the-textile-industry/>. [žiūrėta 2024-10-31].
32. BESSER, Linton. *Dead white man's clothes*. Interaktyvus. ABC News, 2021. Prieiga per: <https://www.abc.net.au/news/2021-08-12/fast-fashion-turning-parts-ghana-into-toxic-landfill/100358702>. [žiūrėta 2024-10-31].
33. BONIFAZI, Giuseppe, Riccardo Gasbarrone, Roberta Palmieri, Silvia Serranti. *A characterization approach for end-of-life textile recovery based on short-wave infrared spectroscopy*. Interaktyvus. Springer, 2024. Prieiga per: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12649-023-02413-z>. [žiūrėta 2024-10-31].
34. *10 alarming clothing waste statistics*. Interaktyvus. Printful, 2023. Prieiga per: <https://www.printful.com/blog/clothing-waste-statistics>. [žiūrėta 2024-10-31].
35. *Climate+ dashboard*. Interaktyvus. Textile Exchange, 2024. Prieiga per: <https://textileexchange.org/climate-dashboard/>. [žiūrėta 2024-11-01].
36. FILHO, Walter Leal, Patsy PERRY, Hilde HEIM, Maria Alzira Pimenta DINIS, Haruna MODA, Eromose EBHUOMA, Arminda PACO. *An overview of the contribution of the textiles sector to climate change*. Interaktyvus. Frontiers, 2022. Prieiga per: <https://www.frontiersin.org/journals/environmental-science/articles/10.3389/fenvs.2022.973102/full>. [žiūrėta 2024-11-01].
37. MIKUCIONIENE, DAIVA, David Mínguez-García, Md. Reazuddin Repon, Rimvydas Milašius, Georgios Priniotakis, Ioannis Chronis, Kyriaki Kiskira, Rick Hogeboom, Raquel Belda-Anaya, Pablo Díaz-García. *Understanding and addressing the water footprint in the Textile Sector: A Review*. Interaktyvus. De Gruyter, 2024. Prieiga per: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/aut-2024-0004/html>. [žiūrėta 2024-11-01].
38. SHANMUGASUNDARAM, O. Lakshmanan, Guruprasad Raghavendran. *Low water-consumption technologies for textile production*. Interaktyvus. Science direct, 2017. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780081020418000093>. [žiūrėta 2025-02-10].
39. KANG, Xing, Liuhao Mao, Jinwen Shi, Yanbing Liu, Binjiang Zhai, Jun Xu, Yuzhou Jiang, Eric Lichtfouse, Hui Jin, Liejin Guo. *Supercritical carbon dioxide systems for sustainable and efficient dissolution of solutes: a Review*. Interaktyvus. SpringerLink, 2024. Prieiga per: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10311-023-01681-4>. [žiūrėta 2025-02-10].
40. HASSAN, Mohammad M., Khaled Saifullah. *Ultrasound-assisted sustainable and energy efficient pre-treatments, dyeing, and finishing of textiles – A comprehensive review*. Interaktyvus. Science direct, 2023. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352554123001432>. [žiūrėta 2025-02-10].
41. *The magic formula behind food waste-based textiles*. Interaktyvus. Common Objective, 2021. Prieiga per: <https://www.commonobjective.co/article/the-magic-formula-behind-food-waste-based-textiles>. [žiūrėta 2025-02-10].
42. *From Agricultural Waste to eco-friendly fibre*. Interaktyvus. WTiN, 2024. Prieiga per: <https://www.wtin.com/article/2024/june/03-06-24/from-agricultural-waste-to-eco-friendly-fibre/>. [žiūrėta 2025-02-10].

43. BHATIA, Shelly, Anshul, Pooja Katoch. *Mushroom: A review on multipurpose fungi and its commercial utilization*. Interaktyvus. International Journal of Advances in Agricultural Science and Technology, 2022. Prieiga per: <https://ijaast.org/index.php/ijaast/article/view/564>. [žiūrėta 2025-02-10].
44. NIDHI, Apurva. *Textile Recycling: Techniques and challenges*. Interaktyvus. Fibre2Fashion, 2023. Prieiga per: <https://www.fibre2fashion.com/industry-article/9777/textile-recycling-techniques-and-challenges>. [žiūrėta 2025-02-11].
45. SAHA, Soumyadeep. *Textile Recycling: The Mechanical Recycling of Textiles Wastes*. Interaktyvus. Online Clothing Study, 2020. Prieiga per: <https://www.onlineclothingstudy.com/2020/08/textile-recycling-mechanical-recycling.html>. [žiūrėta 2025-02-11].
46. *Be innovative with chemical recycling*. Interaktyvus. Andritz, 2024. Prieiga per: <https://www.andritz.com/products-en/recycling/be-innovative-with-chemical-recycling>. [žiūrėta 2025-02-11].
47. *A study on technologies for recycling and re-use of textile scraps*. Interaktyvus. Enicbcmmed, 2024. Prieiga per: <https://www.enicbcmmed.eu/sites/default/files/2023-01/A%20Study%20on%20technologies%20for%20recycling%20and%20re-use%20of%20textile%20scraps%20-%20TMA%20WP6.pdf>. [žiūrėta 2025-02-11]
48. ZAMANI, Bahareh. *Life cycle assessments for textile and fashion products*. Interaktyvus. Carbonfact, 2023. Prieiga per: <https://www.carbonfact.com/blog/knowledge/lca-fashion-textile>. [žiūrėta 2025-02-11].
49. KAZAN, Hilal, Deniz Akgul, Aslihan Kerc. *Life cycle assessment of cotton woven shirts and alternative manufacturing techniques*. Interaktyvus. SpringerLink, 2020. Prieiga per: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10098-020-01826-x>. [žiūrėta 2025-02-11].
50. HORN, Susanna, Kiia M. Molsa, Jaana Sorvari, Hannamaija Tuovila, Pirjo Heikkila. *Environmental Sustainability Assessment of a polyester T-shirt – comparison of circularity strategies*. Interaktyvus. Science direct, 2023. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969723024427>. [žiūrėta 2025-02-11].
51. *What is the demand for apparel on the European market?* Interaktyvus. CBI, 2025. Prieiga per: <https://www.cbi.eu/market-information/apparel/what-demand>. [žiūrėta 2025-02-11].
52. *Climate+ vision*. Interaktyvus. Textile Exchange, 2023. Prieiga per: <https://textileexchange.org/climate-vision/>. [žiūrėta 2025-02-22].
53. *Global Textile Policies in 2024: A year of progress*. Interaktyvus. Alchemie Technology, 2024. Prieiga per: <https://www.alchemietechnology.com/news/textile-policies-2024/>. [žiūrėta 2025-02-22].
54. *What are plant based fibers*. Interaktyvus. Causeartist, 2024. Prieiga per: <https://www.causeartist.com/what-are-plant-based-fibers/>. [žiūrėta 2025-02-22].
55. *Corporate sustainability reporting*. Interaktyvus. Finance, 2025. Prieiga per: https://finance.ec.europa.eu/capital-markets-union-and-financial-markets/company-reporting-and-auditing/company-reporting/corporate-sustainability-reporting_en. [žiūrėta 2025-02-23]
56. LAITALA, Kirsi, Ingun Grimstad Klepp. *What affects garment lifespans? international clothing practices based on a wardrobe survey in China, Germany, Japan, the UK, and the USA*. Interaktyvus. MDPI, 2020. Prieiga per: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/21/9151>. [žiūrėta 2025-02-23].
57. *Life cycle assessment (LCA) - complete beginner's guide*. In *Ecochain* [interaktyvus]. 2024. [žiūrėta 2025-02-28]. Prieiga per internetą: <<https://ecochain.com/blog/life-cycle-assessment-lca-guide/#four-phase-lca>>.
58. MANSOR, M. R., M. T. Mastura, S. M. Sapuan, A.Z. Zainudin. *The environmental impact of natural fiber composites through life cycle assessment analysis*. Interaktyvus. Science direct, 2019. Prieiga per:

- <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780081022900000118>. [žiūrėta 2025-03-01].
59. LAURENT, Alexis, Bo P. Weidema, Jane Bare, Xun Liao, Danielle Maia de Souza, Massimo Pizzol, Serenella Sala, Hanna Schreiber, Nils Thonemann, Francesca Verones. *Methodological review and detailed guidance for the life cycle interpretation phase*. Interaktyvus. DTU Orbit, 2020. Prieiga per: <https://orbit.dtu.dk/en/publications/methodological-review-and-detailed-guidance-for-the-life-cycle-in>. [žiūrėta 2025-03-01].
 60. LATIMER, Jen. *LCA stages: The four stages of life cycle assessment*. Interaktyvus. VAAYU, 2024. Prieiga per: <https://www.vaayu.tech/insights/lca-stages#toc-3-life-cycle-impact-assessment-lcia>. [žiūrėta 2025-03-02].
 61. *Life Cycle Assessment & the EF methods*. Interaktyvus. Green Forum, 2025. Prieiga per: https://green-business.ec.europa.eu/environmental-footprint-methods/life-cycle-assessment-ef-methods_en. [žiūrėta 2025-03-02].
 62. SCHUMACHER, Laura, Eline Willems. *Important impact assessment developments of 2023 and 2024*. Interaktyvus. PRé Sustainability, 2024. Prieiga per: <https://pre-sustainability.com/articles/important-impact-assessment-developments-of-2023-2024/>. [žiūrėta 2025-03-02].
 63. KAZAN, Hilal, Deniz Akgul, Aslihan Kerc. *Life cycle assessment of cotton woven shirts and alternative manufacturing techniques*. Interaktyvus. SpringerLink, 2020. Prieiga per: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10098-020-01826-x>. [žiūrėta 2025-03-25].
 64. *Grow your crop and your business with the right resources, right at your fingertips*. Interaktyvus. Cotton Cultivated, 2025. Prieiga per: <https://cottoncultivated.cottoninc.com/>. [žiūrėta 2025-03-25].
 65. MOAZZEM, Shadia, Enda Crossin, Fugen Daver, Lijing Wang. *Baseline Scenario of Carbon Footprint of Polyester T-Shirt*. Interaktyvus. Journal of Fiber Bioengineering and Informatics, 2018. Prieiga per: https://doc.global-sci.org/uploads/Issue/JFBI/v11n1/111_15.pdf?code=WBG1Q1cQ/0xmpcF114XSrg%3D%3D. [žiūrėta 2025-03-25].
 66. PERIYASAMY, Aravin Prince, Ali Tehrani-Bagha. *A review on microplastic emission from textile materials and its reduction techniques*. Interaktyvus. Science direct, 2022. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141391022000878>. [žiūrėta 2025-03-25].
 67. *U.S. Life Cycle Inventory Database*. Interaktyvus. NREL, 2025. Prieiga per: <https://www.nrel.gov/analysis/lci.html>. [žiūrėta 2025-03-25].
 68. *Life cycle databases*. Interaktyvus. GHG Protocol, 2025. Prieiga per: <https://ghgprotocol.org/life-cycle-databases>. [žiūrėta 2025-03-25].
 69. BAITZ, Martin, Johannes Kreißig, Eloise Byrne at. al. *Life Cycle Assessment of PVC and of principal competing materials*. Interaktyvus. European Commission, 2024. Prieiga per: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/13049/attachments/1/translations/en/renditions/pdf>. [žiūrėta 2025-03-25].
 70. HOLMAN, Rachel, Janel Siemplenski Lefort. *Invested in renewables – the only way forward*. Interaktyvus. European Investment Bank, 2024. Prieiga per: <https://www.eib.org/en/essays/europe-energy-transition-renewable>. [žiūrėta 2025-03-25].
 71. *Net zero emissions by 2050 scenario (NZE)*. Interaktyvus. IEA, 2024. Prieiga per: <https://www.iea.org/reports/global-energy-and-climate-model/net-zero-emissions-by-2050-scenario-nze>. [žiūrėta 2025-03-25].
 72. *Environmental Footprint database 3.1 in SimaPro*. Interaktyvus. SimaPro, 2023. Prieiga per: <https://support.simapro.com/s/article/Recorded-webinar-EF-3-1-Database-in-SimaPro>. [žiūrėta 2025-03-29].

73. *Environmental footprint methods*. Interaktyvus. Green Forum, 2025. Prieiga per: https://green-business.ec.europa.eu/environmental-footprint-methods_en. [žiūrėta 2025-03-30].
74. BASSI, Andreas, S., Biganzoli, F., Ferrara, N., Amadei, A., Valente, A., Sala, S., Ardente, F. *Updated characterisation and normalisation factors for the Environmental Footprint 3.1 method*. Interaktyvus. European Commission, 2023. Prieiga per: https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC130796/JRC130796_01.pdf. [žiūrėta 2025-03-30].
75. *SimaPro tutorial*. Interaktyvus. SimaPro, 2023. Prieiga per: <https://simapro.com/wp-content/uploads/2023/07/SimaPro-Tutorial.pdf>. [žiūrėta 2025-03-30].
76. BARAHMAND, Zahir, Marianne S. Eikeland. *Life cycle assessment under uncertainty: A scoping review*. Interaktyvus. MDPI, 2022. Prieiga per: <https://www.mdpi.com/2673-4060/3/3/39>. [žiūrėta 2025-03-30].

Priedai

1 priedas. Inventorinės lentelės

3 lentelė. Medvilnės marškinėlių inventoriniai duomenys [63][64]

Žaliavų išgavimas Medvilnės sodinimas, drėkinimas, derliaus nuėmimas, medvilnės valymas, medvilnės verpalų gamybai	Įvestis				
	Aprašymas	Srautas	Mat vnt.	Vertė iš mokslinės literatūros	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetui
	Pasėlių derlius	Medvilnė	kg/ha	3364	5.674
	Sėklos	Sėklos	kg/t	21.2	0.036
	Drėkinimas	Vanduo	m ³ /t	1565	2.640
		Kuras	MJ/t	687.8	1.160
	Trąšos	Kompostas	kg/t	4815.3	8.122
		Biotrąšos	kg/t	71.3	0.120
		Karvių mėšlas	kg/ha	10171	17.156
	Traktorių priežiūra	Kuras	l/t	14.2	0.024
		Tepalinė alyva	kg/t	0.225	3.8E-04
	Išvestis				
	Aprašymas	Srautas	Mat vnt.	Vertė iš mokslinės literatūros	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetui
	Emisijos į aplinkos orą	Amoniakas	kg	17.39	0.029
		Benzo(a)pirenas	kg	3.87E-07	6.53E-10
		Kadmis	kg	1.29E-07	2.18E-10
		CO ₂	kg	40.281	0.068
		CO	kg	0.146	2,46E-04
		Chromas	kg	6.50E-07	1.1E-09
		Varis	kg	2.20E-05	3.71E-08
		Diazoto monoksidas	kg	2.85	4.81E-03
		Tetrachlorodibenzo-p-dioksinas	kg	1.23	2.08E-03
		Metanas	kg	120.19	0.203
		Nikelis	kg	119.97	0.202
		Azoto oksidai	kg	6.11	0.010
		NMVOC	kg	119.82	0.202
		Policikliniai aromatiniai angliavandeniliai	kg	0.21	3,54E-04
Dalelės <2,5 mikrom		kg	0.21	3,54E-04	
Dalelės >10 mikrom		kg	0.17	2,87E-04	
Selenas		kg	1.29E-05	2.18E-08	
Sieros dioksidas		kg	0.01	1.69E-05	
Cinkas		kg	1.29E-05	2.18E-08	
Emisijos į vandenį		Nitratai	kg	54.1	0.091
	Fosfatas	kg	0.095	1,60E-04	
	Fosforas	kg	0.38	6,41E-04	
	Išvestis				

Verpalų gamyba	Aprašymas	Srautas	Mat vnt.	Vertė iš mokslinės literatūros	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetui
	Užaugintas ir supakuotas medvilnės pluoštas kaip žaliava verpalų gamybai	Medvilnės pluoštas	kg	1320	2.227
	Verpalų gamybai sunaudotas elektros energijos kiekis	Elektra	MJ	9470	15.974
	Verpalų gamybai sunaudotas energijos kiekis	Šiluminė energija iš akmens anglies	MJ	4150	7.0
		Šiluminė energija iš mazuto	MJ	94.3	0.159
		Šiluminė energija iš suskystintų dujų	MJ	48.8	0.082
	Išvestis				
	Aprašymas	Srautas	Mat vnt.	Vertė iš mokslinės literatūros	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetui
	Verpalų gamybos metu iš pradinio medvilnės pluošto suformuoti verpalai	Verpalai	kg	1120	1.889
	Įvairios atliekos, susidariusios verpalų gamybos metu. Priimama, kad papildomai nėra panaudojamos ir nukeliauja į sąvartynus ir atliekų surinkėjams	Augalų žievė ir teršalai į sąvartyną	kg	12	0.020
		Neorganinės atliekos į sąvartyną	kg	7.69	0.013
		Pluoštinės atliekos į sąvartyną	kg	1.57	0.003
	Verpalų gamybos metu susidariusios organinės atliekos perduotos kitiems tikslams	Organinės atliekos perduotos kitiems tikslams	kg	0.512	8.64E-04
	Verpalų gamybos metu susidariusios pluoštinės atliekos perduotos perdirbimui	Pluoštinės atliekos perdirbimui	kg	0.401	6.76E-04
Pynimas/ cheminis apdirbimas/ džiovinimas	Įvestis				
	Aprašymas	Srautas	Mat vnt.	Vertė iš mokslinės literatūros	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetui
	Verpalai, naudojami tolesniam apdorojimui	Verpalai	kg	1120	1.889
	Verpalų apdorojimui sunaudotas gėlo, dejonizuoto vandens kiekis	Vanduo (gėlas, dejonizuotas)	kg	1270	2.142
	Šiluminės energijos kiekis, naudojamas verpalų apdorojimo procesuose	Šiluminė energija iš akmens anglies	MJ	20700	34.916
		Šiluminė energija iš gamtinių dujų	MJ	1100	1.855
		Šiluminė energija iš suskystintų dujų	MJ	10.9	0.018
		Šiluminė energija iš mazuto	MJ	9.81	0.017

	Verpalų apdorojimui sunaudotas elektros kiekis	Elektra	MJ	142	0.240
	Garų kiekis, sunaudotas verpalų apdorojimo procesų metu	Garai	kg	17.2	0.029
	Papildomos cheminės medžiagos, naudojamos verpalų apdorojimo procesuose	Polimetilmetakrilatas (PMMA)	kg	11.3	0.019
		Kraskmolas (poliglikozė)	kg	39.4	0.066
		Klijai, glitas	kg	0.959	0.002
	Išvestis				
	Aprašymas	Srautas	Mat vnt.	Vertė iš mokslinės literatūros	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetui
	Apdoroti, suformuoti ir paruošti kitam etapui medvilnės verpalai	Apdoroti, suformuoti verpalai	kg	1110	1.872
	Procesų metu susidaręs vanduo, patenkantis į nuotekų valyklas	Vanduo į nuotekų valyklą	kg	446	0.752
	Procesų metu susidaręs ir perdirbtas technologinis vanduo	Perdirbtas technologinis vanduo	kg	446	0.752
	Verpalų apdorojimo metu išsiskyrę garai	Vandens garai	kg	382	0.644
	Verpalų apdorojimo procesų metu susidariusios verpalų ir kitos neorganinės atliekos patenkančios į sąvartyną. Priima, kad šios atliekos pakartotinai nenaudojamos ir neperdirbamos	Verpalų atliekos į sąvartyną	kg	12.2	0.021
		Neorganinės atliekos į sąvartyną	kg	0.485	8.18E-04
	Susidariusios klijų, glito ir organinės atliekos perduotos perdirbimui	Klijai, glitas perdirbimui	kg	2.13	3.59E-03
		Organinės atliekos perdirbimui	kg	0.409	6.9E-04
	Teršalų emisijos į vandenį	Absorbuojami organiniai halogeniniai junginiai (AOX)	kg	4.29E-03	7.24E-06
		Amoniakas	kg	5.67E-03	9.56E-06
		Anilinas	kg	2.83E-05	4.77E-07
		Stibis	kg	2.83E-05	4.77E-08
		Biologinis deguonies suvartojimas (BDS)	kg	0.0104	1.75E-05
		Cheminis deguonies suvartojimas (ChDS)	kg	0.032	5.36E-05
		Chloras (išterpęs)	kg	1.42E-03	2.4E-07
		Chromas	kg	4.7E-06	7.93E-09
		Chromas (+VI)	kg	1.42E-04	2.4E-07
		Varis	kg	3.39E-06	5.72E-09
		Nikelis	kg	1.04E-06	1.75E-09
		Azotas	kg	0.011	1.81E-05
		Alyva	kg	1.66E-03	2.80E-06

		Fosforas	kg	3.74E-04	6.31E-07
		Suspenduotos kietosios dalelės	kg	0.0213	3.59E-05
		Sulfidas	kg	2.83E-04	4.77E-07
		Organinė anglis	kg	1.12E-03	1.89E-06
		Cinkas	kg	2.87E-06	4.84E-09
Audimas	Įvestis				
	Aprašymas	Srautas	Mat vnt.	Vertė iš mokslinės literatūros	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetui
	Apdoroti, suformuoti ir paruošti audimui verpalai	Apdoroti, suformuoti verpalai	kg	1110	1.872
	Garų kiekis, sunaudotas verpalų audimo procesuose	Garai	kg	252	0.425
	Elektros energijos kiekis, sunaudotas audimo procesuose	Elektra	MJ	5070	8.552
	Šiluminės energijos kiekis, sunaudojamas verpalų audimo procesuose	Šiluminė energija iš akmens anglies	MJ	9720	16.395
		Šiluminė energija iš mazuto	MJ	105	0.177
	Išvestis				
	Aprašymas	Srautas	Mat vnt.	Vertė iš mokslinės literatūros	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetui
	Iš verpalų išaustas, žaliavinis medvilnės audinys	Žaliavinis medvilnės audinys	kg	1070	1.805
	Audimo procesų metu susidaręs ir perdirbtas verpalų, audinių ir neorganinių atliekų kiekis	Verpalų atliekos perdirbimui	kg	32.3	0.054
		Audinių atliekos perdirbimui	kg	10.1	0.017
		Neorganinės atliekos perdirbimui	kg	4.28	7.22E-03
	Audinių ir neorganinių atliekų kiekis, patenkantis į sąvartyną. Priima, kad šios atliekos neperdirbamos ir pakartotinai nepanaudojamos	Neorganinės atliekos į sąvartyną	kg	0.052	8.71E-05
		Audinių atliekos	kg	0.019	3.21E-05
Austinio audinio paruošimas	Įvestis				
	Aprašymas	Srautas	Mat vnt.	Vertė iš mokslinės literatūros	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetui
	Žaliavinis medvilnės audinys, austinio audinio paruošimo etapui	Žaliavinis medvilnės audinys	kg	1070	1.805
	Elektros energijos kiekis, naudojamas audinių paruošimo procesuose	Elektra	MJ	1350	2.277
		Elektros energija iš akmens anglies	MJ	304	0.513
	Šiluminės energijos kiekis, sunaudojamas audinių paruošimo procesų metu	Šiluminė energija iš akmens anglies	MJ	556	0.938
		Šiluminė energija iš mazuto	MJ	12.5	0.021

		Šiluminė energija iš suskystintų dujų	MJ	26.9	0.045
		Šiluminė energija iš gamtinių dujų	MJ	4550	7.675
	Papildomos cheminės medžiagos, naudojamos audinių paruošimo etapuose	Acto rūgštis	kg	29.7	0.050
		Kalcio silikatas	kg	0.054	9.16E-05
		Fermentai, sucukrinimas	kg	5.08	8.57E-03
		Vandenilio peroksidas (50%)	kg	37.2	0.063
		Nejoninės paviršinio aktyvumo medžiagos	kg	0.0507	8.55E-05
		Atskyrimo medžiagos	kg	3.97	6.7E-03
		Soda (natrio karbonatas)	kg	0.476	8.03E-04
		Natrio chloridas (akmens druska)	kg	3.89	6.56E-03
		Natrio hidroksidas (kaustinė soda 100 %)	kg	496	0.837
		Natrio sulfatas	kg	3.1	5.23E-03
		Garai	kg	913	1.540
		Paviršiaus aktyviosios medžiagos (tensidai)	kg	0.0134	2.26E-05
	Išvestis				
	Aprašymas	Srautas	Mat vnt.	Vertė iš mokslinės literatūros	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetui
	Iš žaliavinio audinio paruoštas austinis medvilnės gaminys	Paruoštas audinys	kg	1050	1.771
	Audinio paruošimo metu susidariusių atliekų perdirbtas kiekis	Audinių atliekos perdirbimui	kg	0.429	7.24E-04
	Audinio paruošimo metu susidariusių atliekos patekusios į sąvartyną	Audinių atliekos į sąvartyną	kg	0.281	4.74E-04
	Audinių paruošimo metu sunaudotas vandens kiekis, patekęs į nuotekų valyklą	Vanduo į nuotekų valyklą	kg	15900	26.819
	Procesų metu susidaręs ir perdirbtas technologinis vanduo	Perdirbtas technologinis vanduo	kg	26300	44.362
	Audinių paruošimo metu išsiskyręs garų kiekis	Vandens garai	kg	31200	52.627
	Teršalų emisijos į vandenį	Absorbuojami organiniai halogeniniai junginiai	kg	0.117	1.97E-04
		Azotas	kg	0.0413	6.966E-05
		Anilinas	kg	7.49E-03	1.26E-05
		Arsenas	kg	0.168	2.83E-04
		Biologinis deguonies suvartojimas (BDS)	kg	0.423	7.14E-04

		Kadmis	kg	1.03E-04	1.74E-07
		Cheminis deguonies suvartojimas (ChDS)	kg	1.08	1.82E-03
		Chloras (išterpęs)	kg	4.78E-03	8.06E-06
		Chromas	kg	2.06E-03	3.47E-06
		Chromas (+VI)	kg	7.49E-04	1.26E-06
		Varis	kg	2.72E-03	4.59E-06
		Cianidas	kg	3.24E-03	5.47E-06
		Fluoras	kg	2.06E-04	3.47E-07
		Geležis	kg	2.06E-03	3.47E-06
		Švinas	kg	1.03E-05	1.74E-08
		Manganas	kg	1.03E-03	1.74E-06
		Gyvsidabris	kg	2.06E-04	3.47E-07
		Nikelis	kg	5.16E-05	8.70E-08
		Nitratai	kg	2.06E-04	3.47E-07
		Alyva	kg	3.85E-03	6.49E-06
		Fenolis	kg	2.06E-03	3.47E-06
		Fosforas	kg	0.0254	4.28E-05
		Selenas	kg	5.56E-03	9.38E-06
		Ištirpusios kietosios dalelės	kg	0.065	1.1E-04
		Suspenduotos kietosios dalelės	kg	0.622	1.05E-03
		Sulfidas	kg	9.55E-03	1.61E-05
		Organinė anglis	kg	0.0103	1.74E-05
		Vanadis	kg	3.1E-03	5.23E-06
		Cinkas	kg	3.57E-03	6.02E-06
Dažymas	Įvestis				
	Aprašymas	Srautas	Mat vnt.	Vertė iš mokslinės literatūros	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetui
	Dažymui paruoštas austinis medvilnės audinys	Paruoštas audinys	kg	1050	1.771
	Elektros energijos kiekis, reikalingas dažymo procesams	Elektra	MJ	369	0.622
	Šiluminės energijos kiekis, sunaudojamas audinių dažymo procesų metu	Šiluminė energija iš gamtinių dujų	MJ	6130	10.340
		Šiluminė energija iš suskystintų dujų	MJ	11.8	0.020
		Elektros energija iš akmens anglies	MJ	320	0.540
		Šiluminė energija iš akmens anglies	MJ	657	1.108
		Šiluminė energija iš mazuto	MJ	14.8	0.025
	Cheminės medžiagos naudojamos audinių dažymui	Sieros dažai	kg	5.61	9.46E-03
		Paviršiaus aktyviosios medžiagos	kg	19.8	0.033
		Titano dioksidas	kg	5.17	8.72E-03
		Reaktyvūs dažai	kg	11	0.019

		Nejoninės paviršinio aktyvumo medžiagos	kg	0.0167	2.82E-05
		Garai	kg	2400	4.048
		Kubiniai dažai	kg	2.69	4.54E-03
		Vanduo (gėlas, dejonizuotas)	kg	74900	126.338
		Natrio tiosulfatas	kg	0.044	7.42E-05
		Poliakrilato granulės	kg	3.98	6.71E-03
		Fermentai	kg	1.07	1.81E-03
		Dispersiniai dažai	kg	0.0139	2.35E-05
		Acto rūgštis	kg	5.11	8.62E-03
		Antimigrantas	kg	2.67	4.5E-03
		Natrio hidroksidas (kaustinė soda 100 %)	kg	67.3	0.114
		Natrio sulfatas	kg	0.506	8.54E-04
		Natrio ditijonitas	kg	2.48	4.18E-03
		Soda (natrio karbonatas)	kg	7.56	0.013
		Natrio chloridas (akmens druska)	kg	129	0.218
	Išvestis				
	Aprašymas	Srautas	Mat vnt.	Vertė iš mokslinės literatūros	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetui
	Nudažytas austinis medvilnės audinys	Dažytas audinys	kg	1030	1.737
	Po dažymo susidaręs atliekų kiekis, kuris yra perdirbamas	Audinių atliekos perdirbimui	kg	0.707	1.19E-03
	Po dažymo susidarius audinių atliekos, patekusios į sąvartyną	Audinių atliekos į sąvartyną	kg	8.03	0.014
	Po dažymo procesų susidaręs ir perdirbtas technologinis vanduo	Perdirbtas technologinis vanduo	kg	26700	45.036
	Po dažymo susidaręs vandens kiekis, patenkantis į nuotekų valyklą	Vanduo į nuotekų valyklą	kg	34500	58.193
	Dažymo procesų metu į aplinką išsiskyrę vandens garai	Vandens garai	kg	13700	23.108
	Teršalų emisijos į vandenį	Absorbuojami organiniai halogeniniai junginiai	kg	0.04	6.75E-05
		Amoniakas	kg	0.0149	2.51E-05
		Anilinas	kg	2.27E-03	3.83E-06
		Stibis	kg	2.27E-04	3.83E-07
		Arsenas	kg	3.6E-04	6.07E-07
		Biologinis deguonies suvartojimas (BDS)	kg	0.514	8.67E-04
		Kadmis	kg	3.6E-03	6.07E-06

		Cheminis deguonies suvartojimas (ChDS)	kg	1.18	1.99E-03
		Chloras (išterpęs)	kg	2.94E-03	4.96E-06
		Chromas	kg	4.49E-03	7.57E-06
		Chromas (+VI)	kg	1.32E-03	2.23E-06
		Varis	kg	6.04E-03	1.02E-05
		Cianidas	kg	3.6E-04	6.07E-07
		Fluoras	kg	3.6E-03	6.07E-06
		Geležis	kg	5.4E-03	9.12E-06
		Švinas	kg	1.8E-04	3.07E-07
		Manganas	kg	3.6E-03	6.07E-06
		Gyvsidabris	kg	1.8E-05	3.07E-08
		Nikelis	kg	5.6E-03	9.45E-06
		Nitratai	kg	0.018	3.04E-05
		Azotas	kg	0.317	5.35E-04
		Alyva	kg	0.239	4.03E-04
		Fenolis	kg	0.0018	3.07E-06
		Fosforas	kg	0.0285	4.81E-05
		Selenas	kg	9.0E-05	1.52E-07
		Ištirpusios kietosios dalelės	kg	0.0226	3.81E-05
		Suspenduotos kietosios dalelės	kg	0.819	0.00138
		Sulfidas	kg	5.87E-03	9.9E-06
		Organinė anglis	kg	0.212	3.58E-04
		Vanadis	kg	3.6E-04	6.07E-07
		Cinkas	kg	9.54E-03	1.616E-05
Austinio audinio apdaila	Įvestis				
	Aprašymas	Srautas	Mat vnt.	Vertė iš mokslinės literatūros	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetui
	Nudažytas austinis medvilnės audinys paruoštas apdailai	Dažytas audinys	kg	1030	1.737
	Austinio audinio apdailai reikalingas elektros energijos kiekis	Elektros energija iš akmens anglies	MJ	70.7	0.119
		Elektra	MJ	506	0.853
	Šiluminės energijos kiekis, sunaudojamas audinių apdailos procesuose	Šiluminė energija iš mazuto	MJ	13.1	0.022
		Šiluminė energija iš gamtinių dujų	MJ	1460	2.463
		Šiluminė energija iš suskystintų dujų	MJ	18.8	0.032
		Šiluminė energija iš akmens anglies	MJ	581	0.980
	Audinių apdailos procesuose sunaudojamas vandens kiekis	Vanduo	kg	24000	40.482
	Cheminės medžiagos naudojamos audinių apdailos procesuose	Antipirenas	kg	0.107	1.81E-04
		Antimikrobinė medžiaga	kg	0.039	6.46E-05
		Polietileno junginys	kg	0.028	4.71E-05

		Fermentai	kg	0.08	1.34E-04
		Anilinas	kg	0.325	5.48E-04
		Katalizatorius	kg	0.422	7.12E-04
		Acto rūgštis	kg	5.2	8.77E-03
		Minkštiklis	kg	16.7	0.028
		Cikloheksanas (heksahidro benzenas)	kg	0.011	1.91E-05
		Atsparumo vandeniui medžiaga	kg	1.17	1.97E-03
		Atsparumo raukšlėms medžiaga	kg	2.51	4.23E-03
		Polimetilmetakrilata s (PMMA)	kg	0.073	1.23E-04
		Išvestis			
	Aprašymas	Srautas	Mat vnt.	Vertė iš mokslinės literatūros	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetui
	Nudažytas ir pilnai apdorotas austinis audinys	Austinis audinys	kg	1030	1.737
	Po apdailos procesų susidariusios plastiko atliekos, patenkančios į sąvartynus	Plastiko atliekos į sąvartyną	kg	0.39	6.58E-04
	Po apdailos procesų susidariusių ir perdirbtų atliekų kiekis	Audinių atliekos perdirbimui	kg	0.222	3.75E-04
	Po apdailos procesų susidaręs ir perdirbtas technologinis vanduo	Perdirbtas technologinis vanduo	kg	8540	14.405
	Po audinių apdorojimo procesų susidaręs vanduo, patenkantis į nuotekų valyklą	Vanduo į nuotekų valyklą	kg	8600	14.506
	Technologinių procesų metu išsiskyrusių į aplinką garų kiekis	Vandens garai	kg	6840	11.537
	Teršalų emisijos į vandenį	Absorbuojami organiniai halogeniniai junginiai (AOX)	kg	0.01	1.75E-05
		Amoniakas	kg	8.62E-03	1.45E-05
		Anilinas	kg	4.33E-04	7.3E-07
		Stibis	kg	4.33E-05	7.3E-08
		Arsenas	kg	9.16E-05	1.55E-07
		Biologinis deguonies suvartojimas (BDS)	kg	0.044	7.42E-05
		Kadmis	kg	9.16E-04	1.55E-06
		Cheminis deguonies suvartojimas (ChDS)	kg	0.569	9.61E-04
		Chloras (išterpęs)	kg	6.75E-04	1.14E-06
		Chromas	kg	1.5E-03	2.53E-06
		Chromas (+VI)	kg	2.62E-04	4.42E-07
		Varis	kg	1.79E-03	3.02E-06

		Cianidas	kg	9.16E-05	1.55E-07
		Fluoras	kg	9.16E-04	1.55E-06
		Geležis	kg	1.37E-03	2.31E-06
		Švinas	kg	4.58E-05	7.73E-08
		Manganas	kg	9.16E-04	1.55E-06
		Gyvsidabris	kg	4.58E-06	7.73E-09
		Nikelis	kg	1.5E-03	2.53E-06
		Nitratai	kg	4.58E-03	7.73E-06
		Azotas	kg	0.135	2.28E-04
		Alyva	kg	0.015	2.6E-05
		Fenolis	kg	4.58E-04	7.73E-07
		Fosforas	kg	0.014	2.36E-05
		Selenas	kg	2.29E-05	3.86E-08
		Ištirpusios kietosios dalelės	kg	1.33E-03	2.24E-06
		Suspenduotos kietosios dalelės	kg	0.215	3.63E-04
		Sulfidas	kg	1.35E-03	2.28E-06
		Organinė anglis	kg	0.139	2.34E-04
		Vanadis	kg	9.16E-05	1.55E-07
		Cinkas	kg	2.65E-03	4.47E-06
Sukirpimas ir siuvimas	Įvestis				
	Aprašymas	Srautas	Mat vnt.	Vertė iš mokslinės literatūros	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetui
	Austinis audinys, naudojamas gatavo gaminio sukirpimui ir pasiuvimui	Austinis audinys	kg	1020	1.72
	Papildomos medžiagos, naudojamos medvilnės gaminių sukirpimo ir siuvimo procesuose	Žalvaris	kg	15	0.025
		Elektra	MJ	299	0.504
		Nailonas 6.6 (poliamidas)	kg	5.36	9.04E-03
		Poliesterio derva	kg	80	0.135
		Polietilentereftalatas (PET)	kg	4.49	7.57E-03
	Išvestis				
	Aprašymas	Srautas	Mat vnt.	Vertė iš mokslinės literatūros	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetui
	Pasiūtas medvilninis gaminys	Medvilninis gaminys	kg	1000	1.697
	Atliekos susidariusios po medvilninių gaminių sukirpimo ir siuvimo. Priimama, kad atliekos pakartotinai nėra panaudojamos ar perdirbamos	Atliekos (nenurodyta)	kg	127	0.214
Medvilninių gaminių naudojimas	Įvestis				
	Aprašymas	Srautas	Mat vnt.	Vertė iš mokslinės literatūros	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetui

	Vandens sunaudojimas skalbimui	Vanduo	l/per skalbimo ciklą	50	0.090
	Skalbimo priemonės	Skalbimo priemonės (ploviklis)	g/per skalbimo ciklą	50	0.090
	Elektra	Skalbiant 40 laipsnių temperatūroje	kWh/per ciklą	0.6	0.001
Išvestis					
	Aprašymas	Srautas	Mat vnt.	Vertė iš mokslinės literatūros	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetui
	Užterštas vanduo po skalbimo	Vanduo	l/per skalbimo ciklą	50	0.090
	Emisijos į orą	CO ₂	kg	1.5	0.003
	Mikropluoštas, kuris patenka į nuotekas	Mikropluoštas	kg	0.1 % tekstilės masės	0.015
	Į aplinką išleistas vandens garų kiekis, po gaminių naudojimo (skalbimo, kitos priežiūros)	Vandens garai	kg	102000	184.337

4 lentelė. Poliesterinių marškinėlių inventoriniai duomenys [65][66][67][68]

Naftos išgavimas	Įvestis				
	Aprašymas	Srautas	Mat vnt.	Vertė iš mokslinės literatūros	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetui
	Degalai gręžimo įrangai	Dyzelinas	Litro dyzelino viename išgaunamos naftos barelyje	0.3	5.06E-04
	Energija naftos siurbimui	Elektra	kWh	0.2	3.37E-04
	Vandens sunaudojimas	Hidrauliniame ardymui	l/vienam gręžimui	5000	8.434
		Gręžimui	Litrai vandens vienam litrai žalios naftos	2.5	4.22E-03
	Išvestis				
	Aprašymas	Srautas	Mat vnt.	Vertė iš mokslinės literatūros	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetui
	CO ₂	Įrangos energijos suvartojimas ir susijusių dujų deginimas	t/barelis	0.35	5.9E-04
		Įprastinei sausumos naftai išgauti	t/barelis	0.2	3.37E-04

		Skalūnų aliejus	t/barelis	0.25	4.22E-04
	NO _x	NO _x	kg/bareliui	0.2	3.37E-04
	LOJ emisijos	LOJ emisijos	kg/bareliui	0.95	1.6E-03
PET granulių gamyba	Įvestis				
	Aprašymas	Srautas	Mat vnt.	Vertė iš mokslinės literatūros	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetui
	Žaliavinės naftos kiekis reikalingas PET granulių gamybai	Žaliavinė nafta	kg	2057	3.47
	Energijos kiekis reikalingas PET granulių gamybai	Energija	MJ	2.565	4.33E-03
	Polietileno tereftalato granulės, iš kurių gaminamas poliesterio pluoštas	Polietileno tereftalatas, granulėmis, amorfinis	kg	1	1.69E-03
	Cheminės medžiagos ir preparatai naudojami poliesterio pluošto gamybai	Tepalinė alyva	kg	0.01	1.69E-05
		Manganas	kg	1.0E-04	1.69E-07
		Kobaltas	kg	5.0E-05	8.43E-08
		Stibis	kg	5.0E-05	8.43E-08
		Fosforo rūgštis, pramoninė, 85% H ₂ O	kg	1.0E-04	1.69E-07
	PET granulių gamyba	Vanduo	m ³	0.005	0.005
	Poliesterio gamyba	Vanduo	m ³	0.008	0.008
	Energijos kiekis reikalingas poliesterio pluošto gamybai	Elektra	MJ	15.484	0.026
	Išvestis				
	Aprašymas	Srautas	Mat vnt.	Vertė iš mokslinės literatūros	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetui
	Emisijos į orą susidariusios PET granulių gamybos metu	Dimetilo tereftalatas	kg	1.0E-04	1.69E-07
	Emisijos į orą susidariusios PET granulių ir poliesterio pluošto gamybos metu	CO ₂	kg	4.956	8.36E-03
	Emisijos į orą susidariusios PET granulių ir poliesterio pluošto gamybos metu	NO _x	mg/m ³	0.623	0.623
	Emisijos į orą susidariusios PET granulių ir poliesterio pluošto gamybos metu	SO ₂	mg/m ³	0.233	0.233
	Emisijos į orą susidariusios PET granulių ir poliesterio pluošto gamybos metu	CO	mg/m ³	0.125	0.125
Verpalų gamyba	Įvestis				
	Aprašymas	Srautas	Mat vnt.	Vertė iš mokslinės literatūros	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetui
	Sunaudotas vandens kiekis	Vanduo	m ³	0.3	0.3
	PET granulių sunaudojimas	PET	kg	1440	2.429
	Tepalinė alyva	Tepalinė alyva	kg	0.031	5.15E-05

	Vidutinė įtampa	Elektros energija/Šiluminė energija	MJ	7.488	0.013
	Suspaustas oras	Suspaustas oras	m ³	25	25
	Išvestis				
	Aprašymas	Srautas	Mat vnt.	Vertė iš mokslinės literatūros	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetui
	Technologinių procesų metu susidariusios tekstilės atliekos patenkančios į sąvartynus	Pramoninės tekstilės atliekos deginimui	kg	0.005	8.43E-06
	Emisijos į orą	CO ₂	kg	1.96	3.31E-03
		NO _x	mg/m ³	0.575	0.575
		SO ₂	mg/m ³	1.495	1.495
		CO	mg/m ³	0.196	0.196
Audimas	Įvestis				
	Aprašymas	Srautas	Mat vnt.	Vertė iš mokslinės literatūros	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetui
	Krakmolos	Modifikuotas krakmolos	kg	0.05	8.43E-05
	Verpalų sunaudojimas	Verpalai	kg	1368	2.307
	Vidutinė įtampa	Elektros energija/Šiluminė energija	MJ	17.748	0.030
	Sunaudojamas vandens kiekis	Vanduo	m ³	0.05	0.05
	Išvestis				
	Aprašymas	Srautas	Mat vnt.	Vertė iš mokslinės literatūros	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetui
	Pramoninės tekstilės atliekos deginimui	Technologinių procesų metu susidariusios tekstilės atliekos patenkančios į sąvartynus	kg	0.015	2.53E-05
	Emisijos į orą	CO ₂	kg	1.046	1.76E-03
		NO _x	mg/m ³	0.026	0.026
		SO ₂	mg/m ³	0.042	0.042
		CO	mg/m ³	0.008	0.008
Poliesterinio audinio dažymas	Įvestis				
	Aprašymas	Srautas	Mat vnt.	Vertė iš mokslinės literatūros	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetui
	Upių vanduo	Vanduo	m ³	0.035	0.035
	Suaustas audinys	Austinis audinys	kg	1231	2.076
	Cheminės medžiagos ir preparatai naudojami poliesterinio audinio dažymo procesų metu	Ultravon EL (etoksilinti alkoholiai, akrilo rūgštis)	kg	0.005	8.43E-06

		Invatex CS (glifosatas)	kg	0.005	8.43E-06
		Natrio hidrokarbonatas (soda)	kg	0.015	2.53E-05
		Breviol PAM-N (akrilo dispersija)	kg	0.005	8.43E-06
		Univadine DP (etilenglikolio monoetilo eteris)	kg	0.005	8.43E-06
		Amonio sulfatas	kg	0.005	8.43E-06
		Cibatex AR (anijoninė arilsulfono rūgštis, riebalų alkoholio sulfatas)	kg	0.01	1.69E-05
		Terasil Black WS-N (Diazo junginiai)	kg	0.25	4.22E-04
		Acto rūgštis	kg	0.01	1.69E-05
		Natrio hidroksidas	kg	0.025	4.22E-05
		Natrio hidrosulfitas (ditionitas) bevandenis	kg	0.025	4.22E-05
		Cibapon OS (etoksilinti alkoholiai)	kg	0.01	1.69E-05
		Sapamine FPG (riebalų rūgštys, dimetilacetamidas)	kg	0.15	2.53E-04
	Vidutinė įtampa	Elektra	MJ	5.309	8.95E-03
	10 kWh katilas	Šiluminė energija iš mazuto	MJ	1.265	2.13E-03
	Išvestis				
	Aprašymas	Srautas	Mat vnt.	Vertė iš mokslinės literatūros	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetui
	Emisijos į orą	Remazol black B (dažai)	kg	1.65E-03	2.78E-06
		Acto rūgštis	kg	1.0E-06	1.69E-09
		CO ₂	kg	0.89	1.5E-03
		NO _x	mg/m ³	0.001	0.001
		SO ₂	mg/m ³	0.003	0.003
		CO	mg/m ³	0.004	0.004
	Emisijos į vandenį	Izobutilo akrilatas	kg	1.88E-05	3.16E-08
		Formaldehidas	kg	1.56E-07	2.64E-10
		Alkoholio etoksilatas	kg	6.38E-05	1.08E-07
		Glifosatas	kg	4.5E-05	7.59E-08
		Natris (natrio jonai)	kg	2.0E-04	3.37E-07
		Karbonatai (natrio)	kg	7.5E-05	1.27E-07
		Dietilenglikolio monometilo eteris	kg	4.5E-05	7.59E-08
		Amonio jonai	kg	2.5E-05	4.22E-08
		Amonio sulfatas	kg	2.5E-05	4.22E-08
		Benzensulfonrūgštis	kg	9.0E-05	1.52E-07

		Remazol black B (dažai)	kg	2.5E-04	4.22E-07
		Acto rūgštis	kg	3.0E-05	5.06E-08
		Natrio hidroksidas	kg	2.5E-04	4.22E-07
		Natrio sulfitas	kg	1.25E-04	2.11E-07
		Riebalų rūgštys	kg	5.63E-04	9.49E-07
		N,N-Dimetilacetamidas	kg	5.63E-04	9.49E-07
	Susidariusios nuotekų dumblo atliekos į vandenį ir sąvartynus	Nuotekų dumblas	kg	0.061	1.03E-04
Pirminis audinio apdorojimas	Įvestis				
	Aprašymas	Srautas	Mat vnt.	Vertė iš mokslinės literatūros	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetui
	Upių vanduo	Vanduo	m3	0.06	0.06
	Audinis paruoštas pirminiui apdorojimui	Nudažytas audinys	kg	1169	1.972
	Cheminės medžiagos ir preparatai naudojami audinių apdorojimo procesų metu	Breviol PAM-N (akrilo dispersija)	kg	0.005	8.43E-06
		Ultravon EL (etoksilinti alkoholiai, akrilo rūgštis)	kg	0.005	8.434E-06
		Invatex CS (glifosatas)	kg	0.005	8.43E-06
		Ultravon PRE (etoksilinti alkoholiai)	kg	0.005	8.43E-06
	Vidutinė įtampa	Elektra	kWh	0.075	1.26E-04
	10 kWh katilas	Šiluminė energija iš mazuto	kWh	0.351	5.93E-04
	Išvestis				
	Aprašymas	Srautas	Mat vnt.	Vertė iš mokslinės literatūros	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetui
	Emisijos į orą	CO ₂	kg	0.19	3.21E-04
		NO _x	mg/m ³	0.007	0.007
		SO ₂	mg/m ³	0.001	0.001
		CO	mg/m ³	0.006	0.006
	Emisijos į vandenį	Izobutilo akrilatas	kg	1.88E-05	3.163E-08
		Alkoholio etoksilatas	kg	1.13E-05	1.9E-08
		Glifosatas	kg	4.5E-05	7.59E-08
		ChDS (cheminis deguonis sunaudojimas)	kg	2.0E-04	3.37E-07
		Formaldehidas	kg	1.56E-07	2.64E-10
	Susidariusios nuotekų dumblo atliekos į vandenį ir sąvartynus	Nuotekų dumblas	kg	0.061	1.03E-04
Audinio tekstūravimas	Įvestis				
	Aprašymas	Srautas	Mat vnt.	Vertė iš mokslinės literatūros	Paskaičiuota vertė

					funkciniam vienetai
	Upių vanduo	Vanduo	kg	0.27	4.55E-04
	Audinys paruoštas tekstūravimui	Apdorotas audinys	kg	1134	1.913
	Cheminės medžiagos ir preparatai naudojami audinių tekstūravimo procesų metu	Alcoprint DT-CS (lateksas)	kg	0.105	1.77E-04
		Lyoprint AIR (akrilo dispersija)	kg	0.03	5.06E-05
		Terasil Black (Diazolo junginiai)	kg	0.165	2.78E-04
		Cibapon OS (etoksilinti alkoholiai)	kg	0.01	1.69E-05
		Natrio hidrosulfitas (ditionitas) be vandens	kg	0.01	1.69E-05
		Natrio hidroksidas	kg	0.01	1.69E-05
		Acto rūgštis	kg	0.005	8.43E-06
		Sapamine FPG- (riebalų rūgštys)	kg	0.15	2.53E-04
	Vidutinės įtampos elektros energija	Elektra	MJ	0.403	6.89E-04
	10 kWh katilas	Šiluminė energija iš mazuto	MJ	1.898	3.2E-03
	Išvestis				
	Aprašymas	Srautas	Mat vnt.	Vertė iš mokslinės literatūros	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetai
	Emisijos į orą	Remazol black B (dažai)	kg	1.65E-03	2.78E-06
		Acto rūgštis	kg	5.0E-07	8.43E-10
	Emisijos į vandenį	Izobutilo akrilatas	kg	5.63E-04	9.49E-07
		Remazol black B (dažai)	kg	1.65E-04	2.78E-07
		Formaldehidas	kg	1.56E-07	2.64E-10
		Alkoholio etoksilatas	kg	7.5E-06	1.27E-08
		Natris (natrio jonai)	kg	5.0E-05	8.43E-08
		Sulfatas (natrio), ditionitas	kg	5.0E-05	8.43E-08
		Natrio hidroksidas	kg	1.0E-04	1.69E-07
		Acto rūgštis	kg	1.5E-05	2.53E-08
		Riebalų rūgštys	kg	1.13E-04	1.9E-07
		N,N-Dimetilacetamidas	kg	1.13E-04	1.9E-07
	Susidariusios nuotekų dumblo atliekos į vandenį ir sąvartynus	Nuotekų dumblas	kg	0.061	1.03E-04
Gaminių siuvimas ir užbaigimas	Įvestis				
	Aprašymas	Srautas	Mat vnt.	Vertė iš mokslinės literatūros	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetai
	Vandentiekio vanduo	Vanduo	kg	11.5	0.019

	Audinys paruoštas siuvimui	Tekstūruotas audinys	kg	1111	1.874
	Elektra sunaudota gaminių siuvimui, lyginimui	Elektra	MJ	8.028	0.014
	Gamtinės dujos, katilas <100 kW	Šiluminė energija	MJ	3.6	0.006
	Išvestis				
	Aprašymas	Srautas	Mat vnt.	Vertė iš mokslinės literatūros	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetai
	Procesų metu susidariusios tekstilės atliekos	Tekstilės atliekos	kg	0.2	3.37E-04
	Galutinis produktas	Galutinis produktas	kg	1000	1.687
	Emisijos į orą	CO ₂	kg	0.981	1.66E-03
		NO _x	mg/m ³	0.026	0.026
		SO ₂	mg/m ³	0.008	0.008
		CO	mg/m ³	0.021	0.021
Poliesterinių gaminių naudojimas	Įvestis				
	Aprašymas	Srautas	Mat vnt.	Vertė iš mokslinės literatūros	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetai
	Pirminis poliesterinio gaminio naudojimas	Poliesterinis gaminy	kg	1000	1.723
	Skalbimo priemonė, kurios prireiks per visą marškinėlių naudojimo laiką	Skalbimo priemonės (ploviklis)	kg	0.75	0.001
	Elektra	Energijos kiekis sunaudojamas vieno džiovavimo metu	kWh	5.1	0.009
		Vieniams marškinėliams vieną kartą sunaudota elektros energija	kWh	0.0623	0.0001
	Vieniams marškinėliams vieną kartą sunaudotas vandens kiekis	Vanduo	l	2.7	0.005
	Išvestis				
	Aprašymas	Srautas	Mat vnt.	Vertė iš mokslinės literatūros	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetai
	Poliesterinis gaminy po pirminio panaudojimo	Poliesterinis gaminy	kg	1000	1.723
	Išmetamas pluošto kiekis per kilogramą	Mikropluoštas	mg/kg	114	0.196
	Emisijos į orą (skalbimo ir džiovavimo metu)	CO ₂	kg ekv.	6.25	0.011
	Į aplinką (nuotekas) išleistas vandens kiekis, po gaminių skalbimo	Vanduo	kg	102000	175.735
	Į aplinką išleistas vandens garų kiekis, po gaminių naudojimo (skalbimo, kitos priežiūros)	Vandens garai	kg	102000	175.735

5 lentelė. Lipdukų inventoriniai duomenys [67][68][69]

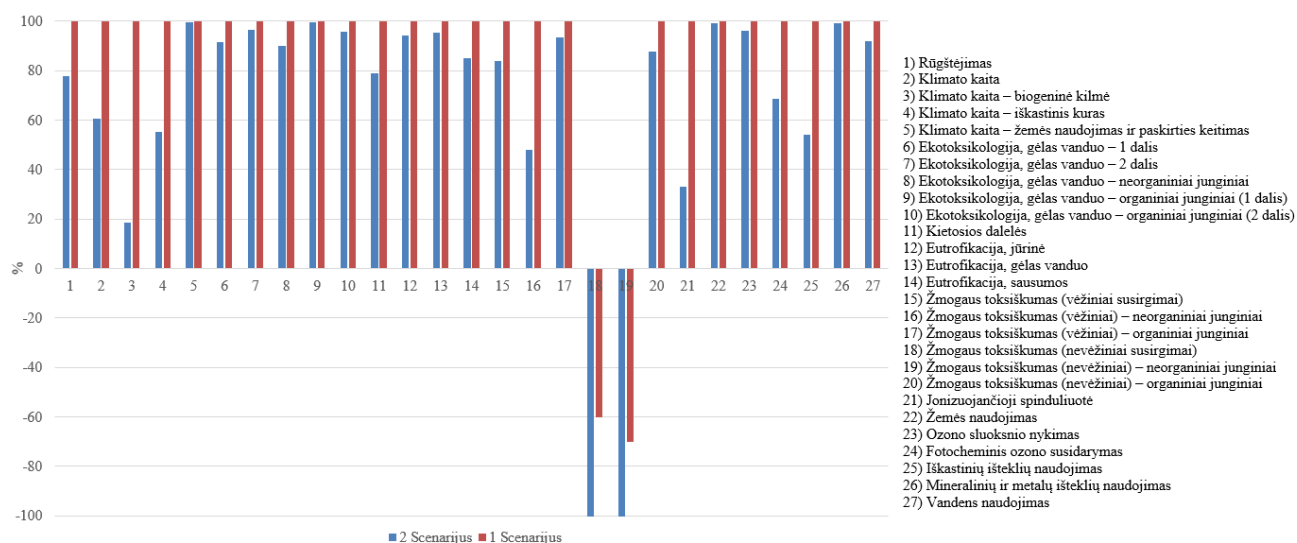
	Įvestis					
	Aprašymas	Srautas	Mat vnt.	Vertė iš mokslinės literatūros	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetui (10g)	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetui (3g)
Naftos išgavimas	Degalai gręžimo įrangai	Dyzelinas	Litro dyzelino viename išgaunamos naftos barelyje	0.3	0.021	4.59E-04
	Energija naftos siurbimui	Elektra	kWh	0.2	0.014	3.06E-04
	Vandens sunaudojimas	Hidrauliniame ardymui	l/vienam gręžimui	5000	357.143	7.653
		Gręžimui	Litrai vandens vienam litrai žalios naftos	2.5	0.179	3.83E-03
	Išvestis					
	Aprašymas	Srautas	Mat vnt.	Vertė iš mokslinės literatūros	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetui (10g)	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetui (3g)
	CO ₂	Įrangos energijos suvartojimas ir susijusių dujų deginimas	t/barelis	0.35	0.025	5.38E-04
		Įprastinei sausumos naftai išgauti	t/barelis	0.2	0.014	3.06E-04
		Skalūnų aliejus	t/barelis	0.25	0.018	3.83E-04
	NO _x	NO _x	kg/bareliui	0.2	0.014	3.06E-04
	LOJ emisijos	LOJ emisijos	kg/bareliui	0.95	0.068	1.45E-03
PET granulių gamyba	Įvestis					
	Aprašymas	Srautas	Mat vnt.	Vertė iš mokslinės literatūros	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetui (10g)	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetui (3g)
	Žaliavinės naftos kiekis reikalingas PET granulių gamybai	Žaliavinė nafta	kg	344.4	24.59	7.38
	Energijos kiekis reikalingas PET granulių gamybai	Energija	MJ	2.565	0.183	3.93E-03
	Energijos kiekis reikalingas poliesterio pluošto gamybai	Elektra	MJ	15.484	1.106	0.024

	Polietileno tereftalato granulės, iš kurių gaminamas poliesterio pluoštas	Polietileno tereftalatas, granulėmis, amorfinis	kg	1	0.071	1.53E-03
	Cheminės medžiagos ir preparatai naudojami poliesterio pluošto gamybai	Tepalinė alyva	kg	0.01	7.14E-04	1.53E-05
		Manganas	kg	1.0E-04	7.14E-06	1.53E-07
		Kobaltas	kg	5.0E-05	3.57E-06	7.65E-08
		Stibis	kg	5.0E-05	3.57E-06	7.65E-08
		Fosforo rūgštis, pramoninė, 85% H ₂ O	kg	1.0E-04	7.14E-06	1.53E-07
	PET granulių gamyba	Vanduo	m ³	0.005	3.57E-04	7.65E-06
	Poliesterio gamyba	Vanduo	m ³	0.008	5.71E-04	1.22E-05
	Išvestis					
	Aprašymas	Srautas	Mat vnt.	Vertė iš mokslinės literatūros	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetai (10g)	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetai (3g)
	Emisijos į orą susidariusios PET granulių gamybos metu	Dimetilo tereftalatas	kg	1.0E-04	7.14E-06	1.53E-07
	Emisijos į orą susidariusios PET granulių ir poliesterio pluošto gamybos metu	CO ₂	kg	4.956	0.354	7.59E-03
	Emisijos į orą susidariusios PET granulių ir poliesterio pluošto gamybos metu	NO _x	kg/m ³	6.23E-07	4.45E-08	9.54E-10
	Emisijos į orą susidariusios PET granulių ir poliesterio pluošto gamybos metu	SO ₂	kg/m ³	2.33E-07	1.66E-08	3.57E-10
	Emisijos į orą susidariusios PET granulių ir poliesterio pluošto gamybos metu	CO	kg/m ³	1.25E-07	8.93E-09	1.91E-10
Poliuretanai, naudojami lipdukams ant marškinėlių	Įvestis					
	Aprašymas	Srautas	Mat vnt.	Vertė iš mokslinės literatūros	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetai (10g)	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetai (3g)
	1 kg hibridinės dangos gamyba, kurioje naudojamas Fabiola organosolv ligninas (OSL) kartu su iš iškastinio kuro pagamintu komerciniu rišikliu.	Komercinis segiklis	kg	0.13	9.29E-03	1.99E-04
		Fabiola OSL	kg	0.87	0.062	1.33E-03
		Šiluma	MJ	0.17	0.012	2.6E-04
		Vanduo	kg	7.89	0.564	0.012

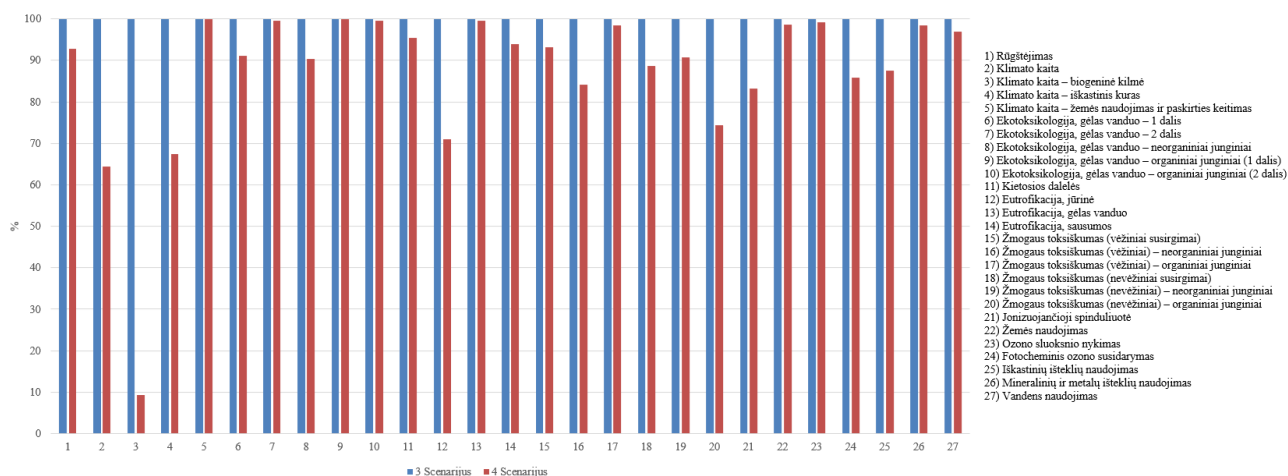
	Poliuretano gamyba iš PET granulių	PET granulės	g	241.27	17.210	5.170
	1 kg biologinės kilmės dangos gamyba, kurioje naudojamas Fabiola organosolv ligninas (OSL) ir biologinės kilmės skersinis jungiklis (VA-NCO).	VA-NCO	kg	0.167	0.012	2.56E-04
		Fabiola OSL lignin	kg	0.833	0.060	1.28E-03
		Šiluma	MJ	0.17	0.012	2.6E-04
		Vanduo	kg	7.93	0.566	0.012
	Išvestis					
	Aprašymas	Srautas	Mat vnt.	Vertė iš mokslinės literatūros	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetui (10g)	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetui (3g)
	1 kg hibridinės poliuretano dangos gamyba	Šiluma	MJ	0.18	0.013	2.76E-04
		CO ₂	kg CO ₂ ekv.	10.83	0.774	0.017
		Alifatiniai izocianatai	kg	0.23	0.016	3.52E-04
		PDR ligninas	kg	0.77	0.055	1.18E-03
		Medienos drožlės	kg	2.33	0.166	3.57E-03
		Fabiola OSL ligninas	kg	0.77	0.055	1.18E-03
		Metanolis	kg	0.203	0.015	3.12E-04
		Vandenilis	kg	0.0436	3.11E-03	6.67E-05
		Acetonas	kg	0.018	1.29E-03	2.76E-05
		Sieros rūgštis	kg	0.084	6.0E-03	1.29E-04
1 kg Dervos gamyba	Įvestis					
	Aprašymas	Srautas	Mat vnt.	Vertė iš mokslinės literatūros	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetui (10g)	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetui (3g)
	Elektra	Dervos gamyba	MJ	16.7	1.193	0.026
		Plastifikatoriai (Ftalatai)	MJ	0.7	0.050	1.07E-03
		Stabilizatoriai ir priedai	MJ	0.2	0.014	3.06E-04
	Dervos gamyba	Poliuretanai	g	217	15.490	4.65
	Vandens sunaudojimas	Vanduo	l/kg	0.4	0.029	6.12E-04
	Išvestis					
	Aprašymas	Srautas	Mat vnt.	Vertė iš mokslinės literatūros	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetui (10g)	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetui (3g)
	CO ₂	1 kg dervos pagaminti	kg	2.1	0.150	3.21E-03
		Plastifikatoriai (Ftalatai)	kg ekv	0.5	0.036	7.65E-04
		Stabilizatoriai ir priedai	kg ekv	0.3	0.021	4.59E-04
	Įvestis					

Spausdinimas ir apdorojimas 1 kg	Aprašymas	Srautas	Mat vnt.	Vertė iš mokslinės literatūros	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetai (10g)	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetai (3g)
	Energijos sąnaudos	Kalandravimas ir ekstruzija (lipduko plėvelei)	MJ	6	0.429	9.18E-03
		Klijų naudojimas (tirpiklio pagrindu)	MJ	2	0.143	3.06E-03
		Spausdinimas (tirpiklio pagrindu pagaminti rašalai)	MJ	1.7	0.121	2.6E-03
	Dervos kiekis spausdinimui ir apdorojimui	Derva	g	184.33	13.160	3.95
	Išvestis					
	Aprašymas	Srautas	Mat vnt.	Vertė iš mokslinės literatūros	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetai (10g)	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetai (3g)
	LOJ emisijos	Kalandravimas ir ekstruzija (lipduko plėvelei)	g	0.35	0.025	5.36E-04
		Klijų naudojimas (tirpiklio pagrindu)	g	0.5	0.036	7.65E-04
		Spausdinimas (tirpiklio pagrindu pagaminti rašalai)	g	0.3	0.021	4.59E-04
Lipdukas ant marškinėlių	Įvestis					
	Aprašymas	Srautas	Mat vnt.	Vertė iš mokslinės literatūros	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetai (10g)	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetai (3g)
	Energijos sąnaudos vienam lipdukui uždėti	Elektra	kWh	0.0063	4.5E-04	9.64E-06
	Lipduko uždėjimas	Lipdukas	g	147.47	10.53	3.16
	Išvestis					
	Aprašymas	Srautas	Mat vnt.	Vertė iš mokslinės literatūros	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetai (10g)	Paskaičiuota vertė funkciniam vienetai (3g)
	Emisijos į orą	CO ₂	kg	0.08	5.71E-03	1.22E-04
	Kietosios atliekos	Vinilas	g	3	0.214	4.59E-03
		Atraminis popierius	g	2	0.143	3.061E-03

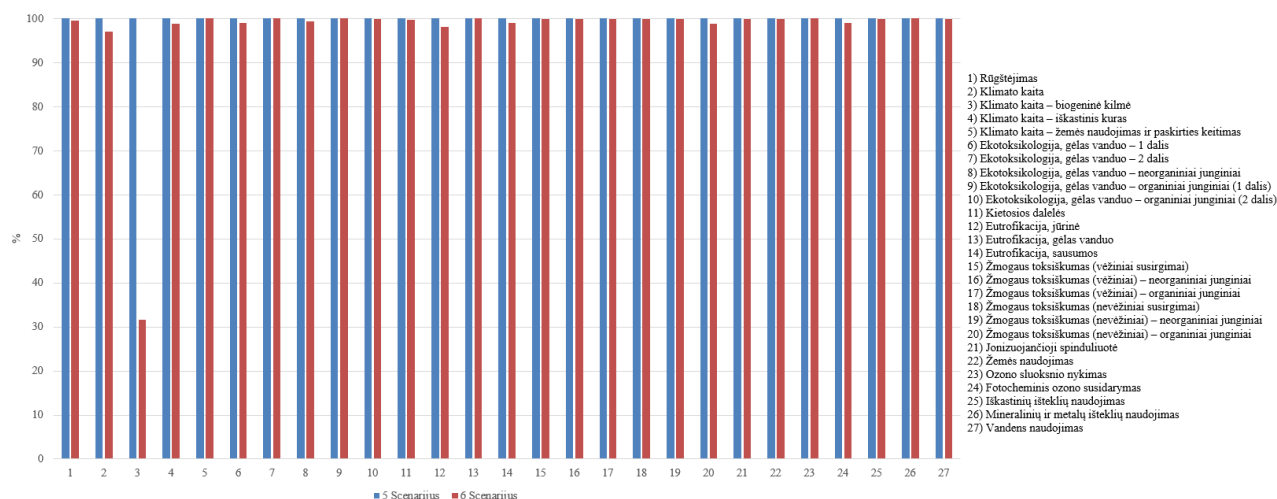
2 priedas. Visų 27 poveikio kategorijų charakterizuoti rezultatai



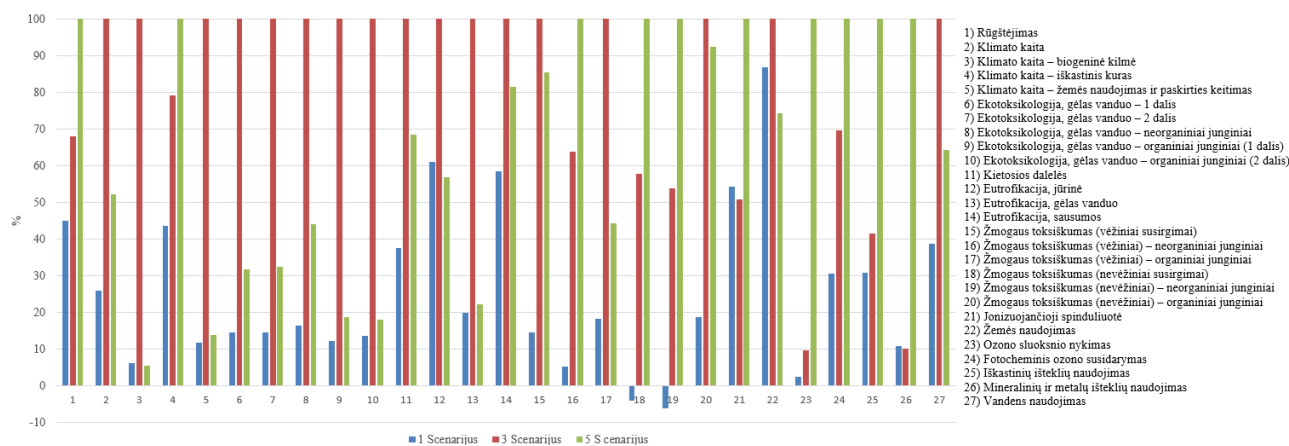
37 pav. Lyginamosios analizės charakterizuoti rezultatai medvilniniams marškinėliams dviem skirtingais scenarijais



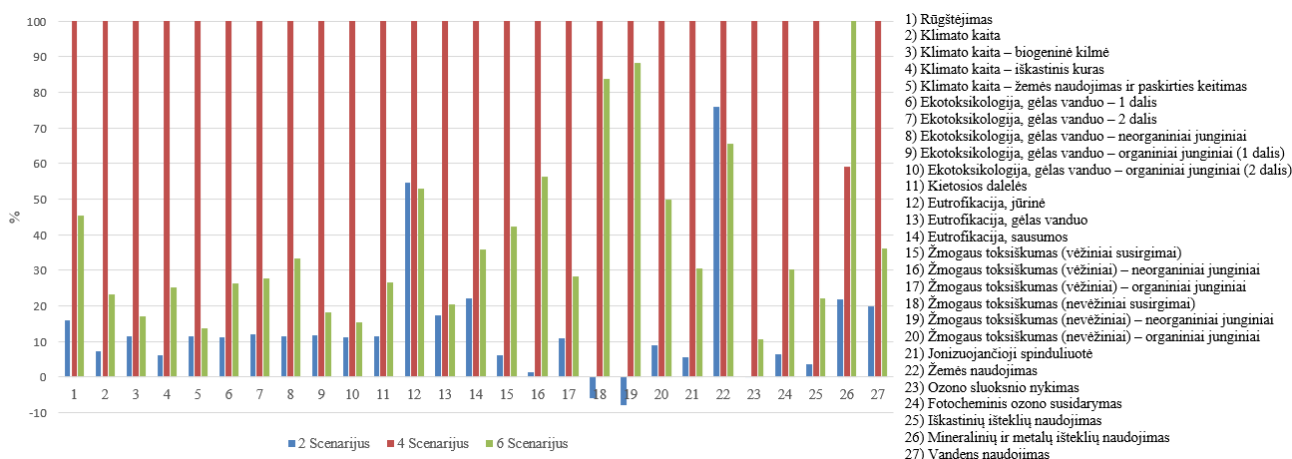
38 pav. Lyginamosios analizės charakterizuoti rezultatai poliesteriniam marškinėliams dviem skirtingais scenarijais



39 pav. Lyginamosios analizės charakterizuoti rezultatai mišriems marškinėliams dviem skirtingais scenarijais

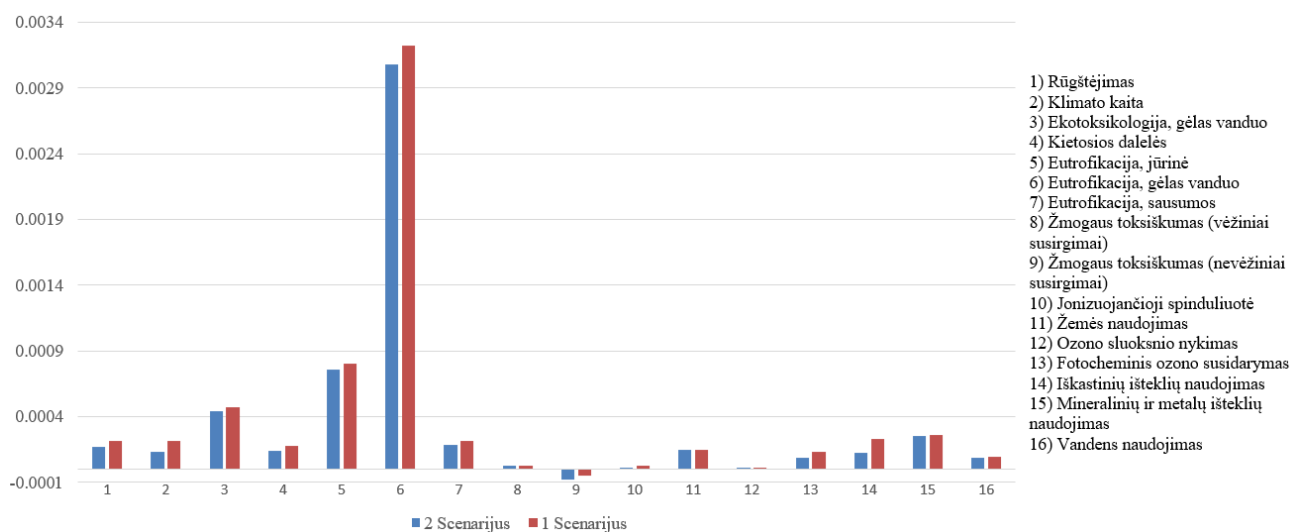


40 pav. Lyginamosios analizės charakterizuoti rezultatai visiems marškinėliams, naudojant mišrią energiją ir šalinimą sąvartyne

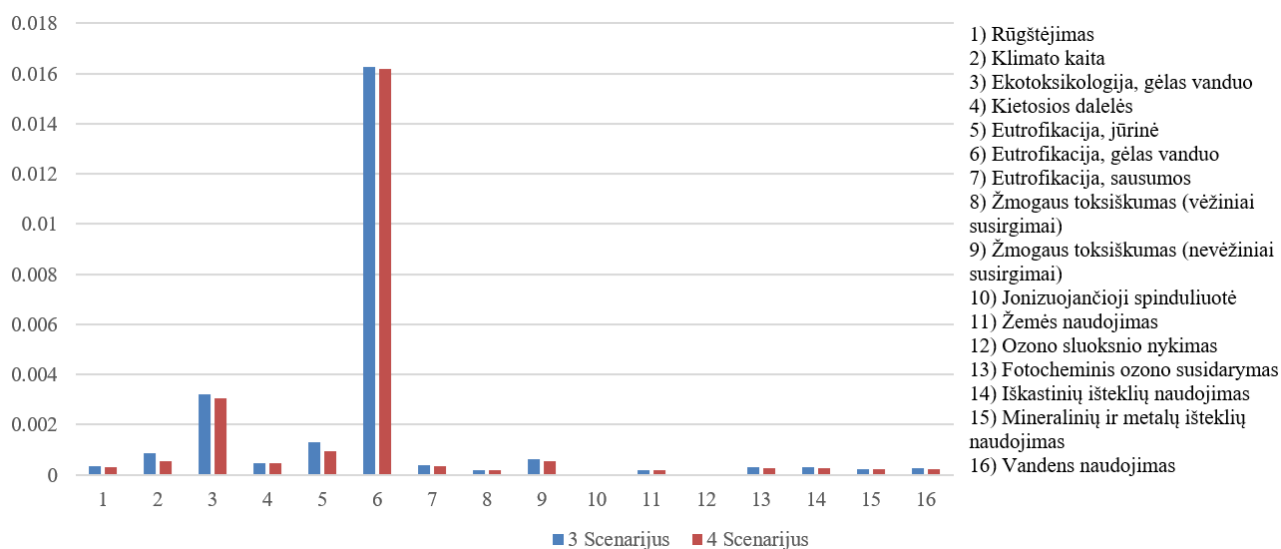


41 pav. Lyginamosios analizės charakterizuoti rezultatai visiems marškinėliams, naudojant atsinaujinančią energiją ir perdirtimą

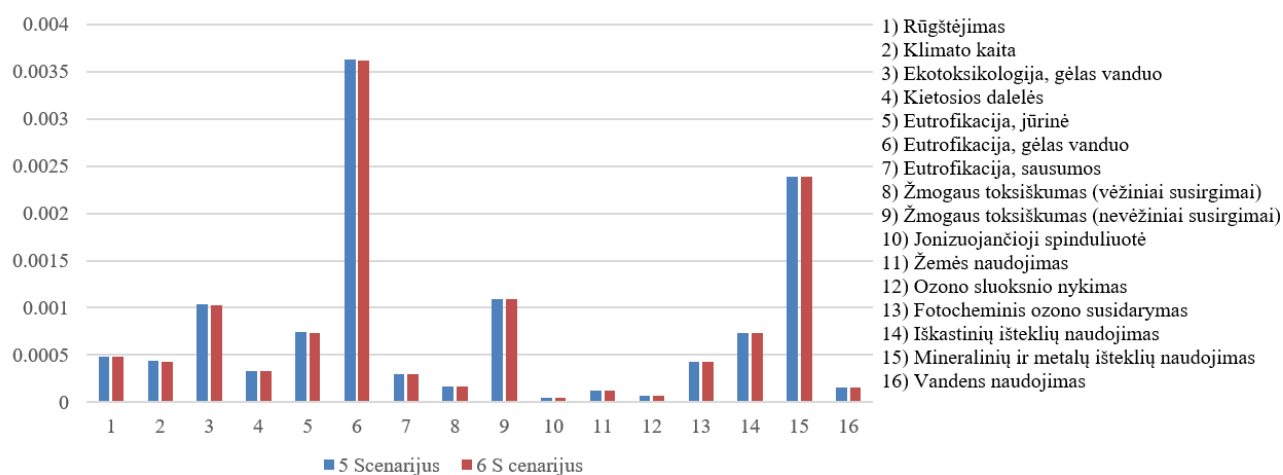
3 priedas. Normalizuotų poveikio kategorijų pasiskirstymo grafikai



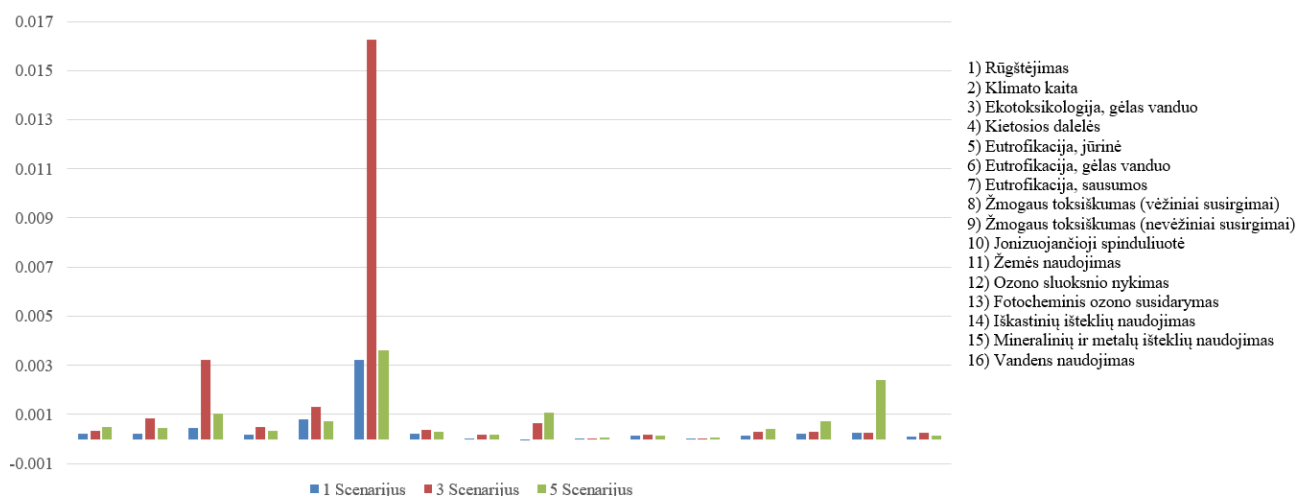
42 pav. Normalizuoti rezultatai medvilnės marškinėliams dviem skirtingais scenarijais



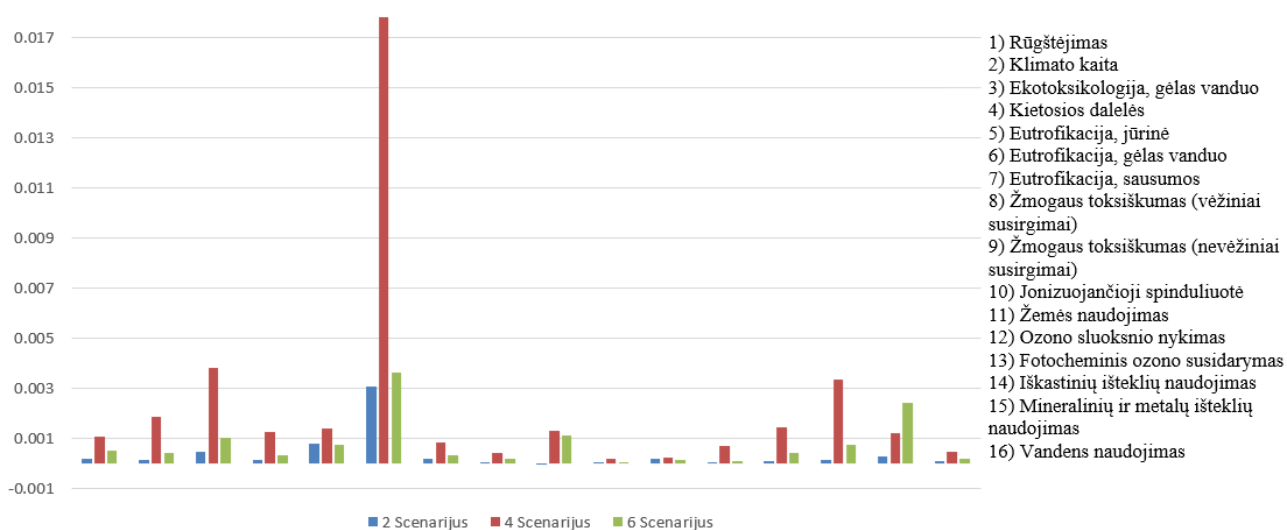
43 pav. Normalizuoti rezultatai poliesterio marškinėliams dviem skirtingais scenarijais



44 pav. Normalizuoti rezultatai mišriems marškinėliams dviem skirtingais scenarijais



45 pav. Normalizuoti rezultatai visiems marškinėliams, naudojant mišrią energiją ir šalinimą sąvartyne



46 pav. Normalizuoti rezultatai visiems marškinėliams, naudojant atsinaujinančią energiją ir perdirbimą