



Kauno technologijos universitetas
Aplinkos inžinerijos institutas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Skaitmeninio produkto paso taikymas darbo drabužių vertės grandinėje: būvio ciklo ir žiediškumo perspektyva

Baigiamasis magistro projektas

Mantas Naulickas
Projekto autorius

doc. dr. Inga Gurauskienė
Vadovė

Kaunas, 2026



Kauno technologijos universitetas
Aplinkos inžinerijos institutas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Skaitmeninio produkto paso taikymas darbo drabužių vertės grandinėje: būvio ciklo ir žiediškumo perspektyva

Baigiamasis magistro projektas
Darnus valdymas ir gamyba (6213EX001)

Mantas Naulickas

Projekto autorius

doc. dr. Inga Gurauskienė

Vadovė

Recenzentė

doc. dr. Vaida Jonaitienė

Kaunas, 2026



Kauno technologijos universitetas

Aplinkos inžinerijos institutas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Mantas Naulickas

Skaitmeninio produkto paso taikymas darbo drabužių vertės grandinėje: būvio ciklo ir žiediškumo perspektyva

Akademinio sąžiningumo deklaracija Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdama(s) kitų asmenų autoriaus ar kitų teisių, laikydamasi(s) 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. baigiamajame projekte visi pateikti duomenys ir tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti teisėtai, nei viena šio projekto 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 baigiamąjį projektą ar jo dalis niekam nesu mokėjęs (-usi);
4. suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo ar kitų asmenų teisių pažeidimo faktui, man bus taikomos akademinės nuobaudos pagal Universitete galiojančią tvarką ir būsiu pašalinta(s) iš Universiteto, o baigiamasis projektas gali būti pateiktas Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinės etikos pažeidimą.

Mantas Naulickas

Patvirtinta elektroniniu būdu



Kauno technologijos universitetas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Aplinkos inžinerijos institutas

Skaitmeninio produkto paso taikymas darbo drabužių vertės grandinėje: būvio ciklo ir žiediško perspektyva

Baigiamasis magistro projektas

Projekto tema Skaitmeninio produkto paso taikymas darbo drabužių vertės grandinėje: būvio ciklo ir žiediško perspektyva

Reikalavimai ir sąlygos

Atlikti literatūros, gerųjų pavyzdžių ir politinio bei teisinio konteksto analizę žiedinės ekonomikos, skaitmeninio produkto paso ir tekstilės tematikoje temoje.

Sudaryti metodiką, kuri būtų skirta tekstilės gamybos įmonėms, pereinant prie skaitmeninio produkto paso ir duomenų atsekamumo vertės grandinėje užtikrinimo, integruojant esamas sistemas, su naujais kuriamomis ir integruojant bei perduodant aplinkos kokybės duomenis visoje vertės grandinėje, taip skatinant žiedinius verslo modelius, atsakingą vartojimą ir gaminio srautų valdymą.

Atlikti tyrimą darbo drabužių įmonės pavyzdžiu, pritaikant sudarytą tyrimo metodiką.

Parengti ataskaitą atitinkančią KTU metodinius reikalavimus ir baigiamojo projekto šablona. Nuosekliai konsultuotis su MBP vadove. Įgyvendinti visus MBP proceso etapus tiek rengiant, tiek ir vertinant darbą bei pristatant jo rezultatus komisijoje, bei nurodytose sistemose.

Vadovas / Vadovė

doc. dr. Inga Gurauskienė

(vadovo pareigos, vardas, pavardė, parašas)

(data)

Mantas Naulickas. Skaitmeninio produkto paso taikymas darbo drabužių vertės grandinėje: būvio ciklo ir žiediško perspektyva. Magistro baigiamasis projektas / vadovė doc.dr. Inga Gurauskienė; Kauno technologijos universitetas, Aplinkos inžinerijos institutas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Aplinkos inžinerija (E03) – pagrindinė, Gamybos inžinerija (E10), Verslas (L01), Inžinerijos mokslai .

Reikšminiai žodžiai: tekstilė, žiediškas, ilgaamžiškumas, atsekamumas, skaitmeninis produkto pasas, darbo drabužiai, tekstilės sektorius.

Kaunas, 2026. 64p.

Santrauka

Tekstilės sektorius yra viena iš daugiausiai išteklių naudojančių ir reikšmingą poveikį aplinkai darančių pramonės šakų, todėl vis didesnis dėmesys skiriamas žiedinės ekonomikos principų taikymui bei skaitmeninių sprendimų diegimui. Viena iš perspektyviausių priemonių laikomas skaitmeninis produkto pasas (SPP), leidžiantis kaupti, valdyti ir perduoti informaciją apie gaminį viso jo būvio ciklo metu. Šiame darbe nagrinėjamos skaitmeninio produkto paso taikymo galimybės darbo drabužių vertės grandinėje, vertinant būvio ciklo ir žiediško perspektyvas.

Darbo tikslas – įvertinti skaitmeninio produkto paso taikymo galimybes darbo drabužių vertės grandinėje, integruojant būvio ciklo analizės ir žiediško vertinimo principus. Tyrimo metu atlikta mokslinės literatūros analizė, darbo drabužių vertės grandinės vertinimas, būvio ciklo analizė (LCA) bei žiediško rodiklių interpretacija. Praktiniam tyrimui pasirinktas darbo drabužio pavyzdys – uniforminės darbo kelnės, gaminamos Lietuvos siuvimo įmonėje.

Tyrimo rezultatai parodė, kad bendras analizuoto gaminio poveikis klimato kaitai siekia 101,49 kg CO₂ ekv vienam gaminiui. Didžiausia poveikio dalis nustatyta naudojimo ir priežiūros etape – 74,9 kg CO₂ ekv arba 73,8 % viso poveikio. Tyrimas taip pat atskleidė, kad reikšmingą įtaką aplinkosauginiams rodikliams turi skalbimo ir džiovavimo procesai, energijos bei vandens sąnaudos. Žaliavų gamybos etapas sudaro 16,5 %, o transportavimo etapas – 8,1 % bendro poveikio aplinkai.

Žiediško vertinimas, atliktas taikant Material Circularity Indicator (MCI) metodiką, parodė, kad analizuojamo gaminio žiediško koeficientas siekia 0,43 balo (skalėje nuo 0 iki 1), todėl gaminys pasižymi vidutiniu žiediško lygiu. Nustatyta, kad pagrindiniai žiediško ribojantys veiksniai yra mišri medžiagų sudėtis, sudėtingas komponentų atskyrimas bei ribotos perdirbimo galimybės.

Tyrimas atskleidė, kad SPP gali tapti efektyvia priemone struktūruotai kaupti informaciją apie gaminio sudėtį, aplinkosauginį poveikį, naudojimo etapą, remonto galimybes ir būvio pabaigos scenarijus. Pateiktas duomenų organizavimo modelis parodė, kaip būvio ciklo ir žiediško informacija gali būti integruojama į vieningą skaitmeninę sistemą, didinančią tiekimo grandinės skaidrumą, atsekamumą ir duomenimis grįstų sprendimų priėmimo galimybes darbo drabužių sektoriuje.

Mantas Naulickas. Applying the Digital Product Passport in the Workwear Value Chain: A Life Cycle and Circularity Perspective. Master's Final Degree Project / supervisor Assoc. Prof. Dr. Inga Gurauskienė; Kaunas University of Technology, Institute of Environmental Engineering, Faculty of Mechanical Engineering and Design.

Study field and area (study field group): Environmental Engineering (E03) – main study field, Production and Manufacturing Engineering (E10), Business (L01), Engineering Sciences.

Keywords: textiles, circularity, longevity, traceability, digital product passport, workwear, textile sector.

Kaunas, 2026. 64p.

Summary

The textile sector is one of the most resource-intensive and environmentally impactful industries, therefore increasing attention is being paid to the application of circular economy principles and the implementation of digital solutions. One of the most promising tools is considered to be the Digital Product Passport (DPP), which enables the collection, management, and transfer of product-related information throughout the entire product life cycle. This thesis examines the possibilities of applying the Digital Product Passport within the workwear value chain from life cycle and circularity perspectives.

The aim of the thesis is to evaluate the possibilities of application the Digital Product Passport in the workwear value chain by integrating life cycle assessment and circularity evaluation principles. The research included a scientific literature review, evaluation of the workwear value chain, life cycle assessment (LCA), and interpretation of circularity indicators. The practical research was based on a workwear example – uniform work trousers manufactured by a Lithuanian sewing company.

The research results showed that the total climate change impact of the analysed product amounts to 101.49 kg CO₂ ekv. per product. The largest share of the impact was identified in the use and maintenance stage – 74.9 kg CO₂ ekv. or 73.8 % of the total impact. The study also revealed that washing and drying processes, as well as energy and water consumption, have a significant influence on environmental impact indicators. The raw material production stage accounts for 16.5 %, while the transportation stage represents 8.1 % of the total environmental impact.

The circularity assessment, carried out using the Material Circularity Indicator (MCI) methodology, showed that the circularity coefficient of the analysed product is 0.43 , indicating a moderate level of circularity. It was determined that the main factors limiting circularity are the mixed material composition, complex component separation, and limited recycling possibilities.

The study revealed that the DPP can become an effective tool for systematically collecting information about product composition, environmental impact, the use phase, repair possibilities, and end-of-life scenarios. The presented data organisation model demonstrated how life cycle and circularity information can be integrated into a unified digital system that increases supply chain transparency, traceability, and opportunities for data-driven decision-making in the workwear sector.

Turinys

Lentelių sąrašas	9
Paveikslų sąrašas	10
Santrumpų ir terminų sąrašas	11
Įvadas.....	13
1. Literatūros apžvalga	15
1.1. Skaitmeninio produkto paso struktūra, duomenys	15
1.1.1. Pagrindiniai skaitmeninis produkto paso informaciniai elementai	15
1.1.2. Duomenų tipai ir šaltiniai	16
1.2. Skaitmeninis produkto pasas tekstilės sektoriuje	16
1.2.1. Skaitmeninio produkto paso samprata.....	16
1.2.2. Europos Sąjungos politikos kryptys tekstilės gaminių skaitmeninio paso kontekste.....	17
1.2.3. Skaitmeninio produkto paso taikymas tekstilės sektoriuje.....	18
1.3. Darbo drabužių vertės grandinės struktūra.....	22
1.4. Būvio ciklo analizės metodologiniai principai darbo drabužių sektoriuje	24
1.5. Žiediško strategijos darbo drabužių sistemoje	26
1.5.1. Ilgaamžiškumo didinimas.....	26
1.5.2. Remontas ir priežiūra	28
1.5.3. Pakartotinis naudojimas.....	29
1.5.4. Perdurbimas ir medžiagų atgavimas.....	29
1.5.5. Žiediško rodikliai ir jų integracija į skaitmeninį produkto pasą.....	30
1.6. Empirinių tyrimų ir pilotinių skaitmeninio produkto paso atvejų analizė.....	30
1.6.1. Technologiniai sprendimai ir jų praktinis pritaikymas.....	30
1.6.2. Centralizuotos ir decentralizuotos duomenų bazės	31
1.6.3. QR, RFID ir kitos identifikavimo technologijų taikymas	31
1.6.4. Integracija su įmonės išteklių planavimo sistema ir tiekimo grandinės valdymo sistemomis ..	32
1.6.5. Gamybos procesų stebėjimas kaip skaitmeninio produkto paso pagrindas: empirinių atvejų analizė	32
1.7. Literatūros analizės apibendrinimas	33
2. Metodika.....	35
2.1. Tyrimo dizainas	36
2.2. Tiriamas darbo drabužis	37
2.3. Duomenų rinkimo metodai.....	38
2.3.1. Pirminiai duomenys.....	39
2.3.2. Antriniai duomenys	39
2.3.3. Duomenų sisteminimas ir struktūravimas	39
2.4. Būvio ciklo vertinimo metodika	40
2.4.1. Sistemos ribos.....	40
2.4.2. Funkcinis vienetas	40
2.4.3. Duomenų šaltiniai.....	41
2.4.4. Vertinami rodikliai	41
2.5. Žiediško vertinimo metodika.....	41

2.6. Scenarijų modeliavimas.....	42
2.6.1. Modeliavimo tikslas	42
2.6.2. Būvio ciklo modeliavimas ir scenarijų analizė.....	43
2.6.3. Vertinami rodikliai, modeliavimo prielaidos ir apribojimai.....	43
2.7. Duomenų susiejimas ir pateikimas	43
3. Tyrimo rezultatai.....	45
3.1. Analizuojama įmonė ir pavyzdinis gaminys	45
3.1.1. Vertės grandinės duomenų žemėlapis	46
3.2. Duomenų rinkimas	47
3.2.1. Pirminiai duomenys.....	47
3.2.2. Antriniai duomenys	47
3.3. Būvio ciklo analizės rezultatai.....	48
3.3.1. CO ₂ paskirstymas etapais	48
3.3.2. Vandens ir energijos sąnaudos	49
3.3.3. Didžiausios įtakos etapų identifikavimas	50
3.3.4. Naudojimo ir priežiūros etapas.....	50
3.4. Žiediško indikatorių įvertinimas	50
3.4.1. Bendras žiediško koeficientas	51
3.4.2. Scenarijų modeliavimas.....	52
3.5. Duomenų susiejimas ir pateikimas	52
3.6. Gamybos įmonės pasirengimas skaitmeniniam produkto paso diegimui.....	54
3.7. Rezultatų apibendrinimas	56
Išvados	57
Literatūros sąrašas	58
Priedai.....	65
1 Priedas. Informacija ir informaciniai šaltiniai	65
2 Priedas. Vertės duomenų žemėlapis	66
3 Priedas. Komponentų lentelė.....	67
4 Priedas. Kelnių eskizas ir siuvimo lekalai	69
5 Priedas. Pradinės žaliavos	70
6 Priedas. CO ₂ pasiskirstymas etapais.....	71
7 Priedas. Gaminio gamybos proceso etapai	73
8 Priedas. Gamybos energijos sąnaudos.....	74
9 Priedas. Naudojimo etapas	75
10 Priedas. Gamybos operacijų lentelė	76
11 Priedas. Skalavimo ir džiovinimo poveikis anglies pėdsakui (CO ₂ ekv.).....	78
12 Priedas. Sumažintos skalavimo temperatūros įtaka šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijoms (CO ₂ ekv.)	80
13 Priedas. Alternatyvių žaliavų palyginimas pagal CO ₂ ekvivalentą	81

Lentelių sąrašas

lentelė 1. Tyrimo seka	35
lentelė 2. Tyrimo metodai	36
lentelė 3. Pagrindinės uniforminių darbo kelnių sudedamosios dalys	37
lentelė 4. Pakavimo medžiagos	38
lentelė 5. Gaminio atrankos kriterijai.....	38
lentelė 6. Pirminiai duomenys.....	39
lentelė 7. Antriniai duomenys	39
lentelė 8. Modeliuojami parametrai	43
lentelė 9. Produkto duomenų integravimo į SPP etapai.....	44
lentelė 10. Surinkta informacija	47
lentelė 11. Vienų uniforminių darbo kelnių CO ₂ ekv. paskirstymas etapais.....	48
lentelė 12. Vandens ir energijos sąnaudų paskirstymas.....	49
lentelė 13. Situacijų modeliavimas	52
lentelė 14. Duomenų priskyrimas gaminiui	53
lentelė 15. SPP struktūra ir duomenų pateikimas vartotojui ir kitiems vertės grandinės dalyviams	53
lentelė 16. Pasirengimo lygis SPP.....	55

Paveikslų sąrašas

1 pav. Darbo drabužių ir įprastų tekstilės gaminių vertės grandinė	23
2 pav. Ilgaamžiškumo didinimo pavyzdys	27
3 pav. Produkto būvio ciklo schema.....	46

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

B2B (*Business-to-Business*) – Verslas verslui;

BVP – Bendras vidaus produktas;

C2C (*Customer-to-customer*) – Vartotojas vartotojui;

CAD (*Computer-Aided Design*) – Kompiuterinis projektavimas;

CNC (*Computer Numerical Control*) – Kompiuterinis skaitmeninis valdymas;

CO₂ – Anglies dioksidas;

EEA (*European Environment Agency*) – Europos aplinkos agentūra;

EK – Europos Komisija;

EPR (*Extended Producer Responsibility*) – Išplėstinė gamintojo atsakomybė;

EPTPR – Ekologinio projektavimo tvariems produktams reglamentas;

ERP (*Enterprise Resource Planning*) – Įmonės išteklių planavimo sistema;

ES – Europos Sąjunga;

IoT (*Internet of Things*) – Daiktų internetas;

LCA (*Life cycle assessment*) – Būvio ciklo vertinimas;

LCC (*Life Cycle Costing*) – Būvio ciklo sąnaudų vertinimo metodas;

LCI (*Life cycle inventory*) – Būvio ciklo inventorinė analizė;

LCIA (*Life Cycle Impact Assessment*) – Būvio ciklo poveikio vertinimas;

LFI (*Linear Flow Index*) – Linijinio srauto indeksas;

MCI (*Material Circularity Indicator*) – Medžiagų žiedžiškumo rodiklis;

MFA (*Material Flow Analysis*) – Medžiagų srautų analizė;

PLM (*Product Lifecycle Management*) – Produkto būvio ciklo valdymas;

QC (*Quality Control*) – Kokybės kontrolė;

QR (*Quick Response code*) – Greitasis atsako kodas;

RDAS (*Remote Digital Authentication System*) – Nuotolinė skaitmeninė autentifikavimo sistema;

RFID (*Radio Frequency Identification*) – Radijo dažnio atpažinimo sistema;

SPP – Skaitmeninis produkto pasas;

ŽK – Žiediškumo koefficientas;

ŽVP – Žalieji viešieji pirkimai.

Įvadas

Tekstilės sektorius laikomas viena iš daugiausia išteklių vartojančių ir reikšmingą poveikį aplinkai darančių pramonės šakų. Gamybos procesuose sunaudojami dideli kiekiai energijos, vandens ir cheminių medžiagų, o viso būvio ciklo metu susidaro reikšmingos šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos bei atliekų srautai. Papildomą sudėtingumą kelia globalios tiekimo grandinės, kuriose dažnai trūksta skaidrumo, duomenų prieinamumo ir aiškaus atsakomybės pasiskirstymo tarp skirtingų dalyvių. Šie iššūkiai aktualūs ne tik vartojimo tekstilei, bet ir specializuotiems gaminiams, tokiems kaip darbo drabužiai.

Darbo drabužių segmentas išsiskiria tuo, kad gaminiai turi atlikti ne vien estetinę ar komforto funkciją, bet ir užtikrinti darbuotojų saugą, patvarumą bei funkcionalumą. Dėl šios priežasties, darbo drabužiams taikomi aukštesni kokybės reikalavimai, naudojamos specialios medžiagos, o eksploataavimo laikotarpis dažnai ilgesnis nei įprastų drabužių. Daugelyje organizacijų šie gaminiai valdomi centralizuotai – vykdomas jų paskirstymas, skalbimas, remontas, keitimas ir surinkimas pasibaigus naudojimui. Tai sudaro palankias sąlygas efektyvesniam būvio ciklo valdymui ir žiedinės ekonomikos principų taikymui.

Europos Sąjunga, siekdama spartinti perėjimą prie tvaresnės ekonomikos, įgyvendina naujas produktų politikos priemones, tarp kurių svarbi vieta tenka skaitmeniniam produkto pasui. Ši sistema numatyta kaip priemonė, leidžianti kaupti ir perduoti informaciją apie produkto sudėtį, kilmę, poveikį aplinkai, taisymo galimybes, priežiūrą bei būvio ciklo pabaigos scenarijus. Tekstilės sektoriuje skaitmeninis produkto pasas gali tapti reikšmingu įrankiu didinant atsekamumą, mažinant informacijos trūkumą ir sudarant sąlygas priimti duomenimis grįstus sprendimus visoje vertės grandinėje.

Darbo drabužių sektoriuje ši priemonė ypač aktuali, nes centralizuotas produktų valdymas leidžia sukaupti daugiau duomenų apie realų naudojimą, priežiūrą, remonto dažnį ir gaminio nusidėvėjimą. Tokia informacija yra vertinga vertinant ne tik atitiktį būsimiems reguliaciniams reikalavimams, bet ir ieškant sprendimų, kaip mažinti aplinkosauginį poveikį, ilginti naudojimo laikotarpį bei gerinti išteklių panaudojimą. Skaitmeninis produkto pasas gali sujungti skirtingus produkto būvio ciklo etapus į vieningą informacinę sistemą.

Šiame darbe nagrinėjamas skaitmeninio produkto paso taikymas darbo drabužių vertės grandinėje, remiantis būvio ciklo analizės ir žiediškumo perspektyvomis. Atliekama literatūros analizė, vertės grandinės duomenų srautų vertinimas, identifikuojami reikšmingiausi aplinkosauginio poveikio etapai bei vertinamos galimybės didinti produkto ilgaamžiškumą, remontuojamumą ir perdirbamumą. Taip pat siekiama nustatyti, kokie duomenys turėtų sudaryti praktinį skaitmeninio produkto paso pagrindą darbo drabužių sektoriuje.

Darbo tikslas – įvertinti skaitmeninio produkto paso taikymo galimybes darbo drabužių vertės grandinėje, integruojant būvio ciklo analizės ir žiediškumo perspektyvas.

Tyrimo klausimas - kaip skaitmeninis produkto pasas gali būti taikomas darbo drabužių vertės grandinėje siekiant didinti žiediškumą, gerinti duomenų atsekamumą ir mažinti aplinkosauginį poveikį viso būvio ciklo metu?

Darbo uždaviniai:

1. Išanalizuoti skaitmeninio produkto paso sampratą, struktūrą ir taikymo kryptis tekstilės sektoriuje.
2. Įvertinti darbo drabužių vertės grandinės struktūrą ir identifikuoti pagrindinius duomenų srautus.
3. Įvertinti darbo drabužio būvio ciklo poveikį aplinkai bei svarbiausius žiediškumo rodiklius.
4. Parengti rekomendacinį skaitmeninio produkto paso duomenų modelį ir įmonių pasirengimo diegimui kryptis.

Tyrime taikyti metodai – mokslinės literatūros analizė, atvejo, būvio ciklo analizės, scenarijų analizės metodai, vertinant skaitmeninio paso taikymo galimybes darbo drabužių vertės grandinėje, siekiant didinti žiediškumą, gerinant duomenų atsekamumą ir mažinant aplinkosauginį poveikį viso drabužių būvio ciklo metu.

1. Literatūros apžvalga

1.1. Skaitmeninio produkto paso struktūra, duomenys

Skaitmeninis produkto pasas toliau – SPP [1], tai dinaminė skaitmeninė duomenų platforma, kuri sujungia informaciją apie gaminį viso jo būvio ciklo metu, pradedant žaliavų išgavimo iki perdirbimo ar šalinimo etapo [2]. Skirtingai nei tradicinė produkto etiketė ar techninė dokumentacija, SPP nėra statiškas dokumentas, tai skaitmeninis gaminio modulis su nuolatos vykdomais atnaujinamais, papildymais ir galimybe būti integruojamais su kitomis duomenų sistemomis. Tai reiškia, kad produkto informacija tampa „gyva“ ir prieinama realiuoju laiku [3].

SPP veikia kaip duomenų mainų infrastruktūra tarp skirtingų vertės grandinės dalyvių – tiekėjų, gamintojų, logistikos įmonių, perdirbėjų, viešojo sektoriaus institucijų ir vartotojų. Tokiu būdu SPP tampa ne tik informacijos saugykla, bet ir koordinavimo mechanizmu, leidžiančiu efektyviau valdyti išteklius bei mažinti aplinkosauginį poveikį [4].

1.1.1. Pagrindiniai skaitmeninis produkto paso informaciniai elementai

SPP tekstilės sektoriuje nėra vien identifikavimo įrankis, tai plati informacinė sistema, į kurią įeina įvairaus spektro duomenys, bet ir produkto būvio ciklas su jo teigiamais ir neigiamais poveikiais. SPP leidžia užtikrinti skaidrumą visoje vertės grandinėje. Trace4Value duomenų protokole pabrėžiama [2], kad SPP turi būti susietas su unikaliu produkto identifikatoriumi, generuojamu per skaitmeninį nešiklį (QR, RFID ar NFC kodas), kuris leidžia fiziškai susieti produktą su skaitmeniniais duomenimis [2]. Taip yra sukuriama informacijos struktūra indentifikavimo sistemai.

Svarbu pažymėti, kad ši sistema nėra uždara ar statiška. Ji grindžiama galimybe nuolat pildyti, atnaujinti ir keistis duomenimis per visą produkto būvio ciklą. SPP turi būti pagrįstas decentralizuota duomenų sistema, sudarančia sąlygas skirtingoms vertės grandinės šalims teikti, atnaujinti ir keistis informacija, laikantis atvirų standartų ir užtikrinant sąveikumą [2].

Tai reiškia, kad SPP gali būti papildomas naujais duomenimis (pvz., apie remonto istoriją, perdirbimą ar sertifikatus, arba net ir neigiamus poveikius aplinkai) [1], bei pritaikomas prie besikeičiančių reglamentavimo ar rinkos reikalavimų. Tokia dinaminė struktūra leidžia sistemai evoliucionuoti kartu su žiedinės ekonomikos principais ir žaliosios transformacijos tikslais [4].

Viena iš svarbesnių SPP sudedamųjų dalių yra medžiagų kilmė ir sudėtis. Tekstilės sektoriaus transformacija neįmanoma be detalizuoto žaliavų informacijos pateikimo ir atsekamumo kontrolės [5]. Tiekimo grandinių kontrolės sudėtingumą sudaro medžiagų kilmės ir sudėties atskleidimas, todėl SPP yra priemonė užtikrinti skaidrumą [5].

Ne mažiau reikšmingos dedamosios yra: a) tiekimo grandinės informacija, prieinama tiek vartotojams, tiek prekės ženklams, tiek institucijoms [2]; b) aplinkosauginiai rodikliai: kur tekstilės sektorius sudaro apie 10 % pasaulinių CO₂ emisijų, o tekstilės gamyba atsakinga už reikšmingą vandens taršą [5]; c) produkto žiediskumo potencialas: ES strateginiai dokumentai akcentuoja patvarumą, taisomumą ir perdirbamumą kaip būtinas sąlygas tvariai transformacijai [2].

1.1.2. Duomenų tipai ir šaltiniai

SPP veikimas paremtas skirtingų tipų duomenimis, kurie apima tiek pirminę informaciją iš gamybos procesų ir antrinius duomenis, paimtus iš LCA duomenų bazių, emisijų koeficientų ar kitų standartizuotų šaltinių [6], kurie leidžia pirminius gamybos duomenis paversti aplinkosauginio poveikio indikatoriais:

- a) Pirminiai duomenys (gamybos, energijos, transporto) yra tiesiogiai susiję su konkrečiu produkto gamyba ir tiekimo grandine. Apimantys produktą, medžiagas, tiekimo grandines, aplinkos ir socialinius duomenis, taip pat turi būti suteikta pagrįsta prieiga prie duomenų visiems vertės grandinės dalyviams [2]. Sistemoje turi būti integruojami gamybos, žaliavų, logistikos bei kitų operacinių procesų duomenys. Siekiant užtikrinti atsakingą medžiagų naudojimą ir tvarią transformaciją, būtina stebėti medžiagų judėjimą visoje tiekimo grandinėje, nes būtent jos sudėtingumas apsunkina informacijos kontrolę [5]. Tokie duomenys gali apimti energijos suvartojimą, transporto etapus, žaliavų kilmę ar gamybos procesų parametrus.
- b) Antriniai LCA duomenų bazės duomenys, emisijų koeficientai – leidžia įvertinti aplinkosauginį poveikį [7]. Tekstilės sektorius reikšmingai prisideda prie anglies emisijų ir vandens taršos, todėl būtina sistemingai rinkti ir struktūruoti informaciją apie aplinkosauginį poveikį, siekiant užtikrinti tvarumo tikslų įgyvendinimą [5]. Tokie duomenys gali būti grindžiami LCA duomenų bazėmis, emisijų koeficientais ar kitais standartizuotais rodikliais, kurie leidžia pirminius gamybos duomenis paversti anglies ar vandens pėdsako indikatoriais. SPP apibrėžiamas kaip sistema, apimanti ir „aplinkos duomenis“ [2], todėl antriniai duomenys tampa visos struktūros dalimi.
- c) Sertifikavimo ir audito informacija turi būti prieinama ne tik vartotojams ar prekės ženklams, bet ir institucijoms, siekiant užtikrinti atitiktį reglamentams [2]. Duomenys turi būti struktūruoti, naudojamas tarptautinis informacijos formatas, ir savalaikiai atnaujinami įvairių suinteresuotųjų šalių [2]. Tai sudaro sąlygas į SPP integruoti sertifikatų, socialinės atitikties, aplinkosauginių auditų ar kitų patikros mechanizmų informaciją. SPP pradeda veikti ne kaip informacijos šaltinis, bet ir kaip priemonė, padedanti įvertinti bei patikrinti, ar produktas laikosi aplinkosaugos ir socialinės atsakomybės standartų [2].

1.2. Skaitmeninis produkto pasas tekstilės sektoriuje

1.2.1. Skaitmeninio produkto paso samprata

Tekstilės pramonėje tiekimo grandinės dažnai yra tarptautinės, ilgos ir sudėtingos. Skaitmeninis produkto pasas gali parodyti pluoštų kilmę, žaliavų šaltinį ir tiekėjus, gamybos vietas ir kitas produkto gamybos detales [1, 2]. Tai leidžia tvarumą vertinti ne tik pagal deklaracijas, bet ir remtis realiais duomenimis [2].

Žaliosios pramonės ir žiedinės ekonomikos kontekste skaitmeninis produkto pasas tampa svarbia priemone, leidžiančia efektyviau valdyti informaciją apie gaminio sudėtį ir poveikį aplinkai. SPP suteikia galimybę kaupti duomenis apie produkto kilmę, naudojamas medžiagas, gamybos procesus bei galimybes jį taisyti, pakartotinai naudoti ar perdirbti [8].

Tekstilės pramonėje dažnai trūksta tikslios informacijos apie pluoštų sudėtį ar naudojamas chemines medžiagas [3], dėl to perdirbimas tampa labai sudėtingas, o dalis medžiagų praranda vertę arba tiesiog yra sunaikinamos [3]. SPP padeda šią problemą spręsti, nes suteikia galimybę aiškiai identifikuoti, iš ko pagamintas gaminy [9]. Tokia informacija leidžia perdirbėjams parinkti tinkamus procesus, o gamintojams kurti lengviau perdirbamus produktus ir panaudoti dalį jau perdirbtų pirminių žaliavų [9].

Turint daugiau duomenų apie gaminio poveikį aplinkai, galima atsakingiau planuoti jo dizainą [10]: gamintojai gali rinktis patvaresnes medžiagas, mažinti sudėtingų mišinių naudojimą ir gerinti taisymo galimybes [10], palapsniui atsisakyti trumpalaikio „gaminti-naudoti-išmesti“ modelio ir pereiti prie ilgesnio produkto būvio ciklo [11].

SPP teikiamų duomenų informacija didina skaidrumą tiekimo grandinėje, todėl vartotojai ir institucijos gali matyti, iš kur kilęs produktas ir kokį poveikį jis daro aplinkai [9]. Tai skatina atsakingesnę vartojimą ir stiprina pasitikėjimą rinkoje [9]. Dėl šių priežasčių skaitmeninis produkto pasas gali būti laikomas vienu iš pagrindinių elementų, padedančių įgyvendinti žiedinės ekonomikos principus tekstilės sektoriuje [8].

1.2.2. Europos Sąjungos politikos kryptys tekstilės gaminių skaitmeninio paso kontekste

Europos Sąjunga siekia transformuoti pramonę į tvaresnę, orientuotą į žiedinę ekonomiką, todėl tekstilės sektoriui taikomos naujos reguliacinės kryptys, numatyti tvarumo įgyvendinimo reglamentai. Vienas iš jų ekologinio projektavimo tvariems produktams reglamentas – ESPR – nustantis bendrą teisinę sistemą, kuri skirta gerinti produktų tvarumą viso būvio ciklo metu. Reglamentas orientuotas į produktų patvarumą, pakartotinį naudojimą, pataisomumą, perdirbamumą ir poveikio aplinkai mažinimą. ESPR reglamentu siekiama pereiti nuo linijinės prie žiedinės ekonomikos modelio [12], numatoma nustatyti tiek veiksmingumo, tiek informacijos reikalavimus, apimančius energijos ir išteklių naudojimą, pavojingų medžiagų įtaką bei produkto aplinkosauginį pėdsaką [13]. Dėl šios priežasties SPP yra svarbi ESPR reglamento dalis, kuris užtikrina prieigą prie informacijos apie produkto sudėtį, veikimą, atsekamumą ir techninę dokumentaciją, taip sudarant sąlygas efektyvesniam taisymui, pakartotiniam naudojimui ir perdirbimui [13].

SPP reikalavimai ir standartai orientuoti į duomenų struktūravimą ir prieinamumą visoje vertės grandinėje. Numatoma, kad produktų informacija apims medžiagų sudėtį, kilmę, aplinkosauginį poveikį, naudojimo ir priežiūros instrukcijas bei perdirbimo galimybes, o duomenys bus standartizuoti ir sąveikūs tarp skirtingų sistemų [13]. Tikėtina, kad, norint įgyvendinti ES tvarumo strategiją, didės duomenų tikslumo ir automatizavimo reikalavimai, todėl įmonės bus priverstos diegti pažangias skaitmenines sistemas (ERP, PLM, IoT), leidžiančias realiu laiku rinkti ir perduoti duomenis apie gamybą, medžiagas ir produkto būklę [13].

ES tvarios ir žiedinės tekstilės strategija nustato, kad tekstilės sektorius turi pereiti prie modelio, kuriame produktai yra ilgaamžiai, perdirbami ir pagaminti iš saugių medžiagų. ES tvarumo įgyvendinimo strategijoje pažymima, kad dabartinis tekstilės vartojimas daro didelį poveikį klimatui, vandens ir energijos ištekliams, todėl būtina mažinti perprodukciją ir didinti pakartotinį naudojimą bei perdirbimą [14]. Taip pat numatoma, kad iki 2030 m. tekstilės gaminiai ES rinkoje turi būti

ilgaamžiai, perdirbami ir didžiąja dalimi pagaminti iš perdirbtų pluoštų, o vartotojams turi būti prieinamos taisymo ir pakartotinio naudojimo paslaugos [14].

1.2.3. Skaitmeninio produkto paso taikymas tekstilės sektoriuje

1.2.3.1. Tiekimo grandinės skaidrumas

Tekstilės sektoriaus tiekimo grandinės pasižymi dideliu fragmentiškumu, geografiniu išskaidymu ir daugiasluoksne struktūra, pradedant žaliavų augintojais ir pluošto apdirbėjais, pabaigiant audimu, dažymu, siuvimu, distribucija ir didmeninės, bei mažmeninės prekybos etapais. Dėl tokios sudėtingos struktūros dažnai tampa sudėtinga nustatyti tikslų medžiagų kilmės šaltinį, gamybos sąlygas ar aplinkosauginį poveikį. SPP gali tapti viena iš esminių priemonių, stiprinančių atsekamumą ir skaidrumą visoje tekstilės vertės grandinėje, užtikrinant prieigą prie struktūruotos ir standartizuotos informacijos [1]. SPP apibrėžiamas kaip skaitmeninis įrašas su susietu skaitmeniniu nešiklu (QR, RFID kodas) [2], kur kiekvienas produkto etapas gali būti dokumentuojamas ir, esant poreikiui, patikrinamas. Tokia struktūra mažina informacijos fragmentaciją ir leidžia sukurti nuoseklią duomenų grandinę.

Svarbu pažymėti, kad skaidrumas SPP kontekste nėra vien informacijos viešinimas vartotojui. Duomenų prieinamumas skirtingiems rinkos dalyviams (tiekėjams, gamintojams, perdirbėjams ir priežiūros institucijoms) yra vienodas, akcentuojama, kad SPP, sudarydamas sąlygas kurti skaidrią ir patikimą duomenų ekosistemą, turi būti grindžiamas sąveikiomis ir lengvai iššifruojamomis duomenų sistemomis, leidžiančiomis efektyviai dalintis informacija tarp vertės grandinės subjektų [2].

Skaidrumo stiprinimas gali turėti teigiamą poveikį vartotojų pasitikėjimui ir padėti kovoti su „žaliuoju manipuliavimu“ praktika [1]: kai informacija apie medžiagų sudėtį, gamybos procesus ar aplinkosauginį poveikį tampa patikrinama, sumažėja galimybė nepagrįstiems tvarumo teiginiams. Atsižvelgiant į duomenų prieinamumo svarbą, galima teigti, kad produkto ekosistemos skaidrumas veikia trijuose lygmenyse: techniniame (duomenys susiejami su fiziniu gaminiu), organizaciniame (duomenys prieinamos visiems vertės grandinės dalyviams) ir instituciniame (sudaro sąlygas efektyviai kontrolei).

1.2.3.2. Ekologinio projektavimo sprendimų skatinimas

Dizaino sprendimai turi būti grindžiami realiais, patikrinamais duomenimis, leidžiančiais objektyviai įvertinti produkto poveikį aplinkai. Vienas svarbiausių aspektų yra poveikio aplinkai rodiklių analizė, apimanti tokias kategorijas kaip klimato kaitos potencialas (CO₂ ekv.), energijos ir vandens suvartojimas bei atliekų susidarymas. Šių rodiklių svarba grindžiama būvio ciklo požiūriu, nes jie leidžia identifikuoti didžiausią poveikį turinčius etapus ir priimti duomenimis pagrįstus sprendimus projektavimo procese [15].

Remiantis EK ekologinio projektavimo (angl. *ecodesign*) principais, būtent projektavimo etape nulemiama iki 80 % produkto poveikio aplinkai, todėl sprendimai turi būti orientuoti ne tik į medžiagų pasirinkimą, bet ir į viso produkto būvio ciklo optimizavimą. Tai apima ilgaamžiškumo didinimą, konstrukcinių sprendimų, leidžiančių lengvai remontuoti ar atnaujinti produktą, taikymą, taip pat efektyvų išteklių naudojimą gamybos metu [15]. Ekologinio projektavimo strategijos, taikomos tekstilės gaminiams, orientuotos į produkto ilgaamžiškumo didinimą, remonto ir perdirbimo dizainą, pakartotinę medžiagos panaudojimą, medžiagos alternatyvumo principą [12]:

- ilgaamžiškumo didinimas (atsparių medžiagų pasirinkimas, sustiprintos siūlės);
- dizainas remontui (lengvai pakeičiamos dalys, standartizuoti komponentai);
- dizainas perdirbimui (vienarūšių medžiagų naudojimas, mišrių pluoštų mažinimas);
- medžiagų naudojimo optimizavimas (atliekų mažinimas gamybos metu);
- dizainas pakartotiniam naudojimui (moduliniai, lengvai pritaikomi gaminiai);
- pavojingų medžiagų mažinimas ir saugesnių alternatyvų pasirinkimas.

Tokia susisteminta ir prieinama ekologinio projektavimo sistema svarbi dizaineriams ir gamintojams, kurie gali įvertinti, ar pasirinktos medžiagos yra ilgaamžiškos, perdirbamos, koks yra jų anglies pėdsakas. Šiuo atveju SPP padeda pereiti nuo deklaratyvaus „tvaraus dizaino“ prie duomenimis pagrįsto projektavimo [16].

Technologinių iššūkių analizėje SPP įgyvendinimas reikalauja struktūruoti duomenis apie medžiagas ir gamybos procesus, o tai skatina įmones peržiūrėti savo produktų struktūrą ir informacijos valdymo sistemas [17]. Šis prieinamumas netiesiogiai daro poveikį pačiam projektavimo procesui, gaminiai kuriami taip, kad jų sudėtis tampa aiški, atsekama ir tinkama perdirbti.

Praktikoje šios strategijos jau taikomos įvairiose įmonėse, pavyzdžiui, „Patagonia“ taiko dizainą ilgaamžiškumui ir remontui [18], siūlant produktų taisymo programas, o „IKEA“ integruoja perdirbimui palankius dizaino sprendimus [19], mažinant mišrių medžiagų naudojimą. Tekstilės sektoriuje darbo drabužių paslaugų teikėjai, tokie kaip Lindström [20], taiko uždaro ciklo modelius, kuriuose produktai yra nuomojami, prižiūrimi ir remontuojami, taip maksimaliai prailginant jų naudojimo laikotarpį.

Taigi, ekologinio dizaino sprendimai yra glaudžiai susiję su perdirbamumu ir produkto būvio trukme. Kartu su SPP gali prisidėti prie žiediško didinimo, suteikiant informaciją, reikalingą pakartotiniam naudojimui, taisymui ir perdirbimui [1]. Visame dizaino etape turi būti numatytos galimybės lengvai išardyti gaminį, atskirti skirtingas medžiagas ar pakeisti susidėvinčias dalis. SPP veikia kaip informacinis (grįžtamojo ryšio) mechanizmas – leidžia analizuoti produkto sudėtį ir poveikį, o ši analizė grįžta į projektavimo stadiją kaip pagrindas tvaresniems sprendimams. Dizainas, gamyba ir perdirbimas tampa tarpusavyje susijusiais procesais.

1.2.3.3. Atliekų mažinimas ir perdirbimo gerinimas

Tekstilės sektorius yra viena iš sparčiausiai augančių atliekų generavimo sričių. Europoje kasmet susidaro apie 12,6 mln. tonų tekstilės atliekų, iš kurių didelė dalis vis dar patenka į sąvartynus arba yra sudeginama (apie 87 % pasauliniu mastu) [21, 22]. Problema kyla ne tik dėl perteklinės gamybos ir trumpalaikio vartojimo modelio, bet ir dėl sudėtingos gaminių sudėties. Daugiau nei 50 % tekstilės gaminių yra pagaminti iš mišrių pluoštų, kas reikšmingai apsunkina jų perdirbimą [23]. Be to, informacijos trūkumas apie medžiagų sudėtį riboja efektyvų rūšiavimą ir perdirbimo technologijų pritaikymą.

Gamybinių tekstilės atliekų prevencija ir atliekų mažinimas turi prasidėti jau projektavimo ir gamybos etape, nes būtent šiuose etapuose nulemiama iki 80 % produkto poveikio aplinkai [15]. Tekstilės sektorius yra viena sparčiausiai augančių atliekų generavimo sričių, todėl medžiagų

naudojimo optimizavimas ir perteklinių liekanų mažinimas yra esminės priemonės siekiant sumažinti atliekų susidarymą visame būvio cikle. ES 2020 m. susidarė apie 6,95 mln. tonų tekstilės atliekų, t. y. vidutiniškai 16 kg vienam gyventojui, iš jų tik 4,4 kg vienam gyventojui buvo surinkta atskirai pakartotiniam naudojimui ar perdirbimui, o net 11,6 kg vienam gyventojui pateko į mišrių komunalinių atliekų srautą [21]. Didelė dalis tekstilės gaminių vis dar patenka į sąvartynus arba yra sudeginama. Vertinama, kad 2022 m. net 73 % visų išmestų tekstilės gaminių ES buvo sudeginta arba pašalinta sąvartynuose, o tik 27 % buvo pakartotinai panaudota arba perdirbta. Atskirai surinktų tekstilės atliekų sraute 12 % buvo šalinama sąvartynuose, o 14–15 % sudeginama [21]. Problema kyla ne tik dėl perteklinės gamybos ir trumpalaikio vartojimo modelio, bet ir dėl sudėtingos gaminių sudėties, mišrių pluoštų bei informacijos trūkumo apie medžiagų struktūrą. Gamybinių tekstilės atliekų prevencija ir atliekų mažinimas turi prasidėti jau projektavimo ir gamybos etape, optimizuojant medžiagų naudojimą bei mažinant perteklines liekanas [12].

Tekstilinių atliekų pasiskirstymo ir perdirbimo duomenys rodo, kad informacijos valdymas tampa viena iš esminių atliekų prevencijos sąlygų, o SPP suteikia galimybę gauti struktūruotą informaciją apie produkto sudėtį ir medžiagų tipą, t. y., turint tikslią informaciją apie pluoštų sudėtį, perdirbimo įmonės gali efektyviau rūšiuoti tekstilės atliekas ir pasirinkti tinkamiausią perdirbimo technologiją. Tokiu būdu SPP, pateikiant aiškią informaciją apie sudėtį, gaminio konstrukciją ar naudotas chemines medžiagas, gali prisidėti prie žiediško stiprinimo – sudaryti sąlygas pakartotiniam naudojimui, taisymui ir perdirbimui [1] – iš esmės sumažinti perdirbimo kaštus ir padidinti antrinių žaliavų kokybę [24]. Tai ypač svarbu tekstilėje, kur mišrūs pluoštai ir sudėtingos konstrukcijos dažnai apsunkina medžiagų atskyrimą.

Perdirbimo gerinimas taip pat yra susijęs ir su vartotojų elgsena. Jei vartotojas turi prieigą prie informacijos apie produkto taisymo galimybes ar rekomenduojamą atliekų tvarkymo būdą, tikėtina, kad bus pasirenkamas atsakingesnis sprendimas produkto būvio ciklo pabaigoje [2].

Apibendrinat atliekų mažinimo ir perdirbimo gerinimo strategijas svarbu atsižvelgti į tris skirtingus, tačiau tarpusavyje susijusius, produkto ekosistemos lygmenis:

- prevencinis lygmuo – skatina efektyvesnį projektavimą ir gamybą;
- perdirbimo lygmuo – užtikrina medžiagų sudėties skaidrumą ir atsekamumą;
- vartotojo lygmuo – suteikia informaciją apie taisymo ir tinkamo šalinimo galimybes.

Visa suteikta bendra informacija apie produktą tampa įrankiu, galinčiu padėti pereiti nuo linijinio tekstilės ekonomikos modelio prie žiedinės sistemos.

1.2.3.4. Tvarių viešųjų pirkimų stiprinimas

Tvarūs viešieji pirkimai yra svarbi sisteminė priemonė galinti paskatinti žaliosios transformacijos procesus ne tik atskirose įmonėse, bet ir visoje rinkoje. Viešieji pirkimai ES sudaro apie 14 % bendrojo vidaus produkto, todėl jų orientavimas į aplinkosauginius ir socialinius kriterijus gali veikti kaip stiprus rinkos transformacijos mechanizmas [25]. Lietuvoje viešieji pirkimai taip pat sudaro apie 13–15 % BVP, šiuos kiekius sudaro (uniformos, darbo rūbai, patalynė, apsaugos priemonės, furnitūra) [15]. Tai reiškia, kad valstybinės institucijos, savivaldybės ar viešosios įstaigos, sistemingai taikydamos tvarius kriterijus, gali paskatinti gamintojus investuoti į tvaresnius sprendimus.

Žalieji viešieji pirkimai remiasi būvio ciklo sąnaudų LCC principu [26, 27], kuris leidžia vertinti ne tik pradinę produkto kainą, bet ir jo naudojimo bei būvio ciklo pabaigą [17]. Tekstilės sektoriuje tai ypač aktualu, nes skalbimas, energijos ir vandens sąnaudos bei atliekų tvarkymas sudaro reikšmingą bendro poveikio dalį. Sprendimai grindžiami ne vien mažiausios kainos kriterijumi, bet ilgalaikę aplinkosauginę ir ekonominę naudą.

ES įteisinamas perėjimas nuo savanoriškų prie labiau suderintų ar privalomų viešųjų pirkimų kriterijų. Dokumente apie privalomų ŽVP kriterijų plėtrą tekstilei pažymima [17], kad ankstesnis savanoriškas taikymas valstybėse narėse buvo fragmentiškas, todėl siekiama didesnio harmonizavimo ES mastu [17]. Tekstilė įvardijama kaip prioritetinė produktų grupė, o ŽVP kriterijai turėtų būti pritaikomi žiedinės ekonomikos principams ir ES tvarios produktų politikos reikalavimams [17]. Tokiu būdu viešieji pirkimai tampa dalimi platesnio reguliacinio mechanizmo.

Nacionaliniu lygmeniu Lietuvoje tekstilės gaminiams jau taikomi minimalūs aplinkos apsaugos kriterijai, apimantys pavojingų cheminių medžiagų ribojimus, perdirbtų pluoštų naudojimą bei tvaresnės medvilnės reikalavimus [28]. Darbo drabužiams Lietuvoje taip pat taikomi ŽVP kriterijai [28], nustatantys reikalavimus gaminių ilgaamžiškumui, atsparumui skalbimui ir dėvėjimuisi, galimybei taisyti ar pakeisti atskiras dalis, taip pat ribojantys kenksmingų medžiagų kiekį audiniuose. Be to, skatinama naudoti perdirbtas arba ekologiškesnės kilmės žaliavas bei užtikrinti, kad gaminiai atitiktų kokybės ir funkcionalumo standartus, reikalingus saugiam naudojimui darbo aplinkoje [29].

Kitose Europos Sąjungos valstybėse narėse darbo drabužių viešuosiuose pirkimuose tvarumo kriterijai jau yra taikomi, tačiau jų pobūdis ir brandos lygis skiriasi. Analizuojant praktiką matyti, kad pažangiausios šalys pereina nuo pavienių reikalavimų prie sisteminių, žiedinė ekonomika grįstų modelių. Šioje srityje Nyderlandai laikomi viena pažangiausių valstybių: darbo drabužiams sukurti konkretūs viešųjų pirkimų kriterijai, apimantys ne tik medžiagų sudėtį (perdirbtų ar organinių pluoštų naudojimą), bet ir būvio ciklo valdymą (surinkimą, pakartotinį naudojimą bei perdirbimą) [27]. Be to, Europos drabužių veiksmų plano (angl. k.: *European Clothing Action Plan*) iniciatyvos metu [26] buvo sukurti praktiniai įrankiai ir mokymai perkančiosioms organizacijoms, skatinant pereiti prie žiedinių darbo drabužių pirkimų, įtraukiant nuomos ir paslaugų modelius [26]. Nyderlanduose, siekiant įvertinti perdirbtų medžiagų naudojimą, žiedinių kriterijų klimato mažinimo poveikį ir išteklių naudojimą, buvo analizuojami konkretūs viešųjų pirkimų kontraktai (93 darbo drabužių pirkimai) [30], kurie parodė, kad žiediniai kriterijai gali reikšmingai sumažinti tekstilės poveikį aplinkai.

Danijoje taip pat įvardijami detalūs kriterijai darbo drabužiams (darbo kombinezonams ar apsauginiams drabužiams), kuriuose vertinamas ne tik cheminių medžiagų kiekis ar pluoštų kilmė, bet ir tokie aspektai kaip atliekų tvarkymas, nuotekų valymas, rizikos vertinimas bei perdirbimo galimybės [27]. Tai rodo, kad darbo drabužiai yra vertinami kaip kompleksinė sistema, o ne vien tik kaip baigtinis produktas.

Belgijoje ir Prancūzijoje darbo drabužių kriterijai daugiau orientuoti į medžiagų sudėtį ir aplinkosauginį saugumą, t. y., ribojamos pavojingos cheminės medžiagos, skatinamas organinių ir perdirbtų pluoštų naudojimas bei vertinamas produkto būvio ciklo pabaigos etapas [27]. Tačiau šiose

šalyse darbo drabužių gamybos segmentas dažniau įtraukiamas į bendrą tekstilės kategoriją, o ne nagrinėjamas atskirai.

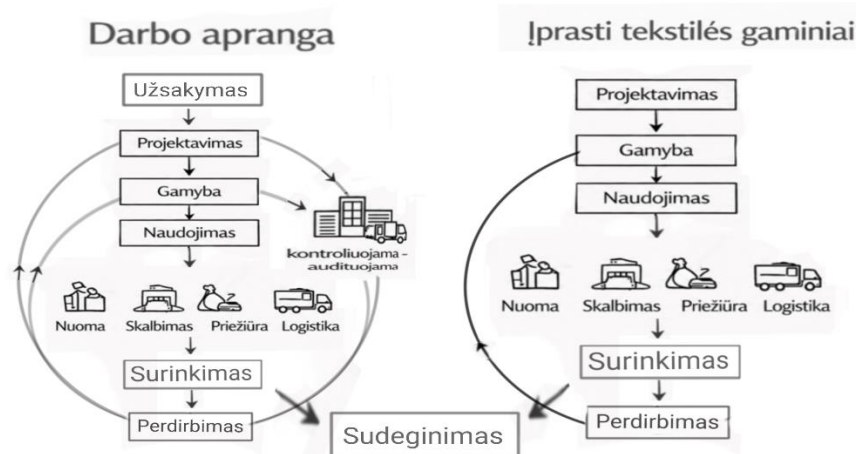
Apžvelgus bendrus ES tvarių viešųjų pirkimų duomenis matyti, ŽVP yra svarbi sisteminė priemonė, kuri skatina gilintis į žaliosios transformacijos procesus, labiau orientuotis į aplinkosauginius ir socialinius kriterijus, o tai veikia bendrą rinkos transformacijos mechanizmą [25]. Atitiktis taip pat gali būti įrodoma naudojant ES ekologinis ženklus (angl. k.:*Ecolabel*) ar kitus I tipo ekologinius ženklus [29]. Tai galima suprasti, kad tvarūs viešieji pirkimai nėra vien teorinis principas, pirmieji žingsniai jau žengti ir jie jau veikia kaip praktinis įgyvendinimo instrumentas. Viešojo sektoriaus keliama reikalavimai, orientuoti į būvio ciklo požiūrį ir aiškiai apibrėžtus aplinkosauginius kriterijus, prisideda prie sistemingesnio žiedinės ekonomikos principų taikymo praktikoje. Tvarių viešųjų pirkimų stiprinimas tekstilės sektoriuje vis labiau suvokiamas kaip aktyvi rinkos formavimo priemonė, galinti nukreipti gamintojų sprendimus tvaresne kryptimi.

1.3. Darbo drabužių vertės grandinės struktūra

Darbo drabužių vertės grandinė apima tarpusavyje susijusius etapus: žaliavų tiekimą, audinių ir priedų gamybą, siuvimą, pakavimą, platinimą ir naudojimą, taip pat būvio ciklo pabaigos scenarijus [30]. Nuo kitų tekstilės gaminių darbo drabužiai pirmiausia skiriasi tuo, kad jie kuriami rizikai mažinti. Su šiuo pagrindiniu tikslu siejami ir kiti sprendimai – specifinių, didesnę atsparumą turinčių medžiagų panaudojimas, funkcionalių konstrukcinių sprendimų taikymas (sustiprinimai, papildomos detalės), apsauginių savybių integravimas. Taigi, visas gaminio būvio ciklas yra apgalvotas ir kontroliuojamas [30]. Be to, darbo drabužiai turi turėti specialias žymas ir ypatybes, ko įprasti tekstilės gaminiai dažniausiai neturi:

- privalomus saugos standartus ir sertifikavimą;
- užtikrintą apsauginių savybių veikimą (ne tik galimybę);
- centralizuotą priežiūrą (skalbimas, taisymas, keitimas);
- sistemingą surinkimą po naudojimo;
- uždaro ciklo valdymą (grąžinimą, pakartotinį naudojimą, perdirbimą) [30].

Būtent šiuos, specializuotos tekstilės gamybos ir apdirbimo etapus, atskleidžia pirmo paveikslas darbo drabužių ir įprastų tekstilės gaminių vertės grandinių palyginimas (žiūrėti 1 paveikslą). Matyti, kaip nuosekliai valdomo ciklo dalis, kur kiekvienas etapas (nuo projektavimo iki perdirbimo) prisideda prie saugumo ir ilgaamžiškumo užtikrinimo, priešingai nei įprastų tekstilės gaminių atveju [31]. Paveikslas atspindi apibendrintą darbo aprangos ir įprastos tekstilės gaminių būvio ciklo modelį, tačiau realiame kontekste galimi įvairūs procesų ir prioritetų variantai, priklausantys nuo ekonominių, technologinių ir tvarumo aspektų.



1 pav. Darbo drabužių ir įprastų tekstilės gaminių vertės grandinė

Schema sudaryta autoriaus, naudojant „ChatGPT“ sugeneruotus paveikslėlius [32].

Šių etapų visuma sudaro produkto būvio ciklą, kurio analizė leidžia įvertinti aplinkosauginį poveikį visoje sistemoje, o ne tik atskirose jos dalyse. Būvio ciklo požiūrio metodika padeda identifikuoti poveikio perkėlimo riziką ir nustatyti didžiausią poveikį darančius etapus [33].

Žaliavų tiekimo etapas apima natūralių ir sintetinių pluoštų gamybą. Gamyba eikvoja didelius energijos, vandens ir cheminių medžiagų kiekius. Tekstilės sektorius yra viena iš labiausiai aplinką veikiančių pramonės šakų - jis pasižymi aukštu vandens ir energijos intensyvumu bei reikšmingomis šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijomis [34]. Sintetiniai pluoštai gaminami iš iškastinio kuro, kurio gavyboje susidaro didelės anglies dioksido emisijos. Natūralūs pluoštų gamyba susijusi su žemės naudojimu, todėl užterštumas kyla iš naudojamų pesticidų ir vandens vartojimo. LCA tyrimai rodo, kad žaliavų gamyba dažnai sudaro reikšmingą viso tekstilės gaminio poveikio dalį klimato kaitos ir toksiškumo kategorijose [35].

Audinių gamyba – dažymas ir apdaila yra vienas iš aplinkosauginiu požiūriu intensyviausių etapų. Ypač reikšmingi yra šlapieji procesai (dažymas, apdaila), kurie sukelia vandens taršą ir reikalauja didelių energijos sąnaudų [34]. Cheminių medžiagų naudojimas šiame etape turi būti vertinamas sistemiskai, nes jų poveikis gali turėti ilgalaikių ekologinių ir sveikatos pasekmių [35].

Priedų gamyba (užtrauktukai, sagos, atspindinčios juostos, metalinės detalės, velcro juostos, gumos) padidina produkto funkcionalumą, tačiau kartu apsunkina perdirbimą ir medžiagų atskyrimą būvio ciklo pabaigoje. Mišri medžiagų sudėtis ir sudėtinga konstrukcija laikoma viena pagrindinių kliūčių efektyviam tekstilės perdirbimui [33].

Siuvimo ir surinkimo etapas apima audinių sukirpimą, siuvimą, kokybės kontrolę ir pakavimą. Šiame etape susidaro gamybos atliekos, kurių didžiąją dalį sudaro sukirpimo atraižos. Atliekų prevencija, efektyvus išteklių naudojimas ir skaitmeninis projektavimas gali sumažinti šio etapo poveikį. Tyrimai rodo, kad reikšminga dalis pirminių žaliavų gali būti prarandama gamybos procese [34].

Platinimo ir naudojimo etapas apima transportavimą, sandėliavimą, naudojimą bei priežiūrą (skalavimą, džiovinimą, remontą). Darbo drabužiai dažnai pasižymi intensyviu skalbimu, ypač taikant pramoninių skalbyklų ar nuomos modelius. Ilgaamžiškumo didinimas ir paslaugų modeliai gali reikšmingai sumažinti bendrą aplinkosauginį poveikį, nes produkto naudojimo pratęsimas sumažina naujų žaliavų poreikį [36].

Darbo drabužių būvio ciklo pabaigos etapas yra vienas sudėtingiausių vertės grandinėje, nes būtent šiame etape susikerta techniniai, ekonominiai ir aplinkosauginiai veiksniai. Darbo drabužiai pasižymi mišria pluoštine sudėtimi, papildomais komponentais bei įvairias cheminius apdorojimus (antipireninės, hidrofobinės ar antibakterinės dangos). Tai apsunkina medžiagų atskyrimą ir mažina perdirbimo efektyvumą.

LCA pagrindu atlikti tekstilės atliekų valdymo tyrimai rodo, kad didžiausią aplinkosauginę naudą suteikia naudojimo trukmės pratęsimas, taip išvengiama naujo produkto gamybos ir su ja susijusių emisijų [7]. Naudojimo trukmės pratęsimas gali būti įgyvendinamas šiais etapais:

- remonto ir atnaujinimo;
- drabužių perpardavimą ar atidavimą;
- nuomos ir paskolinimų sistemas.

Darbo drabužių sektoriuje ilgaamžiškumo didinimas ir remonto sprendimai gali turėti reikšmingą poveikį viso ciklo emisijų mažinimui [36]. Kai pakartotinis naudojimas nebeįmanomas dėl nusidėvėjimo ar saugos reikalavimų, taikomas perdirbimas:

- a) Mechaninis perdirbimas yra labiausiai paplitusi technologija, tačiau jo metu pluoštai sutrumpėja ir dažnai turi būti maišomi su pirminėmis žaliavomis, kad būtų išlaikytos mechaninės savybės [7].
- b) Cheminis perdirbimas leidžia suskaidyti pluoštus iki polimerų ar monomerų lygmens ir teoriškai užtikrina aukštesnės kokybės žaliavos atkūrimą. Technologija yra inovacinė, tačiau vis dar susiduria su ekonominiais ir technologiniais iššūkiais, ypač kai produktai yra sudėtingos sudėties [7].

Tekstilės gaminių gamyba naudojant perdirbtą pluoštą dažniausiai sukelia mažesnę klimato kaitos poveikį nei gamyba iš pirminių žaliavų, tačiau rezultatai priklauso nuo kelių svarbių kintamųjų:

- perdirbimo proceso išeigos;
- energijos šaltinio;
- kiek perdirbtos medžiagos pakeičia pirminę žaliavą rinkoje;
- transportavimo atstumų [7].

Darbo drabužių antrinį panaudojimo sudėtingumą kelia ir saugos bei higienos reikalavimai. Kai kuriais atvejais (pvz., cheminės ar medicininės paskirties drabužiai) pakartotinis naudojimas ar perdirbimas gali būti ribojamas dėl užterštumo rizikos.

1.4. Būvio ciklo analizės metodologiniai principai darbo drabužių sektoriuje

LCA yra ISO 14040 ir ISO 14044 standartais pagrįsta metodika, leidžianti sistemingai ir kiekybiškai įvertinti produkto ar paslaugos aplinkosauginį poveikį viso būvio ciklo metu. LCA metodas grindžiamas „nuo lopšio iki kapo“ arba „nuo lopšio iki lopšio“ principu ir siekia išvengti poveikio

perkėlimo tarp skirtingų būvio ciklo etapų ar poveikio kategorijų [35]. Tekstilės sektoriuje ši metodika yra ypač aktuali, nes tekstilės gamyba pasižymi dideliu energijos ir vandens suvartojimu, reikšmingomis šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijomis bei intensyviu cheminių medžiagų naudojimu [34].

Darbo drabužių sektoriuje LCA metodika ypač svarbi todėl [6], kad šių gaminių naudojimo ciklas dažnai skiriasi nuo įprastų vartotojų drabužių. Darbo drabužiai paprastai naudojami intensyviau, dažniau skalbiami, prižiūrimi centralizuotai, remontuojami arba keičiami pagal higienos ir saugos reikalavimus. Dėl šios priežasties vien tik gamybos etapo vertinimas nepakankamai atspindi bendrą poveikį aplinkai. Reikšminga poveikio dalis gali susidaryti naudojimo fazėje – skalbiant, džiovinant, transportuojant ir prižiūrint gaminius.

Tai patvirtina naujausias Wagner ir bendraautorių tyrimas [37], kuriame atliktas medicininių darbo drabužių būvio ciklo vertinimas. Tyrime analizuoti penki tipiniai medicininės aprangos gaminiai ir nustatyta, kad daugumoje poveikio kategorijų didžiausią įtaką turėjo naudojimo etapas, ypač skalbimas. Taip pat nustatyta, kad efektyviausios poveikio mažinimo priemonės buvo energijos vartojimo mažinimas, efektyvesni skalbimo procesai ir medžiagų naudojimo optimizavimas. Derinant kelias priemones, kai kurių gaminių klimato kaitos potencialą buvo galima sumažinti daugiau kaip 70 % [37].

LCA metodologija susideda iš keturių pagrindinių etapų [6]: tikslo ir apimties nustatymo, būvio ciklo inventoriaus analizės LCI, poveikio aplinkai vertinimo LCIA ir rezultatų interpretacijos [35].

Tikslo ir apimties nustatymo etapas apibrėžia funkcinį vienetą, kuris turi atspindėti realią produkto paskirtį ir naudojimo intensyvumą. Vertinant darbo drabužius, funkcinis vienetas gali būti siejamas ne su vienu gaminiu, o su tam tikru naudojimo laikotarpiu, skalbimų skaičiumi ar darbuotojo aprūpinimu nustatytam laikui. Tai svarbu todėl, kad ilgaamžiškesnis gaminytis, naudojamas ilgiau, gali turėti mažesnę poveikį aplinkai nei pigesnis, tačiau dažniau keičiamas produktas [6].

LCI etapas apima visų medžiagų ir energijos srautų identifikavimą bei kiekybinį įvertinimą. Tekstilės gaminiuose didžiausi duomenų trūkumai dažnai susiję su dažymo, apdailos ir cheminių medžiagų naudojimo procesais. Tradicinės LCA duomenų bazės nepakankamai atspindi tekstilės chemikalų poveikį, todėl būtina sistemingai integruoti procesų lygmens inventorizacijos duomenis [35]. Darbo drabužių atveju, energijos srautai apima ne tik pirmines fazes – pluošto gamybą, audinio formavimą ir siuvimą, bet ir intensyvų naudojimą – pramoninį skalbimą, džiovinimą, remontą bei transportavimą. Darbo drabužių naudojimo fazė sudaro reikšmingą bendro poveikio dalį dėl dažno skalbimo aukštoje temperatūroje ir ilgesnio eksploatavimo laikotarpio [35].

LCA etapas inventorizacijos duomenis paverčia aplinkos poveikio rodikliais, tokiais kaip klimato kaitos potencialas (CO₂ ekv.), eutrofikacija, rūgštėjimas, vandens naudojimas ar toksiškumas. Atliekų tvarkymo ir žiedinių scenarijų skaičiavimuose ypatingą reikšmę turi prielaidos dėl perdirbimo išėigos. Tekstilės LCA rezultatai yra itin jautrūs šioms prielaidoms, ypač pakartotinis panaudojimo ir perdirbimo scenarijuose [7]. Ilgaamžiškumas veikia bendrą poveikį aplinkai, todėl nustatomi keli trukmės scenarijai ir jie modeliuojami.

Rezultatų interpretacija – apima jautrumo analizę, neapibrėžtumo vertinimą ir rekomendacijų formulavimą. Darbo drabužių sektoriuje interpretacija turi atsižvelgti į sisteminių požiūrį ir vertės

išsaugojimo strategijas [7]. LCA rezultatai gali tapti pagrindu išplėstinės gamintojo atsakomybės EPR sistemoms, kai mokesčiai diferencijuojami pagal produkto ilgaamžiškumą ar perdirbamumą [38].

1.5. Žiediško strategijos darbo drabužių sistemoje

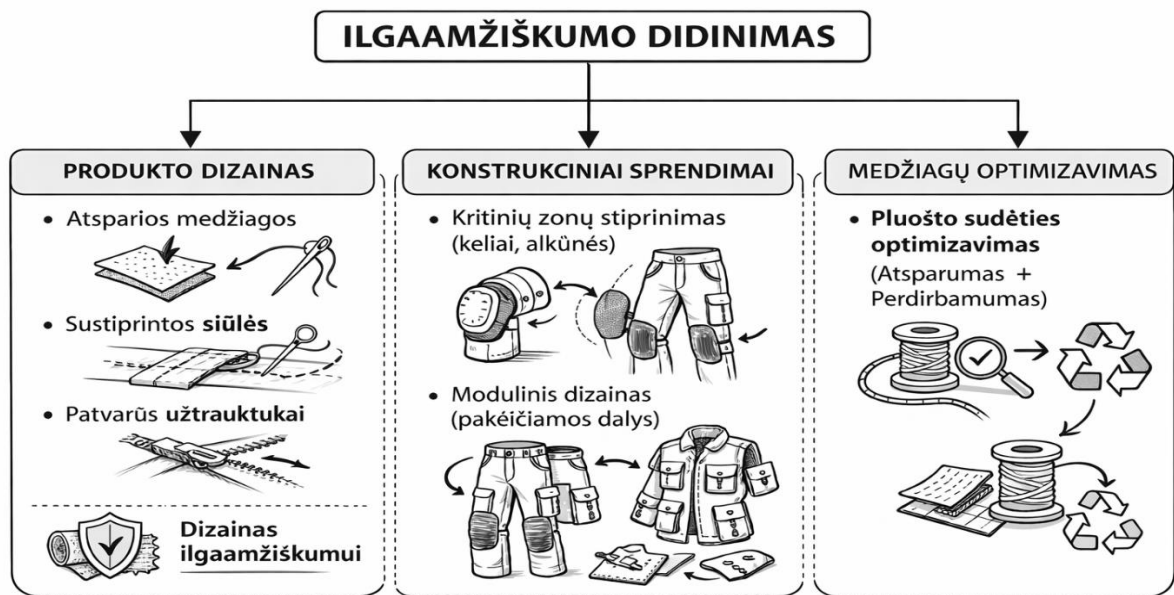
Ilgesnis naudojimo laikotarpis, intensyvi eksploatacija, B2B verslo modeliai bei centralizuota priežiūra – yra pagrindiniai kriterijai tekstilės pramonės segmente, kurie skatina pereiti nuo linijinio modelio prie žiedinės sistemos, kur prioritetas vertės išsaugojimui, išteklių efektyvumui ir poveikio aplinkai mažinimui [31]. Žiediško strategijos darbo drabužių sistemoje gali būti analizuojamos remiantis vertės išsaugojimo hierarchija, pagal kurią didžiausia aplinkosauginė nauda pasiekama išlaikant produkto funkciją kuo ilgiau. Ilgaamžiškumas, remontas ir pakartotinis naudojimas laikomi efektyvesnėmis strategijomis nei perdirbimas ar energijos atgavimas [39].

Tai patvirtina ir medžiagų srautų analizės MFA tyrimas “ Žiedinės darbo drabužių tekstilės tvarkymo poreikių nustatymas – darbo drabužių tekstilės atliekų medžiagų srautų analizė Šveicarijos įmonėse ” [31], kuriame nustatyta, kad darbo drabužių tekstilės srautai šiuo metu nėra optimaliai išnaudojami žiediško požiūriu, nes didelė jų dalis būvio ciklo pabaigoje nukreipiama į šalinimą arba žemos vertės perdirbimą, o aukštesnės vertės strategijos – pakartotinis naudojimas ir remontas – taikomos ribotai [31]. Tyrime taip pat pabrėžiama, kad nors darbo drabužių sistemos dažnai pasižymi centralizuotu valdymu, vis dar trūksta efektyvių surinkimo, rūšiavimo ir medžiagų identifikavimo sprendimų, kurie leistų išlaikyti produktų vertę ilgesnį laiką [31].

Be to, MFA rezultatai išryškina, kad siekiant efektyvaus perėjimo prie žiedinės sistemos būtina gerinti medžiagų srautų stebėseną bei diegti sisteminius sprendimus visame būvio cikle, kas sudarytų sąlygas efektyviau taikyti ilgaamžiškumo ir pakartotinio naudojimo strategijas [31].

1.5.1. Ilgaamžiškumo didinimas

Vienas pagrindinių žiedinės ekonomikos principų yra produktų naudojimo trukmės pratęsimas, siekiant sumažinti naujų gaminių poreikį ir su tuo susijusį pirminių žaliavų naudojimą (žr. 2 pav.). Tekstilės sektoriuje šis principas, dėl didelio poveikio aplinkai, yra ypač svarbus visoje vertės grandinėje ir poveikis pasireiškia visuose būvio ciklo etapuose – nuo žaliavų gavybos iki atliekų tvarkymo [40].



2 pav. Ilgaamžiškumo didinimo pavyzdys [32]

Paveikslas (žr. 2 pav) sugeneruotas naudojant „ChatGPT“ (OpenAI) pagal šią užklausą:

Sukurti nespaltotą infografiką apie darbo drabužių ilgaamžiškumo didinimą. Pavaizduoti tris pagrindines kryptis: produkto dizainą, konstrukcinius sprendimus ir medžiagų optimizavimą. Įtraukti atsparias medžiagas, sustiprintas siūles, patvarius užtrauktukus, kritinių zonų stiprinimą, modulinį dizainą ir pluošto sudėties optimizavimą. Vizualinis stilius – akademinis, techninis, aiškus, tinkamas magistro darbui [32].

Ilgaamžiškumo didinimas šiame kontekste laikomas viena esminių strategijų mažinant aplinkosauginį poveikį. Tai reiškia, kad kuo ilgiau drabužis išlieka naudojamas, tuo mažesnis bendras jo poveikis aplinkai, nes sumažėja naujos gamybos poreikis ir su tuo susiję ištekliai. Tyrimuose pabrėžiama, kad ilgesnis naudojimo laikotarpis leidžia lėtinti medžiagų srautus ekonomikoje ir mažinti tekstilės atliekų susidarymą, kuris išlieka viena didžiausių sektoriaus problemų [40].

Šis principas taip pat glaudžiai susijęs su vartojimo mažinimu. Ilgesnis drabužių naudojimas tiesiogiai mažina tiek atliekų susidarymą, tiek naujų produktų gamybos apimtį, kurios yra pagrindinis aplinkos apkrovos šaltinis tekstilės sektoriuje [40]. Todėl darbo drabužių sektoriuje ilgaamžiškumas tampa ne tik aplinkosauginiu, bet ir ekonominiu prioritetu, nes rečiau keičiami gaminiai mažina pirkimo, logistikos ir atliekų tvarkymo sąnaudas [40].

Darbo drabužių ilgaamžiškumas gali būti didinamas taikant įvairias strategijas viso būvio ciklo metu. Svarbiausios kryptys apima:

- aukštos kokybės medžiagų ir gamybos technologijų pasirinkimą, užtikrinant fizinį patvarumą;
- taisomumo ir priežiūros galimybių integravimą;
- dizainą, orientuotą į ilgesnį naudojimą (klasikinis stilius, universalumas);

- alternatyvius verslo modelius, tokius kaip pakartotinis naudojimas, nuoma ar C2C platformos.

Santofimio Varón tyrime išskiriami ir kiti ilgaamžiškumo aspektai: emocinis patvarumas, kai vartotojas išlaiko ryšį su gaminiu ir jo neatsisako anksčiau laiko, prisitaikomumas (moduliarumas, universalus dydis), aiškios priežiūros instrukcijos bei remonto paslaugų prieinamumas. Tai rodo, kad ilgaamžiškumą lemia ne vien techninės savybės, bet ir vartotojo elgsena bei paslaugų infrastruktūra [40].

Be to, empiriniai rezultatai patvirtina ilgaamžiškumo strategijų efektyvumą kiekybiškai. Nustatyta, kad vienos poliesterio suknelės ilgalaikis naudojimas, perkant ją pakartotinai C2C platformoje, gali sumažinti poveikį aplinkai 68 % [40]. Tai rodo, kad naudojimo fazės pratęsimas yra viena efektyviausių priemonių mažinant tekstilės produktų poveikį aplinkai. Santofimio Varón tyrime taip pat nustatyta, kad papildomą naudą suteikia perdirbtų žaliavų naudojimas ir tvaresni gamybos procesai, todėl geriausi rezultatai pasiekiami taikant kelių priemonių derinį vienu metu [40].

ES esama sėkmingai veikiančių kompanijų, kurios orientuotos į visus žiedinės ekonomikos principų ilgaamžiškumo aspektus, apimančius patvarumą, pritaikomumą ir priežiūros paslaugų prieinamumą. Pavyzdžiui, kompanijos Elis, teikiančios darbo drabužių nuomos ir priežiūros paslaugas Europoje [41], modelis apima visą ciklą: drabužių projektavimą, nuomą, reguliarią priežiūrą (skalbimą), taisymą ir galutinį perdirbimą. Kompanijos Cintas (JAV) [42], veikiančios pagal nuomos ir pilno aptarnavimo modelį, t. y., tiekiančios darbo drabužius bei vykdančios jų surinkimą, pramoninį skalbimą, taisymą bei pakartotinį paskirstymą [42], ataskaitų duomenimis, toks klientų aptarnavimo sistema leidžia sumažinti tekstilės atliekas ir užtikrinti ilgesnį drabužių būvio ciklą, nes kiekvienas vienetas yra naudojamas maksimaliai ilgai prieš pašalinimą. Kompanijos Lindström modelis, kuris dažnai cituojamas mokslinėje literatūroje kaip žiedinės ekonomikos pavyzdys tekstilės sektoriuje, taiko tekstilės paslaugą (angl. k.: *textile-as-a-service*), principą: klientai moka už naudojimą, o ne už produktą [43].

Remiantis EEA ataskaitomis, tokie modeliai leidžia optimizuoti skalbimo procesus (mažesnis vandens ir energijos sunaudojimas vienam vienetui) ir prailginti gaminių naudojimo laiką, taip sumažinant bendrą poveikį aplinkai [15].

Svarbi ilgaamžiškumo sąlyga yra ir atsekamumas po produkto pardavimo. Tyrimuose pažymima, kad po įsigijimo trūksta duomenų apie realų drabužių naudojimo laiką, skalbimo dažnį, remontą ar pakartotinį naudojimą. Dėl to sudėtinga tiksliai vertinti tikrąjį gaminių ilgaamžiškumą ir aplinkosauginį poveikį. Šiai problemai spręsti siūlomas skaitmeninio produkto paso taikymas, kuris galėtų pagerinti duomenų surinkimą ir valdymą viso būviociklo metu [40].

Apibendrinant galima teigti, kad darbo drabužių ilgaamžiškumo didinimas yra ne tik dizaino ar technologinis sprendimas, bet kompleksinė strategija, apimanti visą vertės grandinę – nuo gamybos iki vartojimo elgsenos. Būtent todėl ilgaamžiškumas laikomas viena kertinių žiedinės ekonomikos prielaidų tekstilės sektoriuje.

1.5.2. Remontas ir priežiūra

Remonto ir priežiūros metu produktas išlaiko savo pirminę funkciją ir partęsimas būvio ciklas, tai aukštesnės vertės išsaugojimo strategija nei perdirbimas. Darbo drabužių sektoriuje ši strategija yra

ypač perspektyvi, tačiau pirmiausia taikoma standartizuotiems, daugkartinio naudojimo darbo drabužiams, kuriems organizuojamas centralizuotas tiekimas ir skalbimas, pavyzdžiui: pramoniniams darbo kostiumams (švarkas ir kelnės), aukšto matomumo drabužiams (liemenės, striukės), sveikatos priežiūros tekstilei (medicininiai chalatai, operaciniai drabužiai), taip pat maisto pramonės darbuotojų aprangai (chalatai, kepurės, prijuostės). Šie gaminiai cirkuliuoja uždarose sistemoje: reguliariai surenkami iš naudotojų, skalbiami, tikrinami ir remontuojami specializuotuose centruose, todėl jų būvio ciklas gali būti sistemingai prailginamas.

Tyrimai rodo, kad remonto paslaugų integravimas į verslo modelį padeda išlaikyti produktus naudojime ilgiau ir sumažina poreikį naujai gamybai [36].

Remonto efektyvumą lemia:

- dizainas, leidžiantis lengvai išardyti gaminį;
- atsarginių komponentų prieinamumas;
- profesionalios pramoninės priežiūros sistemos;
- naudojimo monitoringas (skaitmeniniai sprendimai, RFID).

Priežiūros optimizavimas (temperatūros kontrolė, efektyvūs skalbimo ciklai, vandens ir energijos taupymas) taip pat mažina naudojimo fazės poveikį aplinkai, kuris tekstilėje gali būti reikšmingas [34].

1.5.3. Pakartotinis naudojimas

Pakartotinis naudojimas – tai efektyvi žiedinė strategija, išlaikanti pirminę produkto funkciją, kartu leidžia išvengti perdirbimo procesų ir kitų gamtai žalingų panaudos būdų. Darbo drabužių segmente pakartotinis naudojimas yra ypač tinkamas, nes produktų srautai yra aiškiai valdomi, o drabužiai nėra stipriai individualizuoti, kaip mados sektoriuje [7].

B2B darbo drabužių sistemoje antrinis panaudojimas gali būti organizuojamas per: nuomos modelius, centralizuotas surinkimo ir persikirstymo sistemas, atnaujintų (refurbished) drabužių grąžinimą į rinką. Tinkamai suprojektuoti ir išbandyti žiediniai tekstilės produktai gali atitikti kokybės reikalavimus ir turėti geresnį aplinkosauginį profilį nei konvenciniai gaminiai [39]. Perdirbimo efektyvumas tiesiogiai priklauso nuo:

- higienos standartų;
- medžiagų patvarumo;
- logistikos sistemos efektyvumo;
- vartotojų (darbuotojų) priėmimo.

1.5.4. Perdirbimas ir medžiagų atgavimas

Perdirbimas laikomas mažiau prioritetine žiedinės ekonomikos strategija nei ilgaamžiškumo didinimas ar pakartotinis naudojimas, nes išsaugoma didesnė produkto vertė ir išvengiama naujos gamybos poreikio. Vis dėlto perdirbimas tampa būtinas tada, kai gaminys nebegali atlikti savo pirminės funkcijos ir jo neįmanoma nei pataisyti, nei pakartotinai naudoti. Tokiu atveju medžiagų atgavimas leidžia bent iš dalies sumažinti pirminių žaliavų naudojimą ir atliekų kiekį [44].

Tekstilėje išskiriami du pagrindiniai perdirbimo tipai: mechaninis perdirbimas – pluošto susmulkinimas ir pakartotinis verpimas; cheminis perdirbimas – polimerų depolimerizacija ir

aukštesnės kokybės žaliavos atkūrimas. Uždaro ciklo modeliai ir prieš vartotoją atliekų atgavimas turi reikšmingą potencialą mažinti išteklių naudojimą tekstilės gamyboje [34].

Vis dėlto darbo drabužių sektoriuje perdirbimo procesą reikšmingai apsunkina keli veiksniai: mišri pluoštų sudėtis, pavyzdžiui, poliesterio ir medvilnės mišiniai, įvairios funkcionalios dangos, suteikiančios atsparumą ugniai ar vandeniui, taip pat papildomi priedai ir aksesuarai. Dėl šių priešasčių efektyvus perdirbimas tampa sudėtingesnis ir reikalauja nuoseklių sprendimų, tokių kaip medžiagų standartizacija, skaidri tiekimo grandinė bei skaitmeninių technologijų taikymas, leidžiantis sekti produkto informaciją viso jo būvio ciklo metu. Žiedinės ekonomikos principais grindžiamos B2B iniciatyvos rodo, kad cheminio perdirbimo sprendimai gali pasižymėti geresniu aplinkosauginiu profiliumi nei tradiciniai modeliai, tačiau esminiu veiksniu išlieka naudojamų pluoštų sudėtis [39].

1.5.5. Žiediško rodikliai ir jų integracija į skaitmeninį produkto pasą

Žiediško strategijų įgyvendinimas reikalauja ne tik tvarumo principų taikymo, bet ir jų kiekybinio vertinimo. Svarbūs tampa žiediško rodikliai, leidžiantys įvertinti, kiek produktas atitinka žiedinės ekonomikos principus. Tokie rodikliai apima produkto ilgaamžiškumą, remonto galimybes, pakartotinio naudojimo potencialą, perdirbamumą bei perdirbtų medžiagų dalį [13]. Tekstilės sektoriuje žiediško vertinimui taip pat taikomi papildomi rodikliai: klimato kaitos potencialas (CO₂ ekv.), energijos ir vandens suvartojimas, atliekų susidarymas bei medžiagų naudojimo efektyvumas. Šie rodikliai leidžia įvertinti ne tik produkto žiedišumą, bet ir jo poveikį aplinkai viso būvio ciklo metu [45].

Darbo drabužių gaminiams papildomai svarbūs eksploataciniai rodikliai: skalbimo ciklų skaičius, remonto dažnumas, naudojimo intensyvumas ir faktinė tarnavimo trukmė. Kadangi šie gaminiai dažnai valdomi centralizuotai, jų duomenys gali būti tiksliau stebimi ir analizuojami [43]. Skaitmeninis produkto pasas SPP leidžia integruoti šiuos rodiklius į vieningą duomenų sistemą, kurioje kaupiama informacija apie medžiagų sudėtį, naudojimo trukmę, remonto istoriją ir galimus būvio ciklo pabaigos scenarijus. Tokiu būdu žiediškas tampa ne tik teoriniu principu, bet ir duomenimis pagrįstu vertinimo bei sprendimų priėmimo įrankiu [13].

SPP taip pat sudaro galimybes kaupti informaciją apie perdirbtų medžiagų kiekį, anglies pėdsaką, priežiūros rekomendacijas ir produkto tinkamumą perdirbti, todėl sprendimai gali būti priimami remiantis objektyviais duomenimis [1]. Integruojant žiediško rodiklius į SPP suteikia galimybę sistemingai analizuoti produkto efektyvumą visoje vertės grandinėje ir priimti sprendimus, orientuotus į ilgesnį naudojimą, efektyvesnį išteklių panaudojimą ir mažesnę aplinkosauginį poveikį [12].

1.6. Empirinių tyrimų ir pilotinių skaitmeninio produkto paso atvejų analizė

1.6.1. Technologiniai sprendimai ir jų praktinis pritaikymas

Tekstilės pramonės tiekimo grandinės pasižymi sudėtinga kelių grandžių sistema ir geografiniu išskaidymu, apimančiu žaliavų tiekėjus, verpimo, audimo, apdailos, siuvimo, logistikos ir mažmeninės prekybos etapus, kurie dažnai įtakojami skirtingų šalių įstatymais ir nusistovėjusiomis

tvarkomis [46]. Tokia struktūra lemia informacijos nevientisumą ir apsunkina nuoseklių duomenų judėjimą tarp vertės grandinės dalyvių [46, 47].

Tekstilės sektoriuje esantis nepakankamas skaidrumas apsunkina tiek produkto autentiškumo, tiek tvarumo rodiklių patikrinimą, o tradicinės informacinės sistemos ne visada leidžia užtikrinti duomenų nekintamumą ir patikimumą [48]. Dėl to SPP kontekste technologinė infrastruktūra turi būti projektuojama taip, kad užtikrintų ne tik duomenų prieinamumą, bet ir jų integralumą bei apsaugą nuo manipuliavimo.

Papildomą reikšmę technologiniai sprendimai įgauna vertinant aplinkosauginį poveikį. Ekologinio pėdsako apskaičiavimas reikalauja tikslų ir nuoseklių duomenų apie žaliavų kilmę, energijos sąnaudas, transporto procesus, cheminių medžiagų naudojimą bei produkto naudojimo ir pabaigos fazes [2]. Jei duomenys yra nevientisi arba nesuderinami tarp skirtingų sistemų, LCA rezultatai gali būti nepakankamai tikslūs arba nepatikimi. Atsekamumo sistemos leidžia chronologiškai fiksuoti sandorius ir medžiagų judėjimą daugiapakopėje tekstilės tiekimo grandinėje, taip kuriant nekintamą duomenų grandinę [49]. Toks modelis sudaro sąlygas patikimesniam aplinkosauginių duomenų auditavimui ir atsekamumui.

Technologinės infrastruktūros svarbą patvirtina ir sektoriaus parengties tyrimai. SPP parengties vertinimas rodo, kad nors didelė dalis tekstilės įmonių jau naudoja ERP ar kitas skaitmenines duomenų valdymo sistemas, tik nedidelė dalis jų atitinka pažangius sąveikumo ir standartizuoto duomenų apsikeitimo reikalavimus [50]. Technologinė bazė egzistuoja, tačiau jos pritaikymas integruotam ir tarpusavyje suderintam duomenų mainų modeliui dar nėra pakankamas.

1.6.2. Centralizuotos ir decentralizuotos duomenų bazės

Tekstilės ir aprangos sektorius susiduria su opia atsekamumo ir informacijos asimetrijos problema, kuri apsunkina tiek autentiškumo, tiek tvarumo patvirtinimą [48]. Tradicinės centralizuotos informacinės sistemos dažnai riboja duomenų skaidrumą ir kelia manipuliavimo riziką, nes duomenų kontrolė išlieka vienos organizacijos ar platformos rankose.

Blokų grandinės (angl. k.:*Blockchain*) pagrindu veikiančios decentralizuotos architektūros siūlo daugiapakopę tekstilės tiekimo grandinės atsekamumo sistemą, kurioje paskirstytas registras leidžia chronologiškai ir nekintamai fiksuoti sandorius bei medžiagų judėjimą [48]. Tai ypač aktualu ekologinio pėdsako kontekste, nes leidžia išsaugoti duomenų vientisumą apie žaliavų kilmę, perdirbimo procesus, energijos naudojimą ar emisijas. Vertinimo tikslumas tiesiogiai priklauso nuo šio detalumo – granuliarumas (angl. k.:*granularity*) – koku lygmeniu produktas yra sekamas (pluošto, verpalų, audinio ar galutinio gaminio lygmens) [49]. Jei duomenys kaupiami tik galutinio produkto stadijoje, tampa sudėtinga įvertinti realų žaliavų ar tarpinių procesų poveikį aplinkai.

1.6.3. QR, RFID ir kitos identifikavimo technologijų taikymas

Fizinio produkto susiejimas su skaitmenine informacija yra esminė skaitmeninio produkto paso funkcionavimo sąlyga. Identifikavimo sprendimai leidžia užtikrinti duomenų tęstinumą per visą produkto būvio ciklą. Plačiausiai taikomos technologijos yra brūkšniniai kodai, QR kodai bei radijo dažnio identifikavimo RDAS sistemos [51].

Tradicinės identifikavimo priemonės, tokios kaip brūkšniniai kodai ir RDAS, jau plačiai naudojamos tekstilės ir aprangos tiekimo grandinėse duomenų rinkimui ir atsekamumui užtikrinti, tačiau jų efektyvumas priklauso nuo duomenų integracijos bei tarporganizacinio bendradarbiavimo [48]. Šios technologijos, dėl aukštesnio pasitikėjimo lygio, sudaro pagrindą tiekimo grandinės skaidrumui, tačiau būtina integracija su pažangesnėmis skaitmeninėmis platformomis Clouds, Blockchain ir k.t. RDAS technologija leidžia automatizuotai identifikuoti ir sekti objektus radijo dažnių pagalba be tiesioginio vizualinio kontakto. Skirtingai nei brūkšniniai kodai ar QR kodai, RDAS gali būti nuskaityta masiškai ir per atstumą, o tai reikšmingai didina inventorizacijos efektyvumą ir duomenų tikslumą. Sisteminė analizė rodo, kad RDAS diegimas aprangos sektoriuje pagerina atsargų valdymą, mažina klaidų skaičių ir stiprina tiekimo grandinės matomumą, o kartu turi ir platesnį tvarumo potencialą – ypač aplinkosauginiu bei ekonominiu aspektu [52].

QR kodai tekstilės sektoriuje dažniausiai naudojami kaip sąsaja tarp vartotojo ir produkto skaitmeninės informacijos. Jie suteikia galimybę galutiniam vartotojui ar priežiūros institucijoms tiesiogiai pasiekti duomenis apie medžiagų sudėtį, sertifikatus ar perdirbimo instrukcijas. Identifikavimo mechanizmai (įskaitant QR, NFC ir kitus identifikatorius) laikomi būtinu SPP architektūros elementu [50], užtikrinančiu duomenų prieinamumą ir sąveikumą tarp skirtingų sistemos dalyvių [50].

Siejant su LCA, identifikavimo technologijos atlieka papildomą funkciją – renka duomenis apie produkto naudojimo fazę. Integruojant RDAS ar QR su debesų sistemomis galima fiksuoti remonto istoriją, pakartotinį naudojimą ar net eksploatacijos trukmę. Tokie duomenys yra reikšmingi būvio ciklo vertinimui LCA, nes reali naudojimo trukmė ir vartojimo intensyvumas turi tiesioginį poveikį bendram produkto aplinkos poveikiui.

1.6.4. Integracija su įmonės išteklių planavimo sistema ir tiekimo grandinės valdymo sistemomis

Technologiniai sprendimai negali veikti izoliuotai nuo esamų įmonių informacinių sistemų. ERP sistemos jau dabar plačiai naudojamos tekstilės sektoriuje sandorių, atsargų, gamybos ir tiekimo duomenų valdymui. ERP naudojimas yra paplitęs, tačiau daug įmonių vis dar remiasi ne struktūrizuotais duomenų formatais (pvz., Excel), kurie nėra tinkami automatizuotam ir sąveikiam duomenų perdavimui [50]. Įmonės deklaruoja pasirengimą diegti SPP, tačiau jų techninė infrastruktūra neatitinka realių reikalavimų.

Blockchain pagrindu siūlomos sistemos gali veikti kaip tarpninkas tarp skirtingų ERP sistemų, užtikrindamos bendrą, nekintamą duomenų versiją visiems tiekimo grandinės dalyviams [49]. Taip sudėliota sistema leidžia sujungti skirtingų organizacijų duomenų bazines, užtikrinti sandorių atitikimą reikalavimams ir automatizuoti atitikties patikras per išmaniąsias sutartis.

1.6.5. Gamybos procesų stebėjimas kaip skaitmeninio produkto paso pagrindas: empirinių atvejų analizė

Gamybos procesų stebėjimas darbo drabužių sektoriuje tampa esmine priemone, leidžiančia ne tik rinkti pirminius duomenis, bet ir kurti pagrindą skaitmeninio produkto paso sistemoms. Skirtingos įmonės šį procesą įgyvendina nevienodai, todėl jų praktikos leidžia identifikuoti skirtingus duomenų rinkimo ir panaudojimo modelius [17].

Fristads atvejis atspindi sisteminį požiūrį į stebėjimą, glaudžiai susietą su LCA ir aplinkosauginėmis deklaracijomis [53]. Čia duomenys renkami kiekviename gamybos etape – nuo žaliavų iki galutinio apdorojimo – ir apima energijos, vandens sąnaudas, medžiagas bei emisijas. Skirtingai nei teoriniuose modeliuose, kur duomenys dažnai analizuojami atskirai, šiuo atveju jie agreguojami ir naudojami vertinant bendrą produkto poveikį [54]. Praktikoje kyla problema – duomenų suderinamumas. Kadangi dalis informacijos gaunama iš tiekėjų, jos kokybė priklauso nuo jų naudojamų sistemų ir standartų. Jei tiekėjai pateikia duomenis skirtingais formatais ar skirtingu detalumo lygiu, bendras modelis tampa labai netikslus, nepaisant to, kad pats stebėjimo principas yra nuoseklus [50].

Lindström atvejis išryškina kitą stebėjimo logiką, orientuotą į operacinį efektyvumą [50]. RFID žymekliai integruojami į kiekvieną gaminį ir leidžia automatiškai fiksuoti jo judėjimą gamybos metu. Skirtingai nei rankiniu būdu renkami duomenys, ši sistema sukuria nuoseklų produkto judėjimo žemėlapi, leidžiantį identifikuoti vėlavimus ar kokybės problemas [50]. Svarbu tai, kad šie duomenys nėra ribojami tik gamybos etapu, jie naudojami ir vėlesniuose cikluose – skalbimo, priežiūros ir pakartotinio naudojimo. Šis modelis sukuria uždara produkto stebėjimo sistemą orientuotą į proceso efektyvumą ne į turinio duomenis, todėl jo integracija į SPP reikalauja papildomų duomenų sluoksnių [55].

Honeywell atvejis atspindi dar labiau išplėstą stebėjimo modelį, apimančią ne tik gamybą, bet ir produkto naudojimo etapą [56]. Įdiegti sensoriai leidžia rinkti duomenis apie realias darbo sąlygas – temperatūrą, triukšmą, dujų koncentraciją, judėjimą ir t.t. Toks stebėjimas peržengia gamybos ribas ir tampa grįžtamojo ryšio mechanizmu [16]. Šiame modelyje surinkti duomenys naudojami – analizei, sprendimų priėmimui, pavyzdžių tobulinimui, tobulinant produktų dizainą ar parenkant medžiagas. Tačiau toks duomenų kiekis kelia papildomus iššūkius, susijusius su jų apdorojimu, saugojimu ir interpretacija, ypač kai duomenys generuojami realiu laiku [55].

Apibendrinant produkto stebėjimo modelius, galima teigti, kad technologiniai sprendimai skiriasi ne tik savo funkcionalumu, bet ir tuo, kokio tipo duomenis jie generuoja, kokiomis technologijomis kaupiama ir apdorojama informacija. Šie gaminių stebėjimo procesai tiesiogiai lemia, kokie gamybos procesų stebėjimo sprendimai darbo drabužių sektoriuje gali būti integruoti į SPP sistemas ir kokius iššūkius sukelia jų įgyvendinimas [2].

1.7. Literatūros analizės apibendrinimas

Literatūros analizėje nustatyta, kad darbo drabužių sektorius pasižymi specifine vertės grandinės struktūra, kuri skiriasi nuo įprastų tekstilės gaminių dėl didesnių kokybės, ilgaamžiškumo, saugos ir priežiūros reikalavimų [20, 30]. Darbo drabužiai dažnai valdomi centralizuotai – vykdomas jų paskirstymas, skalbimas, remontas, keitimas ir surinkimas pasibaigus naudojimui, todėl atsiranda galimybė efektyviau rinkti bei valdyti duomenis apie gaminio naudojimo ciklą [20]. Tai sudaro palankias sąlygas skaitmeninio produkto paso taikymui bei žiedinės ekonomikos principų integracijai darbo drabužių sistemoje.

Analizuoti šaltiniai parodė, kad reikšminga aplinkosauginio poveikio dalis tekstilės sektoriuje susidaro ne tik žaliavų gamybos, bet ir naudojimo bei priežiūros etapuose [35, 37]. Tyrimuose akcentuojama, kad skalbimo, džiovinimo, energijos ir vandens sąnaudos gali sudaryti didžiausią produkto poveikio aplinkai dalį, todėl svarbu vertinti visą gaminio būvio ciklą bei identifikuoti

didžiausią poveikį darančius etapus [37]. Nustatyta, kad pagrindiniai žiediškumą ribojantys veiksniai yra mišri medžiagų sudėtis, sudėtingas komponentų atskyrimas, bei ribotos tekstilės perdirbimo galimybės [7].

Literatūros analizė atskleidė, kad ES politikos kryptys ir reglamentavimo iniciatyvos orientuojasi į didesnę produktų atsekamumą, ilgaamžiškumą, perdirbamumą ir duomenų skaidrumą [13, 14]. Dėl šios priežasties skaitmeninis produkto pasas yra pagrindinė priemonė, padedanti įgyvendinti žiedinės ekonomikos principus tekstilės sektoriuje.

Literatūros analizės metu identifikuotos teorinės įžvalgos sudarė pagrindą šio magistrinio baigiamojo projekto tyrimui. Remiantis analizuota literatūra, tyrime pasirinkta vertinti uniforminio darbo drabužio būvio ciklo poveikį aplinkai, analizuoti žiediškumo rodiklius bei nustatyti, kaip ši informacija gali būti integruojama į skaitmeninio produkto paso struktūrą. Teorinėje dalyje išskirti pagrindiniai duomenų šaltiniai, aplinkosauginiai rodikliai ir žiediškumo principai tapo pagrindu praktinio tyrimo metodikai, scenarijų modeliavimui bei rekomendacinio skaitmeninio produkto paso duomenų modelio formavimui darbo drabužių sektoriuje.

2. Metodika

Tyrimo metodika grindžiama nuoseklia darbo drabužio būvio ciklo analize, duomenų struktūrizavimo seka, orientuota į vieno konkretaus gaminio išsamų įvertinimą tiek funkciniu, tiek aplinkosauginiu požiūriu. Metodika integruoja kelis tarpusavyje susijusius tyrimo metodus, kurie leidžia pereiti nuo pirminių duomenų identifikavimo iki galutinio sprendimo dėl gaminio tinkamumo, remiantis Žiedinės ekonomikos principais ir SPP formavimu. Tyrimo struktūra paremta sisteminiu požiūriu, kuriame kiekvienas etapas prisideda prie bendro rezultato – objektyvaus darbo drabužio įvertinimo. Tyrimas organizuojamas pagal seką, kuri apima visą procesą nuo pradinės informacijos surinkimo iki galutinio vertinimo ir duomenų pateikimo (žr.1 lentelę).

lentelė 1. Tyrimo seka

Etapo Nr.	Etapo veiksmas
1.	Gaminio duomenų nustatymas ir struktūrizavimas
2.	Būvio ciklo vertinimas (LCA)
3.	Žiediško vertinimas (MCI / ŽK)
4.	Duomenų sisteminimas
5.	Duomenų pateikimas skaitmeniniam produkto pasui

Pirmajame etape atliekamas gaminio duomenų nustatymas ir struktūrizavimas, apimantis darbo drabužio parinkimą, reikalingos informacijos surinkimą (žr. 1 priedą) ir jos suskirstymą į pagrindines kategorijas: medžiaginę sudėtį, konstrukcinius sprendimus, technologinius procesus ir naudojimo charakteristikas. Šiame etape siuvimo įmonė konsoliduoja tiekėjų ir gamybos duomenis, suformuodama vieningą produkto duomenų rinkinį, kuris naudojamas tolimesniems skaičiavimams.

Antrame etape atliekamas būvio ciklo vertinimas, siekiant nustatyti darbo drabužio poveikį aplinkai visais jo būvio ciklo etapais – nuo žaliavų gavimo ir gamybos iki naudojimo bei utilizavimo. LCA analizė leidžia apskaičiuoti CO₂ emisijas, energijos sąnaudas, vandens suvartojimą bei palyginti skirtingų produkto būvio ciklo etapų poveikį aplinkai. Šiam vertinimui pasirinkta programa (OpenLCA (CALC2 *software*)) [57], nes ji suteikia galimybę sistemingai atlikti aplinkosauginius skaičiavimus ir nustatyti, kuris būvio ciklo etapas sukuria didžiausią neigiamą poveikį aplinkai.

Trečiajame etape atliekamas žiediško vertinimas, kuriame analizuojama produkto konstrukcija ir medžiagų sudėtis, vertinant taisomumą, perdirbamumą ir ilgaamžiškumą. Remiantis šiais kriterijais apskaičiuojamas žiediško koeficientas (MCI / ŽK), leidžiantis kiekybiškai įvertinti gaminio atitikimą žiedinės ekonomikos principams [58].

Ketvirtajame etape atliekamas rezultatų sujungimas ir analizė, integruojant LCA ir žiediško vertinimo rezultatus bei nustatant pagrindinius poveikio šaltinius ir produkto apribojimus.

Penktame etape visi duomenys susiejami su konkrečiu gaminiu ir pateikiami skaitmeniniame produkto pase, užtikrinant jų nuoseklumą ir pritaikomumą praktiniams sprendimams.

Darbe pateiktų schemų, eskizų ir vizualizacijų rengimui buvo naudojamas dirbtinio intelekto įrankis „ChatGPT“ [32] ir schemų braižymo įrankis „Drawio“ [59]. Šie įrankiai buvo naudojami kaip techninė priemonė aprašo vizualizavimui. Vizualizacijos sudarytos remiantis autoriaus pateiktais techniniais duomenimis, konstrukciniais sprendimais ir tekstiniais aprašymais, siekiant pagerinti informacijos aiškumą ir vizualinį pateikimą.

2.1. Tyrimo dizainas

Tyrimas vykdomas taikant atvejo analizės metodą darbo drabužius gaminančioje įmonėje, analizuojant vieną konkretų darbo drabužio gaminį. Toks tyrimo dizainas leidžia detaliai ištirti visą gaminio būvio ciklą, identifikuoti jo sudedamąsias dalis, konstrukcinius sprendimus ir įvertinti jų įtaką aplinkosauginiams bei funkciniais rodikliams. Atvejo analizė suteikia galimybę gilintis į konkretų objektą ir išsamiai analizuoti visus su juo susijusius procesus (žr. 2 lentelę). Šiame tyrime siuvimo įmonė veikia kaip pagrindinis duomenų rinkimo ir apdorojimo subjektas, sujungiantis informaciją apie gaminį iš skirtingų duomenų vertės grandinės etapų (žr. 2 priedą). Tyrimo metodika orientuota ne tik į analizę, bet ir į duomenų paruošimą SPP formavimui.

lentelė 2. Tyrimo metodai

Tyrimo metodas	Metodo esmė	Metodo taikymo tikslas
Gaminio duomenų nustatymas ir struktūrizavimas	Analizuojami techniniai dokumentai, medžiagų specifikacijos ir gamybos duomenys; duomenys sisteminami ir suskirstomi į pagrindines kategorijas	Gauti patikimus ir išsamius duomenis apie analizuojama darbo drabužį ir suformuoti duomenų rinkinį tolimesniam vertinimui
Būvio ciklo vertinimas (LCA)	Vertinamas gaminio poveikis aplinkai viso būvio ciklo metu – nuo žaliavų gavimo iki utilizavimo	Nustatyti aplinkosauginį poveikį ir didžiausią poveikį turinčius būvio ciklo etapus
Žiediško vertinimas (MCI / ŽK)	Vertinamas gaminio konstrukcinis sprendimas, medžiagų sudėtis, taisomumas, perdirbamumas ir ilgaamžiškumas	Įvertinti darbo kelnių atitikimą žiedinės ekonomikos principams ir nustatyti žiediško lygį
Rezultatų sujungimas ir analizė	Integruojami LCA ir žiediško vertinimo rezultatai, identifikuojami pagrindiniai poveikio šaltiniai ir produkto apribojimai	Pagrįsti galutinius rezultatus ir įvertinti bendrą gaminio tvarumą
Duomenų transformavimas į SPP	Apskaičiuoti rodikliai ir produkto duomenys sisteminami pagal SPP struktūrą ir reikalavimus	Parengti duomenis integracijai į skaitmeninio produkto paso sistemą
Duomenų pateikimas skaitmeniniam produkto pasui	Duomenys susiejami su konkrečiu gaminiu ir pateikiami skaitmeniniame produkto pase	Sukurti ir pateikti darbo drabužio duomenis į SPP

Pradiniame etape taikomas gaminio duomenų nustatymo ir struktūrizavimo metodas, kuriuo analizuojami techniniai dokumentai, medžiagų specifikacijos ir gamybos duomenys. Šis metodas leidžia suformuoti patikimą ir struktūruotą produkto duomenų rinkinį, kuris naudojamas tolimesniam vertinimui.

Būvio ciklo analizė taikoma siekiant įvertinti darbo drabužio poveikį aplinkai viso jo būvio ciklo metu. Analizuojami pagrindiniai etapai: žaliavų gavimas, gamyba, transportavimas, naudojimas ir būvio ciklo pabaiga. Šis metodas nustatyto, kuriuose etapuose susidaro didžiausias poveikis aplinkai ir kaip jis susijęs su gaminio konstrukcija bei medžiagomis. Būvio ciklo analizė suteikia pagrindą aplinkosauginiam vertinimui ir leidžia pagrįsti žiediško analizės rezultatus.

Žiediško analizė atliekama remiantis žiedinės ekonomikos principais, vertinant tiek patį gaminį, tiek įmonės veiklos modelį. Analizuojama, ar gaminyje yra pritaikytas taisymui, ar jo konstrukcija leidžia lengvai pakeisti atskiras dalis, ar naudojamos medžiagos yra perdirbamos, ir ar gaminyje pasižymi ilgaamžiškumu. Taip pat vertinami galimi bendradarbiavimo modeliai su tiekėjais, klientais

ir atliekų tvarkytojais. Šio metodo tikslas – nustatyti, ar gaminys atitinka žiedinės ekonomikos principus ir koku mastu jis gali būti integruotas į uždara medžiagų ciklą [47].

Tolimesniame etape atliekamas rezultatų lyginimas ir analizė, integruojant LCA ir žiediškumo vertinimo rezultatus bei nustatant pagrindinius poveikio šaltinius ir produkto apribojimus. Tai leidžia įvertinti bendrą gaminio tvarumą.

Gauti duomenys transformuojami į skaitmeninio produkto paso struktūrą, sisteminant apskaičiuotus rodiklius ir produkto informaciją pagal nustatytus reikalavimus. Galutiniame etape duomenys susiejami su konkrečiu gaminiu ir pateikiami skaitmeniniame produkto pase, užtikrinant jų nuoseklumą ir pritaikomumą praktiniams sprendimams.

2.2. Tiriamas darbo drabužis

Tyrimo analizuojamas uniforminės darbo kelnės, gaminamos siuvimo įmonėje Kaune UAB „Ritėjus“, turinčioje sukirpimo ir siuvimo linijas. Gaminys skirtas aptarnaujančio personalo kasdieniam naudojimui uždaro tipo institucijoje (kalėjime), kur reikalingas patvarumas, funkcionalumas ir standartizuota išvaizda. Dėl naudojimo pobūdžio kelnės turi būti atsparios intensyviai dėvėjimui, mechaniniam poveikiui bei dažnam skalbimui. Gaminio spalviniai sprendimai, konstrukciniai elementai, funkcionalumo reikalavimai bei kokybės kriterijai yra nustatomi viešųjų pirkimų sąlygose, kurios apibrėžia pagrindinius techninius ir eksploatacinius parametrus, privalomus gaminiui.

Pasirinktas gaminys yra realiai gaminamas produktas, kurio sudėtis, tiekėjai ir gamybos duomenys yra identifikuoti ir struktūruojami SPP kontekste. Gaminio analizė grindžiama faktiniais sudėties ir tiekimo grandinės duomenimis bei visos vertės grandinės vertinimu, apimančiu žaliavų tiekimą, gamybą, naudojimą ir būvio ciklo pabaigos etapus [48].

Siuvykla šiame tyrime apibrėžiama kaip pagrindinis duomenų apdorojimo ir integravimo subjektas, kuriame konsoliduojami duomenys apie medžiagas, komponentus, gamybos procesus ir išteklių naudojimą. Šiame etape duomenys yra sisteminami ir paruošiami perdavimui į skaitmeninio produkto paso sistemą. Apdorojami duomenys apima medžiagų sudėtį, tiekėjus, gamybos operacijas, energijos ir kitų išteklių sąnaudas bei susidarancias atliekas.

Vieno gaminio vidutinis svoris – apie 1,5 kg. Pagal masės pasiskirstymą: apie 85 % sudaro audiniai, apie 15 % – siuvimo priedai ir aksesuarai. Toks pasiskirstymas leidžia identifikuoti pagrindinius medžiagų srautus ir nustatyti, kurie komponentai turi didžiausią reikšmę tiek būvio ciklo vertinime, tiek žiediškumo analizėje. Uniforminių darbo kelnų konstrukciją sudaro septynios sudedamosios dalys (žr. 3 lentelę):

lentelė 3. Pagrindinės uniforminių darbo kelnų sudedamosios dalys

Elės Nr.	Sudedamosios dalys
1.	Pagrindinis konstrukcinis audinys
2.	Papildomi audiniai (kišenių audinys, sutvirtinimų audinys)
3.	Neaustinės medžiagos
4.	Siuvimo siūlai
5.	Užsegimo elementai (užtrauktukas, sagos, metalinės kniedės)

6.	Elastiniai komponentai (gumos, kantavimo juostos)
7.	Atšvaitinės detalės

Be konstrukcinių ir funkcinių elementų, į gaminio sudėtį įtraukiamos ir pakavimo medžiagos, kurios taip pat vertinamos SPP kontekste (žr. 4 lentelę).

lentelė 4. Pakavimo medžiagos

Eilės Nr.	Kitos medžiagos ir komponentai
1.	Plastikiniai maišeliai
2.	Transportavimo dėžė
3.	Lipdukai, etiketės ir klijavimo juostos
4.	Plastikiniai tvirtinimo elementai
5.	Naudojimosi instrukcija (popierius)

Gaminys gaminamas iš skirtingų šalių tiekiamų medžiagų (ES ir trečiųjų šalių), todėl vieno darbo drabužio vertės grandinė apima kelis geografinius lygius – žaliavų gamybą, audinių gamybą, priedų gamybą ir tiekimą, audinių sukirpimą, galutinį siuvimą ir paskirstymą. Renkantis tiriamąjį gaminį, siekiant integruoti į SPP struktūrą kuo įvairesnius duomenis, atsižvelgta į skirtingus gaminio konstrukcinius ir funkcinius kriterijus, kurie turi įtakos gaminio atsekamumui ir žiediškumo vertinimui (žr. 5 lentelę).

lentelė 5. Gaminio atrankos kriterijai

Eilės Nr.	Kriterijai
1.	Turi aiškiai identifikuojamą medžiagų struktūrą
2.	Turi kelis skirtingus tiekėjus
3.	Turi mišrią audinių sudėtį
4.	Apima įvairių tipų priedus
5.	Leidžia atlikti masės balansą vienam gaminiui

Remiantis pateiktais duomenimis sudaromas gaminio medžiagų sąrašas, leidžiantis identifikuoti žaliavų charakteristikas, audinių parametrus ir priedų kilmę bei integruoti šiuos duomenis į SPP struktūrą.

Numatoma gaminio būvio ciklo trukmė siejama su intensyviu naudojimu ir dažnu skalbimu, todėl pagrindinis dėmesys skiriamas atsparumui nusidėvėjimui ir konstrukciniam patvarumui. Gaminio taisymas eksploatacijos metu nėra numatytas – taisymo operacijos atliekamos tik gamybos procese, jei nustatomas brokas, tokiu atveju gaminys grąžinamas koregavimui.

2.3. Duomenų rinkimo metodai

Duomenų rinkimas metodikoje organizuojamas siekiant užtikrinti pakankamą informacijos kiekį LCA, žiediškumo vertinimui bei SPP duomenų modelio formavimu. Duomenys šiame tyrime skirstomi į pirminius ir antrinius, priklausomai nuo jų gavimo būdo ir šaltinio. Toks skirstymas leidžia atskirti tiesiogiai su tiriamu objektu susijusią informaciją nuo papildomų duomenų, naudojamų analizei ir vertinimui.

2.3.1. Pirminiai duomenys

Pirminiai duomenys – tai tiesiogiai su analizuojamu darbo drabužiu susijusi informacija (žr. 1 priedą), surinkta apie jo sudėtį, gamybos procesus, naudojimą ir priežiūrą. Šie duomenys atspindi realias tiriamo objekto charakteristikas ir sudaro pagrindą tolimesnei analizei (žr. 6 lentelę).

lentelė 6. Pirminiai duomenys

Eilės Nr.	Pirminiai duomenys
1.	Gaminio medžiagų sudėties nustatymas;
2.	Komponentų identifikavimas;
3.	Gamybos procesų aprašymas;
4.	Naudojimo ir priežiūros parametrų nustatymas;
5.	Galimų būvio ciklo pabaigos scenarijų identifikavimas.

2.3.2. Antriniai duomenys

Antriniai duomenys – tai iš išorinių šaltinių gauta informacija, naudojama papildyti pirminius duomenis ir užtikrinti galimybę atlikti kiekybinį aplinkosauginio poveikio vertinimą. Antriniai duomenys yra būtini siekiant užtikrinti analizės pilnumą ir metodinį pagrįstumą, kadangi ne visi su analizuojamu gaminiu susiję rodikliai gali būti nustatyti tiesiogiai (žr.1 priedą).

Tyrime antriniai duomenys naudojami konvertuoti pirminius duomenis (medžiagų kiekį, energijos naudojimą ar transportavimo parametrus) į standartizuotus aplinkosauginius rodiklius, tokius kaip anglies dioksido emisijos (CO₂), energijos ir vandens sąnaudos (žr.7 lentelę).

lentelė 7. Antriniai duomenys

Eilės Nr.	Antriniai duomenys
1.	LCA duomenų bazes
2.	Emisijų koeficientai
3.	Mokslinėje literatūroje pateikti tekstilės sektoriaus vidutiniai rodikliai.
4.	Standartizuoti aplinkosauginius duomenys, kurių tiesiogiai išmatuoti neįmanoma [60].

Antriniai duomenys taip pat naudojami tais atvejais, kai pirminiai duomenys yra neišsamūs arba nepakankamai detalūs. Tokiais atvejais taikomi literatūroje ar duomenų bazėse pateikti tipiniai rodikliai, leidžiantys užtikrinti analizės nuoseklumą. Antriniai duomenys šiame tyrime yra integruojami su pirminiais duomenimis ir naudojami būvio ciklo analizės skaičiavimams atlikti bei aplinkosauginio poveikio rodikliams nustatyti. Duomenims struktūruoti taip, kad jie galėtų būti naudojami skaitmeninio produkto paso kontekste.

2.3.3. Duomenų sisteminimas ir struktūravimas

Surinkti pirminiai ir antriniai duomenys šiame tyrime buvo sisteminami, siekiant juos paruošti LCA, žiediškumo vertinimui ir jų pritaikymui SPP. Visi duomenys pirmiausia buvo sugrupuoti pagal keturis pagrindinius etapus: žaliavų ir medžiagų tiekimą, gamybos procesą, naudojimą ir priežiūrą bei būvio ciklo pabaigos scenarijus. Toks suskirstymas buvo naudojamas kaip pagrindinė struktūra, leidžianti nuosekliai organizuoti informaciją ir užtikrinti jos pritaikomumą būvio ciklo analizėje.

Duomenys buvo susiejami su konkrečiu analizuojamu darbo drabužiu. Kiekvienas duomenų elementas buvo priskiriamas atitinkamam gaminio komponentui arba procesui, pavyzdžiui, medžiagų sudėtis siejama su pagrindiniu audiniu, o procesiniai duomenys – su gamybos ar naudojimo etapais. Tokiu būdu buvo užtikrintas duomenų atsekamumas ir galimybė identifikuoti skirtingų gaminio dalių bei procesų indėlį į bendrą vertinimą.

Sisteminimo metu duomenys taip pat buvo paruošiami kiekybinei analizei. Pirminiai duomenys buvo pateikiami standartizuotais vienetais (pvz., medžiagų kiekiai, naudojimo trukmė), o antriniai duomenys buvo priskiriami atitinkamiems procesams, siekiant sudaryti prielaidas aplinkosauginio poveikio skaičiavimams. Tokiu būdu buvo suformuota vientisa duomenų bazė, tinkama tolimesniam modeliavimui.

Galiausiai, duomenys buvo struktūruojami taip, kad galėtų būti naudojami skaitmeninio produkto paso kontekste. Informacija buvo susieta su produkto identifikacija ir suskirstyta pagal būvio ciklo etapus, sudarant galimybę ją integruoti į skaitmenines sistemas ir naudoti tiek analizei, tiek duomenų atsekamumui užtikrinti.

2.4. Būvio ciklo vertinimo metodika

LCA šiame tyrime taikoma siekiant įvertinti uniforminių kelnių poveikį aplinkai viso jų būvio ciklo metu, apimant žaliavų išgavimą, gamybą, naudojimą ir galutinį tvarkymą. LCA metodika leidžia sistemingai įvertinti aplinkosauginius aspektus visoje vertės grandinėje ir yra plačiai taikoma tekstilės sektoriuje, kuriame poveikis aplinkai susidaro skirtinguose etapuose – nuo pluošto gamybos iki atliekų tvarkymo [34].

2.4.1. Sistemos ribos

1. Šiame tyrime sistemos ribos yra: nuo žaliavų išgavimo iki gaminio būvio ciklo pabaigos (angl. k.: *cradle-to-grave*) principas. Vertinami šie pagrindiniai etapai:
2. žaliavų (audinių, priedų) gamyba ir tiekimas (ES ir trečiosios šalys);
3. transportavimas tarp tiekimo grandinės dalyvių;
4. gamybos procesai (sukirpimas, siuvimas, surinkimas);
5. pakavimas ir paskirstymas;
6. naudojimo fazė (intensyvus dėvėjimas ir dažnas skalbimas, taisymas);
7. būvio ciklo pabaiga (atliekų tvarkymas, perdirbimas, antrinis panaudojimas).

Sistemos ribos atitinka literatūroje akcentuojamą poreikį vertinti visą produkto būvio ciklą, nes bendras poveikis aplinkai priklauso nuo visų etapų sąveikos [61]. Be to, tekstilės sektoriuje didelė dalis poveikio susidaro būtent gamybos ir naudojimo fazėse, kurios pasižymi didelėmis energijos ir vandens sąnaudomis [34].

2.4.2. Funkcinis vienetas

Vertinimo pagrindas šiame tyrime yra vienas gaminys: funkcinis vienetas – 1 darbo kelnių vienetas per visą naudojimo laikotarpį. Naudojimo laikotarpis šiame tyrime nėra tiesiogiai matuojamas, todėl apibrėžiamas remiantis standartais arba prielaidomis apie darbo drabužių eksploataciją – tai yra 2 metai ir 100 skalbimų. Vertinant poveikį aplinkai, įtraukiama ir naudojimo fazė (dėvėjimas, skalbimas, džiovinimas), siekiant įvertinti bendrą gaminio poveikį per visą jo būvio ciklą.

2.4.3. Duomenų šaltiniai

LCA analizėje pagrindiniai duomenų tipai:

1. pirminiai duomenys – surinkti tiesiogiai iš įmonės (gamybos procesų stebėjimas, medžiagų sunaudojimas, atliekų kiekiai, technologiniai sprendimai, apklausos);
2. antriniai duomenys – iš literatūros, norminių dokumentų ir duomenų bazių (būvio ciklo vertinimo duomenų bazės).

Pirminiai duomenys leidžia tiksliai atspindėti realią gamybos situaciją ir medžiagų srautus, o antriniai duomenys užtikrina vertinimo išsamumą ir leidžia įtraukti trūkstantis aplinkosauginius parametrus [44].

Būvio ciklo vertinimas šiame tyrime atliekamas naudojant programinę įrangą CcaLC2 (angl. k.: *Carbon Calculations over the Life Cycle*) [62]. Ši programa pasirinkta dėl galimybės modeliuoti produkto būvio ciklo etapus, integruoti pirminius ir antrinius duomenis bei apskaičiuoti pagrindinius aplinkosauginius rodiklius, tokius kaip šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos, energijos vartojimas ir išteklių sunaudojimas. CcaLC taip pat leidžia atlikti skirtingų scenarijų palyginimą, todėl yra tinkama darbo drabužio būvio ciklo ir žiediško vertinimui [63].

2.4.4. Vertinami rodikliai

Remiantis pateiktomis lentelėmis ir literatūra, analizei parinkti pagrindiniai aplinkosauginiai rodikliai:

1. šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos (CO₂ ekv.);
2. energijos sąnaudos;
3. vandens sunaudojimas;
4. atliekų kiekis.

Šie rodikliai yra plačiai naudojami tekstilės LCA tyrimuose, nes atspindi svarbiausius sektoriaus poveikio aspektus – didelį energijos ir vandens naudojimą bei reikšmingus atliekų srautus [34].

2.5. Žiediško vertinimo metodika

Žiediško vertinimas darbo drabužių gaminio atveju grindžiamas medžiagų srautų analizės (angl. k.: *Material Flow Analysis*) taikymu ir pagrindinių žiediško rodiklių nustatymu. Šis metodas leidžia sistemingai įvertinti, kaip medžiagos ir išteklių juda per visą produkto būvio ciklą bei identifikuoti galimybes efektyviau juos panaudoti [64].

Medžiagų srautų analizė leidžia nustatyti pagrindinius išteklių naudojimo, energijos sąnaudų ir atliekų susidarymo etapus. Darbo kelnių atveju svarbiausi medžiagų srautai formuojasi žaliavų gamybos (medvilnės ir sintetinių pluoštų), audinių apdorojimo, gamybos (sukirpimo ir siuvimo), transportavimo, naudojimo (skalavimo ir priežiūros) bei būvio ciklo pabaigos (pakartotinio naudojimo, perdirbimo ar šalinimo) fazėse. Šių etapų analizė leidžia identifikuoti aplinkosauginio poveikio „karštuosius taškus“, tokius kaip didelis vandens ir energijos suvartojimas audinių gamyboje ar atliekų susidarymas sukirpimo metu [65].

Remiantis MFA rezultatais, žiediško lygis vertinamas taikant MCI metodiką [58]. Ši metodika pagrįsta medžiagų srautų kiekybine analize ir leidžia įvertinti, kiek produktas nutolęs nuo linijinio paimu – gaminu - išmetu (angl. k.: *take–make–waste*) modelio bei kiek artimas žiedinės ekonomikos

principams. Vertinant atsižvelgiama į pirminių žaliavų kiekį, perdirbtų medžiagų dalį bei medžiagų likimą po produkto naudojimo (perdirbimą arba šalinimą) [63]. Papildomai įtraukiamas produkto naudojimo trukmės veiksnys, turintis tiesioginę įtaką galutiniam žiediško rodikliui.

Žiediško koeficientas šiame darbe nustatomas taikant MCI metodą [58], kuris pagrįstas medžiagų srautų analize. Skaičiavimas atliekamas įvertinant pirminių žaliavų kiekį, perdirbtų medžiagų dalį bei medžiagų likimą po produkto naudojimo. Pagrindinė skaičiavimo logika išreiškiama per linijinio srauto indeksą (1):

$$LFI = (V + W) / 2M \quad (1)$$

kur:

V – pirminių (virgin) žaliavų kiekis,

W – perdirbtų atliekų kiekis po naudojimo,

M – bendras produkto masės kiekis.

Remiantis šiuo rodikliu apskaičiuojamas žiediško koeficientas (2):

$$MCI = 1 - LFI \cdot F(X) \quad (2)$$

kur:

F(X) - yra naudojimo trukmės korekcijos funkcija (3), kuri parodo, ar gaminys naudojamas trumpiau, tiek pat ar ilgiau nei vidutinis tos pačios paskirties produktas. Ji apskaičiuojama pagal santykį:

$$F(X) = L / Lav \quad (3)$$

L – faktinė arba numatoma gaminio naudojimo trukmė,

Lav – vidutinė tokio tipo gaminio naudojimo trukmė rinkoje.

Kuo ilgesnė produkto naudojimo trukmė ir kuo didesnė perdirbtų medžiagų dalis, tuo didesnė MCI reikšmė, rodanti aukštesnį žiediško lygį. Šis rodiklis leidžia kompleksiskai įvertinti gaminio žiediško lygį ir identifikuoti galimybes jį didinti, optimizuojant medžiagų parinkimą, gaminio konstrukciją ir būvio ciklo sprendimus [63].

Vertinimą gali atlikti įmonės atsakingas specialistas, tačiau visi naudojami duomenys turi būti pagrįsti dokumentais. Vertinimo objektyvumas užtikrinamas tuo, kad naudojami tik patikrinami, kiekybiškai išreiškiami duomenys, o rezultatai gali būti peržiūrėti ir tikrinami. Be to, gauti žiediško rodikliai kartu su jų pagrindu gali būti integruojami į SPP sistemą, užtikrinančią duomenų skaidrumą ir galimybę atlikti nepriklausomą patikrą [22, 63]

2.6. Scenarijų modeliavimas

2.6.1. Modeliavimo tikslas

Scenarijų modeliavimo tikslas šiame tyrime yra įvertinti, kaip pasirinktų gaminio parametrų pokyčiai gali paveikti analizuojamo darbo drabužio aplinkosauginį poveikį ir žiediško rodiklius.

Modeliavimas taikomas kaip papildomas analizės metodas, leidžiantis įvertinti alternatyvias gaminio būvio ciklo valdymo galimybes.

Modeliavimas orientuotas į pagrindinius gaminio būvio ciklo etapus, kurie identifikuoti kaip reikšmingiausi pagal atliktą analizę, ypač naudojimo ir priežiūros etapą, kuris sudaro didžiausią bendro poveikio dalį. Atsižvelgiant į tai, scenarijų analizė leidžia įvertinti, kaip pokyčiai šiame etape galėtų sumažinti bendrą CO₂ emisijų kiekį.

Scenarijų modeliavimas leidžia analizuoti alternatyvias situacijas, nekeičiant realaus gaminio, ir sudaro pagrindą tolimesniam rezultatų interpretavimui bei rekomendacijų formavimui.

2.6.2. Būvio ciklo modeliavimas ir scenarijų analizė

Scenarijų modeliavime naudojami parametrai apibrėžiami remiantis analizuojamo darbo drabužio būvio ciklo struktūra ir vertinamais aplinkosauginiais bei žiediško rodikliais. Parinkti parametrai siejami su pagrindiniais gaminio būvio ciklo etapais ir naudojami galimų pokyčių vertinimui (žr. 8 lentelę).

lentelė 8. Modeliuojami parametrai

Eilės Nr.	Modeliuojami parametrai	Tikslas
1.	Skalbimų skaičius	Nusakanti priežiūros procesų dažnumą ir jų įtaką naudojimo etapo emisijoms.
2.	Alternatyvus audinys	Nusakanti gaminio struktūrą ir galimybes mažinti poveikį aplinkai bei didinti perdirbamumą
3.	Skalbimo ciklų skaičius	Susieti su gaminio naudojimo pratėsimu ir jų įtaka bendram būvio ciklui.

2.6.3. Vertinami rodikliai, modeliavimo prielaidos ir apribojimai

Scenarijų modeliavimo metu vertinami rodikliai apima LCA rezultatus ir žiediško koeficientą. Pagrindinis dėmesys skiriamas anglies dioksido emisijoms, energijos ir vandens sąnaudoms skirtinguose gaminio būvio ciklo etapuose [6]. Šie rodikliai leidžia kiekybiškai įvertinti pasirinktų parametru pokyčių įtaką bendram aplinkosauginiam poveikiui.

Vertinimas atliekamas taikant tuos pačius skaičiavimo principus kaip ir pagrindinėje analizėje, užtikrinant rezultatų palyginamumą tarp skirtingų scenarijų. Taip pat vertinamas žiediško koeficientas, atsižvelgiant į medžiagų sudėtį, naudojimo trukmę ir galimybes pakartotiniam naudojimui ar perdirbimui.

Modeliavimas grindžiamas tam tikromis prielaidomis ir apribojimais. Daroma prielaida, kad keičiami tik pasirinkti parametrai, o kitos sąlygos išlieka nekintančios. Taip pat laikoma, kad naudojami duomenys yra pakankami ir reprezentatyvūs analizuojamam gaminiui. Apribojimai susiję su duomenų prieinamumu ir tikslumu, ypač tais atvejais, kai naudojami antriniai duomenys ar apibendrintos vertės.

2.7. Duomenų susiejimas ir pateikimas

Duomenų susiejimas ir pateikimas atliekamas pritaikant analizuojamo darbo drabužio – uniforminių kelnų – duomenis skaitmeninio produkto paso kontekste (žr. 9 lentelę).

lentelė 9. Produkto duomenų integravimo į SPP etapai

Žingsnio Nr.	Žingsnio pavadinimas	Atliekami veiksmai
1.	Produkto identifikavimas	Sukuriamas unikalus produkto ID (pvz., SKU, kodas). ID priskiriamas konkrečiam gaminio vienetui arba partijai.
2.	Duomenų surinkimas ir susiejimas	Sudėties duomenys (audiniai, priedai); Gamybos duomenys (operacijos, energija); Naudojimo duomenys (skalbimai, trukmė); LCA rezultatai (CO ₂ , energija, vanduo); Žiediško rodiklis (MCI / ŽK); Sertifikavimo ir atitikties duomenys.
3.	Duomenų struktūravimas	Produkto informacija (ID, tipas); Sudėtis; Aplinkosauginiai rodikliai; Žiediško rodikliai; Naudojimo informacija; Sertifikavimo informacija. Duomenys gali būti pateikiami lenteline forma arba struktūrizuota skaitmeninių duomenų forma. Užtikrinamas vienetų vienodumas (kg, kWh, CO ₂ ekv.). Patikrinamas duomenų pilnumas.
4.	Susiejimas su fiziniu produktu	Produktui priskiriamas QR arba kitas kodas. Užtikrinama prieiga prie duomenų nuskenavus kodą.
5.	Duomenų pateikimas	Duomenys pateikiami SPP Sudėtis; CO ₂ emisijos; Žiediško koeficientas; Naudojimo informacija. Užtikrinamas duomenų prieinamumas vertės grandinės dalyviams.

3. Tyrimo rezultatai

Siekiant sistemingai pateikti ir palyginti surinktus duomenis, kiekviename tolesniame tyrimo etape (3.1–3.5 skyriuose) bus sudaromos struktūrizuotos lentelės ir grafikai pateikti prieduose, kuriose bus apibendrinti konkretaus etapo rezultatai, nustatyti duomenų trūkumai, galimi informacijos šaltiniai bei vertinimo rodikliai. Tyrimo pabaigoje šios tarpinės lentelės bus integruojamos į vieną apibendrinančią rezultatų lentelę (žr. 14, 15 lentelę), kuri leis kompleksiskai įvertinti darbo drabužio gaminių aplinkosauginiu, žiediškuo ir kitais aspektais.

3.1. Analizuojama įmonė ir pavyzdinis gaminy

Tyrimo objektas – uniforminės darbo kelnės, gaminamos Kaune veikiančioje siuvimo įmonėje UAB „Ritėjus“. Įmonė vykdo darbo drabužių gamybą ir turi pagrindinius gamybinius pajėgumus: audinių sukirpimo ir siuvimo linijas. Vertės grandinėje įmonė užima galutinio surinkimo ir gaminio pagaminimo grandį, nes įmonėje atliekamas medžiagų priėmimas, sukirpimas, siuvimas, surinkimas, kokybės kontrolė, pakavimas ir paruošimas paskirstymui. Pagrindinės žaliavos – audiniai, siūlai, užsegimo detalės (sagos, užtrauktukai, elastiniai ir atšvaitiniai komponentai, kiti priedai – tiekiami iš išorinių tiekėjų Lietuvoje, Lenkijoje, Čekijoje, Kinijoje, Indijoje ir Turkijoje (žr. 3 priedą).

Analizuojamas gaminy yra uniforminės darbo kelnės (žr. 4 priedą), skirtos naudoti uždaro tipo institucijoje, šiuo atveju kalėjime. Tiriamasis gaminy pasirinktas todėl, kad jo sudėtis ir komponentai yra aiškiai identifikuojami, jame naudojama kelių tipų tekstilė ir priedai, o tokia konstrukcija leidžia praktiskai įvertinti tiek LCA, tiek žiediškuo, tiek SPP taikymo galimybes.

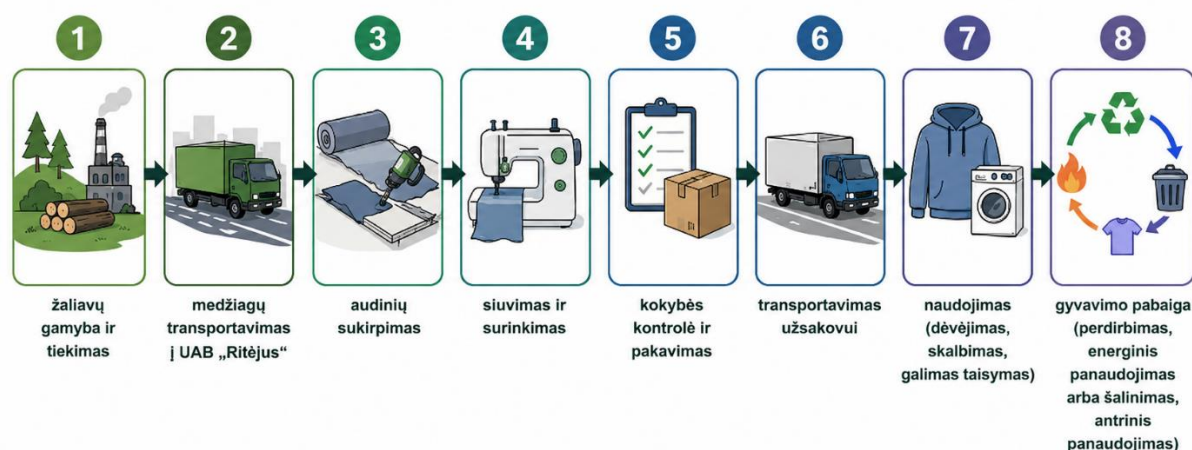
Vieno gaminio vidutinis svoris siekia apie 1,5 kg. Iš šio svorio apie 85 % sudaro tekstilinės medžiagos, o apie 15 % – siuvimo priedai, aksesuarai ir pakavimo elementai.

Pagrindinis darbo kelnų audiny yra 265 g/m² tankio Ripstop audiny, kurio sudėtis – 65 % poliesteris ir 35 % medvilnė, spalva - tamsiai mėlyna. Šis audiny importuojamas iš Kinijos ir naudojamas kaip pagrindinis konstrukcinis audiny. Informacija apie dažymo procesus nebuvo prieinama, todėl šie aspektai neįtraukti į vertinimą. Be tekstilinių medžiagų, gaminyje naudojami įvairūs siuvimo priedai (sagos, užtrauktukai, Velcro juostos, elastinės ir atšvaitinės detalės). Šie komponentai didina gaminio funkcionalumą, tačiau tuo pačiu apsunkina išardymą ir perdirbimą.

Pagrindiniai partneriai vertės grandinėje yra audinių ir priedų tiekėjai, logistikos partneriai, darbo drabužio naudotojas ir galimi priežiūros bei būvio pabaigos etapo dalyviai (žr. 1 priedą).

Atliekų tvarkytojas / tekstilės perdirbėjas – „Kauno švara“ [66], gaminio būvio pabaigoje tekstilinės atliekos perduodamos mišrių tekstilės atliekų tvarkytojui.

Gaminio būvio ciklo schema



3 pav. Produkto būvio ciklo schema [32]

Paveikslas (žr. 3 pav) sugeneruotas naudojant „ChatGPT“ pagal šią užklausą:

Sukurti spalvotą gaminio būvio ciklo schemą darbo drabužių sektoriui. Pavaizduoti 8 etapus: žaliavų gamybą ir tiekimą, medžiagų transportavimą, audinių sukirpimą, siuvimą ir surinkimą, kokybės kontrolę ir pakavimą, transportavimą užsakovui, naudojimą (dėvėjimą, skalbimą, galimą taisymą) bei gyvavimo pabaigą (perdirbimą, energinį panaudojimą arba šalinimą). Vizualinis stilius – aiškus, akademinis, infografinio tipo, tinkamas magistro darbui [32].

Pažymėtina, kad tiriamojo darbo drabužio būvio ciklo pabaigoje (žr. 3 pav) antrinis panaudojimas arba perdarymas yra negalimas, dėl griežto draudimo perleisti uniformą tretiesiems asmenims [67].

3.1.1. Vertės grandinės duomenų žemėlapis

Vertės grandinės duomenų žemėlapis – tai schema arba struktūruotas aprašas, kuris parodo, kokie duomenys sukuriami, perduodami, naudojami ir saugomi kiekviename vertės grandinės etape (žr.2 priedą). Vertės grandinės duomenų žemėlapis (tiekimas – gamyba – platinimas – naudojimas – būvio ciklo pabaiga) parodė, kad daugiausia duomenų prieinama gamybos ir medžiagų sudėties lygmenyje (žr. 3,7,8,10 priedus). Tyrimo metu nustatyta, kad įmonėje yra prieinami duomenys apie naudojamus medžiagas, jų sudėtį, kiekius ir naudojamus priedus, taip pat apie pagrindinius gamybos procesus (žr. 7 priedą). Šie duomenys leidžia aprašyti gaminio konstrukciją (žr. 4 priedą) ir sudaro pagrindą tolimesniai vertinimui.

Duomenų trūkumas nustatytas tiekimo grandinės etape. Įmonėje nėra detalių duomenų apie pluošto kilmę, audinių gamybos technologijas, cheminę sudėtį ir transportavimo emisijas. Šie duomenys nėra prieinami, nes juos valdo išoriniai tiekėjai ir konfidencialumo sutartys, o įmonė veikia kaip galutinio produkto surinkėjas, todėl detaliau nebus analizuojami, tačiau pateikia schema kokie duomenys reikalingi galutinėje duomenų vertės etape, t. y., siuvelyklai (žr.1 priedą).

Naudojimo fazėje duomenų trūkumas taip pat yra reikšmingas. Nustatyta, kad įmonėje ir užsakovų nėra renkami duomenys apie darbo kelnių naudojimo trukmę, skalbimų skaičių, dėvėjimo

intensyvumą ar taisymo dažnį, nes šie procesai vyksta už įmonės ribų. Trūkstami duomenys paimti iš mokslinių šaltinių susijusių su naudojimo faze [68].

Būvio ciklo pabaigos etape nustatyta, kad duomenys apie realius perdirbimo ar atliekų tvarkymo scenarijus nėra fiksuojami. Informacija apie šį etapą grindžiama bendro pobūdžio prielaidomis ir nėra susieta su konkrečiu gaminiu [69].

3.2. Duomenų rinkimas

Duomenų rinkimo metodika buvo suskirstyta į dvi pagrindines kategorijas: pirminius ir antrinius duomenis. Šis skirstymas leidžia duomenis tiesiogiai sieti su analizuojamu gaminiu susijusią informaciją. Duomenys buvo renkami iš skirtingų šaltinių, apimančių tiek realius gamybos, tiek ir naudojimo procesus.

3.2.1. Pirminiai duomenys

Pirminiai duomenys, renkti tiesiogiai iš analizuojamos darbo drabužių vertės grandinės etapų, informaciją apie žaliavas, gamybos procesus, logistiką bei gaminio naudojimo ir priežiūros aspektus. Didžiausias dėmesys skiriamas duomenims, kurie tiesiogiai apibūdina konkretų gaminį – uniformines darbo kelnes (žr. 10 lentelę).

lentelė 10. Surinkta informacija

Eilės Nr.	Reikalinga informacija	Nuoroda į informacijos šaltinį
1.	Naudojamų medžiagų sudėtis ir jų kilmė	1 Priedas
2.	Gamybos operacijos ir technologinius procesai	2, 4 Priedas
3.	Gamybos metu naudojamų išteklių ir energijos sąnaudos	5 Priedas
4.	Transportavimo etapai tarp tiekimo grandinės dalyvių;	Galimybių Studija "LATIA Eksperto Plėtra" [70]
5.	Naudojimo ir priežiūros procesus, įskaitant skalbimo, džiovinimo ir eksploatacijos aspektus	Informacijos šaltinis [68], programinės įranga CCaLC2 [62], duomenys (žr. 6 priedą).

Pirminiai duomenys yra svarbūs tuo, kad jie atspindi realias sąlygas ir leidžia tiksliau įvertinti produkto poveikį aplinkai. Šie duomenys taip pat sudaro pagrindą SPP struktūrai, nes būtent jie gali būti tiesiogiai integruojami į duomenų sistemą ir naudojami atsekamumui užtikrinti.

3.2.2. Antriniai duomenys

Tyrime antriniai duomenys naudojami pirminių duomenų (medžiagų kiekiams, energijos naudojimui ir transportavimo parametrams) konvertavimui į aplinkosauginius rodiklius, tokius kaip CO₂ emisijos, energijos ir vandens sąnaudos (žr. 5 priedą). Antriniai duomenys gauti iš LCA duomenų bazių, emisijų koeficientų bei CCaLC programos (žr. 3, 5 priedus), kuri, remiantis standartizuotais faktoriais, leidžia apskaičiuoti poveikio rodiklius. Remiamasi mokslinės literatūros šaltiniais [60, 69].

3.3. Būvio ciklo analizės rezultatai

3.3.1. CO₂ paskirstymas etapais

Vertinant vieną uniforminių darbo kelnų gaminių, programinės įrangos CcaLC2 duomenimis [62], didžiausia klimato kaitos poveikio dalis tenka naudojimui etapui ir žaliavų fazei (žr.11 lentelę). Naudojimo etape didžiausią poveikį sukelia dažnas skalbimas, džiovinimas ir kita priežiūra (žr. 7 pav.), t. y., darbo drabužiai eksploatacijos metu valomi reguliariai, o energijai imlūs procesai reikšmingai didina bendrą CO₂ ekv. kiekį. Ypač didelę įtaką turi aukštesnės temperatūros skalbimo režimai bei mechaninis džiovinimas.

Žaliavų etape didžiausią poveikį lemia pagrindinis mišrus audinys, kadangi jis sudaro didžiausią gaminio masės dalį. Poliesterio ir medvilnės kombinacija susijusi tiek su sintetinių pluoštų gamybos energijos sąnaudomis, tiek su natūralaus pluošto auginimui reikalingais vandens ir žemės ištekiais.

Transporto ir gamybos etapai sudaro mažesnę bendro poveikio dalį, tačiau jų reikšmė didėja, kai tiekimo grandinė tampa geografiškai platesnė, žaliavos tiekiamos iš skirtingų šalių, o logistikoje naudojami ilgesni pervežimo maršrutai. Sandėliavimo etapas bendrame rezultate sudaro labai nedidelę dalį, todėl jo įtaka galutiniam anglies pėdsakui yra minimali.

lentelė 11. Vienų uniforminių darbo kelnų CO₂ ekv. paskirstymas etapais

Etapas	Vertinimo pagrindas	CO ₂ ekv. kg/vnt.	Dalies įvertinimas %	Pastaba
Žaliavos	Audiniai, priedai, pakuotė	16,7	16,5	Didžiausia dalis dėl pagrindinio mišraus audinio
Gamyba	Sukirpimas, siuvimas, surinkimas, pakavimas	1,07	1,1	Prielaida pagal elektros ir procesų intensyvumą
Sandėliavimas	Sandėliavimas	0,020	0	Labai maža įtaka
Transportas	Tiekimas iš kelių šalių ir pristatymas užsakovui	8,19	8,1	Trūksta tikslių maršrutų; naudota prielaida
Naudojimas	Skalbimas, džiovinimas, priežiūra	74,9	73,8	Reikšmingas etapas dėl dažno skalbimo
Atliekos / būvio ciklo pabaiga	Tvarkymas, dalinis atskyrimas, energinis panaudojimas	0,61	0,6	Ribotas medžiagų atgavimas
Iš viso		101,49	100	Vertinimas su prielaidomis

Remiantis CcaLC2 programa [62], CO₂ ekv. paskirstymo rezultatai parodė, kad didžiausias poveikis aplinkai tenka naudojimui etapui, o mažiausias – sandėliavimo ir būvio ciklo pabaigos etapams.

Žaliavų etapas sudaro 16,7 kg CO₂ ekv. arba 16,5 % viso poveikio. Didžiausią įtaką daro audinių gamyba, ypač mišraus poliesterio ir medvilnės audinio, nes reikalingi dideli energijos, vandens ir kitų išteklių kiekiai, todėl šis etapas yra vienas svarbiausių bendro aplinkosauginio poveikio šaltinių.

Gamybos etapą sudaro 1,07 kg CO₂ ekv. arba 1,1 % bendro poveikio. Siuvimo procesai nėra itin imlūs energijai, todėl energijos sąnaudos daugiausia susijusios su įrangos veikimu ir patalpų apšvietimu, todėl šio etapo poveikis aplinkai išlieka nedidelis.

Sandėliavimo etapas sudaro tik 0,020 kg CO₂ ekv., o tai nėra reikšminga bendro poveikio dalis, nes emisijos daugiausia susijusios su sandėliavimo patalpų eksploatavimu. Transporto etapas sudaro 8,19 kg CO₂ ekv. arba 8,1 % viso poveikio. Didžiausią įtaką šiame etape lemia tarptautinė tiekimo grandinė ir logistikos procesai, o vertė apskaičiuota remiantis vidutinėmis transportavimo ir tiekimo prielaidomis [70].

Didžiausias poveikis nustatytas naudojimo etape, kuris sudaro 74,9 kg CO₂ ekv. arba 73,8 % bendro poveikio. Šį rezultatą lemia dažnas gaminio skalbimas, džiovinimas bei energijos sąnaudos priežiūros metu.

Būvio ciklo pabaigos etapas sudaro 0,61 kg CO₂ ekv. arba 0,6 % bendro poveikio, o emisijos šiame etape susijusios su atliekų tvarkymu ir energiniu panaudojimu.

3.3.2. Vandens ir energijos sąnaudos

Didžiausios vandens sąnaudos nustatytos naudojimo ir žaliavų gamybos etapuose. Naudojimo etape reikšmingiausią dalį sudaro skalbimo procesas, kadangi darbo drabužiai eksploatacijos metu prižiūrimi reguliariai. Vertinant vieną gaminį, buvo taikytas scenarijus: naudojama B tipo skalbyklė ir B tipo džiovyklė, gaminys skalbiamas 50 kartų per metus, o naudojimo trukmė sudaro 2 metus, todėl bendras skalbimo kiekis siekia 100 ciklų. Darant prielaidą, kad vienam skalbimo ciklui sunaudojama apie 7,5 litrų vandens/vnt., naudojimo etapo vandens sąnaudos sudaro apie 750 l/vnt.

Tikslios faktinės skalbyklų, džiovyklių, tiekėjų energijos ir vandens sąnaudos nėra žinomos, pateikiamas orientacinis etapų pasiskirstymas [60] vienam gaminiui (žr. 6 priedą). Taip pat pažymėtina, kad CcaLC2 programinė įranga [62] ne visais atvejais automatiškai apskaičiuoja vandens sunaudojimą naudojimo etape, todėl skalbimo vandens sąnaudos buvo papildomai apskaičiuotos rankiniu būdu pagal taikytą naudojimo scenarijų.

lentelė 12. Vandens ir energijos sąnaudų paskirstymas.

Etapas	Vandens sąnaudos l/vnt.	Energijos sąnaudos MJ/vnt.	Vertinimas
Žaliavų gamyba	1850	261	Aukštos dėl audinių gamybos ir mišrios sudėties.
Gamyba įmonėje	12	0	Santykinai mažos, bet reikia realių skaitiklių duomenų.
Sandėliavimas	0	0	Praktiškai nėra.
Transportas	0	11	Vanduo nereikšmingas, energija priklauso nuo atstumų.
Naudojimas	750	110	Labai reikšminga dėl dažno skalbimo ir džiovinimo.
Būvio ciklo pabaiga	8	4	Nedidelė dalis.
Iš viso	2600	386	Vertinimas su prielaidomis.

Pateikti vandens ir energijos sąnaudų duomenys nėra gauti iš tiriamos įmonės pirminių matavimų, kadangi įmonė neturi atitinkamų informacijos duomenų, todėl jie buvo nustatyti remiantis antriniais literatūriniais šaltiniais ir tipinėmis LCA reikšmėmis tekstilės sektoriuje [60, 71, 72].

3.3.3. Didžiausios įtakos etapų identifikavimas

Analizė rodo, kad didžiausią poveikį visame gaminio būvio cikle daro žaliavų gamybos ir naudojimo etapai (žr. 6 priedą), kurie iš esmės lemia bendrą produkto aplinkosauginį profilį. Žaliavų etapas dominuoja dėl to, kad didžiąją gaminio masės dalį sudaro audiniai, ypač mišrios sudėties (poliesterio ir medvilnės), kurių gamyba yra intensyvi tiek energijos, tiek vandens naudojimo požiūriu, o plati tiekimo geografija dar labiau didina šio etapo sudėtingumą ir poveikį. Tuo tarpu naudojimo fazė tampa itin reikšminga dėl numanomo intensyvaus eksploatavimo, dažnų skalbimų, aukštų higienos reikalavimų ir galimo pramoninio džiovinimo, kas lemia dideles energijos ir vandens sąnaudas per visą gaminio naudojimo laikotarpį [72].

Kiti būvio ciklo etapai pasižymi mažesniu, tačiau vis tiek reikšmingu poveikiu. Transportas, dėl tiekimo iš skirtingų geografinių regionų, vertinamas kaip vidutinio lygio veiksnys, įskaitant tolimes šalį, nors jo įtaka vienam gaminiui nėra dominuojanti. Gamybos etapas įmonėje yra santykinai mažesnio poveikio, nes siuvimo procesai nėra labai energijai imlūs, tačiau jų svarba išryškėja vertinant sukirpimo atliekas ir galimą broką, kurie lemia papildomą išteklių naudojimą. Būvio pabaigos etapas išlieka mažiausio poveikio, tačiau jį riboja mišri gaminio sudėtis ir sudėtingas medžiagų atskyrimas, todėl realios perdirbimo galimybės yra ribotos [72].

Didžiausią įtaką daro tie etapai, kurie yra mažiausiai kontroliuojami gamintojo, tuo tarpu įmonės viduje vykstantys procesai, nors ir lengviau valdomi, sudaro mažesnę bendro poveikio dalį.

3.3.4. Naudojimo ir priežiūros etapas

Naudojimo ir priežiūros etapas apima gaminio eksploatavimą realiomis sąlygomis, kuriose jis patiria mechanines apkrovas, nusidėvėjimą ir dažną priežiūrą (ypač skalbimą, džiovinimą, lyginimą). Šiame etape svarbiausia yra naudojimo intensyvumas, priežiūros režimai ir jų poveikis gaminio ilgaamžiškumui bei funkcionalumui. Taip pat reikšminga tampa nusidėvėjimo stebėseną ir galimi taisymai, kurie gali prailginti produkto būvio laiką.

3.4. Žiediškumo indikatorių įvertinimas

Žiediškumas buvo vertinamas taikant „Material Circularity Indicator“ (MCI) metodą [63], kur pagrindinė skaičiavimo logika išreiškiama per linijinio srauto indeksą (4):

$$LFI = (V + W) / 2M \quad (4)$$

V – pirminių žaliavų kiekis,

W – neperdirbtų atliekų kiekis po naudojimo,

M – bendras produkto masės kiekis.

Skaičiavimui naudoti duomenys: pirminių žaliavų kiekis (žr. 5 priedą) $V = 2.016$ kg, neperdirbtų atliekų kiekis $W = 0$ kg, bendras gaminio svoris $M = 1.74$ kg.

$$LFI = (2.016 + 0) / (2 \times 1.74)$$

$$LFI = 2.016 / 3.48$$

$$LFI = 0.57$$

Remiantis šiuo rodikliu apskaičiuojamas žiediškumo koeficientas (5):

$$MCI = 1 - LFI \cdot F(X) \quad (5)$$

$F(X)$ – produkto naudojimo trukmės funkcija (6), įvertinanti realų gaminio eksploatavimo laiką.

LFI – linijinio srauto indeksą.

$$F(X) = L/L_{av} \quad (6)$$

L – numatoma gaminio naudojimo trukmė $L = 2$ metai ,

L_{av} – vidutinė tokio tipo gaminio naudojimo trukmė $L_{av} = 2$ metai.

$$F(X) = 2/2 = 1$$

Apskaičiuojamas MCI (5):

$$MCI = 1 - 0.57 \times F(X)$$

$$MCI = 1 - 0.57 \times 1$$

$$MCI = 1 - 0.57$$

$$MCI = 0.43$$

Gautas $MCI = 0.43$ rodo vidutinį gaminio žiediškumo lygį.

3.4.1. Bendras žiediškumo koeficientas

Gaminio bendras žiediškumo lygis buvo įvertintas taikant MCI metodiką [63] kartu su LCA rezultatais. Toks integruotas požiūris leido įvertinti ne tik medžiagų cikliškumą, bet ir pagrindinius aplinkosauginius poveikius viso produkto būvio ciklo metu.

MCI skaičiavimai parodė, kad darbo drabužio žiediškumo koeficientas siekia 0,43, tai rodo vidutinį, tačiau ribotą žiediškumo lygį. Vertinimui naudoti šie duomenys: pirminių žaliavų kiekis (įskaitant pakavimo medžiagas) $V = 2,016$ kg, neperdirbtų atliekų kiekis $W = 0$ kg, bendras produkto svoris $M = 1,74$ kg, o naudojimo trukmės funkcijai taikyta reikšmė $F(X) = 1$. Rezultatas atskleidžia, kad nors atliekų nesusidaro (jos deginamos), žiediškumą riboja kiti veiksniai.

LCA analizė parodė, kad didžiausias poveikis aplinkai tenka naudojimo etapui, kuris sudaro 73,8 % viso CO₂ ekv. kiekio. Šį rezultatą lemia intensyvi priežiūra eksploatacijos metu – dažnas skalbimas, džiovinimas ir kiti procesai. Antras pagal reikšmingumą yra žaliavų etapas (16,5 %), kurį daugiausia veikia pagrindinio mišraus audinio gamyba ir naudojami priedai. Transporto etapas sudaro 8,1 %, o gamybos, sandėliavimo ir būvio ciklo pabaigos etapai turi palyginti nedidelę įtaką bendram poveikiui.

Vandens ir energijos sąnaudų analizė taip pat patvirtina naudojimo fazės svarbą. Per visą naudojimo laikotarpį vienam gaminiui tenka apie 750 l vandens ir 110 MJ energijos, daugiausia dėl skalbimo procesų. Tuo tarpu žaliavų gamybos etapas išsiskiria didelėmis pradinėmis sąnaudomis – apie 1850 l

vandens ir 261 MJ energijos. Tai rodo, kad produkto žiediškumą lemia ne tik medžiagų cikliškumas, bet ir eksploatacijos metu sunaudojami ištekliai.

3.4.2. Scenarijų modeliavimas

Pasitelkus CcaLC2 programinę įrangą [62], scenarijam siekiant tiksliau įvertinti skirtingų veiksmų poveikį, modeliuojami papildomai (žr. 11,12,13 Priedus).

lentelė 13. Situacijų modeliavimas

Scenarijus	Pakeitimas	Tikėtinas poveikis CO ₂ ekv.	Tikėtinas poveikis vandeniui	Vertinimas
Bazinis (100 ciklų)		74,2 kg/vnt.	750 l/vnt.	Atskaitos scenarijus, naudojamas palyginimui.
Daugiau skalbimų	+25 % skalbimo ciklų	92,8 kg/vnt	937,5 l/vnt	22 % poveikio augimas.
Mažiau skalbimų	-25 % skalbimo ciklų	55,65 kg/vnt	560 l/vnt	22 % poveikio sumažėjimas.
Alternatyvus audinys	keičiama mažesnio poveikio sudėtiniais pluoštais	-9,2 kg CO ₂	-8–15 %	Teigiamas poveikis, priklauso nuo tiekėjų ir audinio savybių.
Efektyvesnis skalbimas	Žemesnė temperatūra (60 sumažinam iki 30)	-5,3 CO ₂	-5–8 %	Teigiamas poveikio mažinimas naudojimo etape.

Didėjant skalbimų skaičiui, didėja energijos ir vandens sąnaudos, todėl naudojimo fazės poveikis aplinkai auga sparčiausiai. Skalbimų skaičiaus didinimo scenarijus (žr. 11 priedą) pasirinktas, nes praktikoje dėl didesnio užterštumo, griežtesnių higienos reikalavimų ar intensyvesnio darbo drabužių naudojimo skalbimo dažnumas gali padidėti labiau, nei jį galima sumažinti. Tuo tarpu mažesnis skalbimų skaičius leidžia sumažinti naudojimo etapo poveikį, tačiau šį pokytį riboja higienos, darbo saugos ir eksploataciniai reikalavimai. Temperatūrų sumažinimas iš 60 į 30 laipsnių skalbiant, prisideda prie naudojimo etapo anglies emisijų mažėjimo (žr. 12 priedą).

Naudojimo trukmė taip pat yra svarbus veiksnys. Ilgesnis gaminio naudojimo laikotarpis leidžia paskirstyti žaliavų, gamybos ir transporto etapuose susidariusį poveikį ilgesniam laikui, todėl santykinis poveikis vienam naudojimo ciklui mažėja. Trumpesnis tarnavimo laikas, priešingai, didina bendrą poveikį vienam gaminio naudojimui.

Pagrindinio audinio sudėtis, taip pat nėra antraeiliam plane. Jei mišriame audinyje poliesteris buvo pakeistas į biologinės kilmės polietileno tereftalata, o medvilnę į džiuoto audinį, siekiant sumažinti aplinkos poveikį, žaliavų etapo poveikis sumažės (žr. 13 priedą). Vis dėlto tokie pakeitimai turi būti derinami su funkcinėmis savybių išlaikymu, nes darbo drabužiams svarbus atsparumas dėvėjimuisi, komfortas, priežiūros paprastumas ir ilgaamžiškumas.

3.5. Duomenų susiejimas ir pateikimas

Duomenų priskyrimas ir pateikimas atliekamas kaip nuosekli procedūra (žr.14 lentelę), kuria siekiama priskirti konkrečiam gaminiui ir paruošti juos SPP struktūrai.

lentelė 14. Duomenų priskyrimas gaminiui

Eil. nr	SPP elementas	Duomenys
1.	Produkto tipas	Uniforminės darbo kelnės
2.	Produkto ID	UD-KELN-001
3.	Partija	2025-01
4.	Identifikavimo priemonė	QR kodas.
5.	Pagrindinis audinys	Poliesterio 65 % ir medvilnės mišinys 35 %
6.	Priedai	Užtrauktukas, sagos, atspindinčios juostos, siūlai, kniedės, etiketė
7.	Pakavimo medžiagos	Poetileninis maišelis, kartoninė pakavimo dėžė
8.	Gamybos operacijos	Kirpimas, siuvimas, surinkimas
9.	Energijos sąnaudos	3,2 MJ
10.	Atliekos	Kirpimo atraižos – 150 g (10 % gaminio)
11.	Skalbimų skaičius	100 ciklų (per 2 metus)
12.	Skalbimo temperatūra	60 °C
13.	Naudojimo pobūdis	Intensyvus naudojimas darbo aplinkoje
14.	Bendras poveikis aplinkai	101,49 kg CO ₂ ekv./vnt.
15.	Naudojimo etapo poveikis	74,9 kg CO ₂ ekv. (73,8 %)
16.	Žaliavų etapo poveikis aplinkai	16,5 %
17.	Transporto etapo poveikis aplinkai	8,1 %
18.	Vandens sąnaudos gaminiui	~2600 l/vnt.
19.	Pavojingos cheminės medžiagos	Nenustatyta
20.	Žiediškumas	Vidutinis (0,43 pagal MCI)
21.	Žiediškumo ribojimai	Mišri sudėtis, sudėtingas išardymas, ribotas perdirbamumas
22.	Produkto sudarymo schema	Kelnių eskizas (žr. 4 priedą)

SPP struktūroje vartotojui pateikiama informacija apie uniformines darbo kelnes (žr. 15 lentelę), nurodomi pagrindiniai produkto sudėties, aplinkosauginio poveikio, naudojimo, remonto, perdirbimo bei žiediškumo rodikliai, kurie yra naudingi tiek vartotojui, tiek tiekimo grandinės dalyviams. Informacijos prieigos lygiai paskirstyti pagal duomenų jautrumą ir detalumo lygį vertės grandinėje: nuo viešai prieinamos informacijos (Visi) iki ribotos prieigos techninių ir audito duomenų (Inspektuotojas).

lentelė 15. SPP struktūra ir duomenų pateikimas vartotojui ir kitiems vertės grandinės dalyviams

Eilės Nr.	SPP elementas	Duomenys	Prieigos lygis pagal vertės grandinės dalyvį
1.	Produkto tipas	Uniforminės darbo kelnės	Visi
2.	Produkto ID	UD-KELN-001	Visi
3.	Partija	2025-01	Visi
4.	Identifikavimo priemonė	QR kodas, RFID kodas	Visi
5.	Pagrindinis audinys	Poliesteris 65 % ir medvilnės mišinys 35 %	Vartotojas

6.	Priedai	Užtrauktukas, sagos, atspindinčios juostos, siūlai, kniedės, etiketė	Vartotojas
7.	Pakavimo medžiagos	Polietileno maišelis, kartoninė pakavimo dėžė	Vartotojas
8.	Skalbimų skaičius	100 ciklų (per 2 metus)	Vartotojas
9.	Skalbimo temperatūra	60 °C	Vartotojas
10.	Naudojimo pobūdis	Intensyvus naudojimas darbo aplinkoje	Vartotojas
11.	Naudojimo etapo poveikis	74,9 kg CO ₂ ekv. (73,8 %)	Vartotojas
12.	Remontas	Galimas (pridedamas eskizas ir siuvimo lekalai)	Vartotojas
13.	Perdirbimas	Ribotas dėl mišrių medžiagų	Vartotojas
14.	Transporto etapo poveikis aplinkai	8,1 %	Vežėjas
15.	Pakavimo informacija	Pakavimo medžiagos ir logistika	Vežėjas
16.	Gamybos operacijos	Kirpimas, siuvimas, surinkimas	Tiekėjas
17.	Energijos sąnaudos	3,2 MJ	Tiekėjas
18.	Atliekos	Kirpimo atraižos – 150 g (10 % gaminio)	Tiekėjas
19.	Vandens sąnaudos gaminiui	~2600 l/vnt.	Tiekėjas
20.	Žiediškumo ribojimai	Mišri sudėtis, sudėtingas išardymas	Tiekėjas
21.	Produkto sudarymo schema	Kelnių eskizas	Gamintojas
22.	Pasiūlymai žiediškumui	Mažinti skalbimo temperatūrą, gerinti taisymo galimybes	Gamintojas
23.	QR kodo informacija	Sudėtis, CO ₂ pėdsakas, priežiūra, remontas, perdirbimas	Gamintojas
24.	Žaliavų etapo poveikis aplinkai	16,5 %	Žaliavų gamintojas
25.	Pagrindinių medžiagų kilmė	Poliesterio ir medvilnės tiekimo grandinė	Žaliavų gamintojas
26.	Bendras poveikis aplinkai	101,49 kg CO ₂ ekv./vnt.	Inspektuotojas
27.	Pavojingos cheminės medžiagos	Nenustatyta	Inspektuotojas
28.	Žiediškumas	Vidutinis (0,43 pagal MCI)	Inspektuotojas

Pastabos:

1. Vizualizacijos tikslais prieigos lygis parodomas su spalvinio tono stiprėjimu.
2. Raudonai pažymėti duomenys rodo duomenų trūkuma vertės grandinėje, kurie gali būti papildomi siunčiant užklausas atitinkamiems vertės grandinės dalyviams.

3.6. Gamybos įmonės pasirengimas skaitmeniniam produkto paso diegimui

Daugelio gamybos įmonių pasirengimas SPP diegimui šiuo metu yra ribotas dėl technologinių, organizacinių ir ekonominių veiksnių. Dažnai naudojamos tik bazinės gaminių kortelės, duomenys kaupiami fragmentiškai, o žaliavų apskaita vykdoma rankiniu būdu ar naudojant lenteles (žr. 3 priedą). Trūksta integruotų sistemų, leidžiančių susieti žaliavas, gamybos procesus ir galutinį produktą bei užtikrinti viso produkto būvio ciklo atsekamumą.

Įmonėse taip pat nėra plačiai taikomos produkto identifikavimo technologijos, tokios kaip QR ar RFID kodai [73], o duomenys apie produkto naudojimą, remontą ar utilizavimą dažniausiai nėra renkami. Tai riboja galimybes vertinti produkto ilgaamžiškumą ir žiediškumą.

Žemiau, 16 lentelėje, pateikiamas orientacinis ir subjektyvus vertinimas, skirtas situacijos palyginimui ir iliustravimui, jis neturėtų būti siejamas su konkrečia įmone ar rinkos dalyviu. Pateiktas sąrašas nėra baigtinis – praktikoje vertinamų sričių ir kriterijų gali būti gerokai daugiau, tačiau šiame skyriuje pateikiami pagrindiniai pavyzdžiai bendram įsivaizdavimui sudaryti (žr. 16 lentelę).

lentelė 16. Pasirengimo lygis SPP

Vertinama sritis	Kas jau padaryta	Kas turi būti padaryta
Žaliavų apskaita	Žaliavų duomenys kaupiami lentelėse ir vidinėse gaminių kortelėse.	Diegti centralizuotą duomenų valdymo sistemą.
Atliekų apskaita	Fiksuojamos gamybos atliekos.	Sukurti atliekų sekimo ir analizės sistemą.
Energijos sąnaudų stebėjimas	Vertinamos bendros energijos sąnaudos.	Automatizuoti energijos sunaudojimo stebėseną.
Vandens sunaudojimo apskaita	Vertinami orientaciniai vandens kiekiai.	Diegti tikslią vandens sunaudojimo apskaitą.
Produktų remonto galimybės	Numatytas galimas remontas.	Sukurti remonto registravimo sistemą ir rekomendacijas.
Perdirbimo informacija	Nevykdomas.	Parengti aiškias perdirbimo instrukcijas.
Gamybos procesų sekimas	Fiksuojami pagrindiniai gamybos procesai.	Skaitmenizuoti visus gamybos etapus.
Produkto atsekamumas	Produkto duomenys saugomi fragmentiškai vidinėse įmonės duomenų bazėse.	Užtikrinti pilną produkto būvio ciklo atsekamumą.
Produkto identifikavimas	Naudojami vidiniai produkto kodai.	Diegti QR arba RFID identifikavimo technologijas.
Aplinkosauginių rodiklių vertinimas	Visiškai nevykdomi.	Rinkti, automatizuoti aplinkosauginių duomenų rinkimą.
Duomenų rinkimas apie naudojimą	Visiškai nevykdomi, problemos sprendimas būna tik momentinis.	Rinkti realius produkto naudojimo ir remonto duomenis.
Žiediškumo vertinimas	Nevykdomas.	Rinkti, automatizuoti žiediškumo duomenis, pagal duomenis didinti perdirbamumą ir remonto galimybes.
Darbuotojų kompetencijos	Turimos bazinės žinios apie SPP ir tvarumą.	Organizuoti darbuotojų mokymus apie SPP sistemas.
Bendradarbiavimas su tiekėjais	Bendravimas tik paviršutiniškas, pirk-parduok taisyklė.	Sukurti standartizuotą duomenų apsikeitimo sistemą.
Duomenų pateikimas vartotojui	Duomenys perduodami tik, etiketės ir instrukcijos pavidalu.	Sukurti pilnai veikiančią skaitmeninio produkto paso platformą.
Duomenų apsikeitimas su kitais vertės grandinės dalyviams	Duomenys apsikeičiami vykdant viešuosius pirkimus.	Sukurti nuolatinę skaitmeninę duomenų apsikeitimo sistemą tarp visų tiekimo grandinės dalyvių.

Teisinių reikalavimų pasirengimas	Nestebimi ES reikalavimai.	Pritaikyti procesus būsimiems SPP reikalavimams.
-----------------------------------	----------------------------	--

Norint pasirengti SPP diegimui, būtina diegti centralizuotas duomenų valdymo sistemas, stiprinti darbuotojų kompetencijas ir plėtoti bendradarbiavimą su tiekėjais bei kitais partneriais. Tačiau pokyčius stabdo ribota ekonominė motyvacija, nepakankami išoriniai reikalavimai ir atsargus požiūris į investicijas.

3.7. Rezultatų apibendriniamas

Atlikus uniforminių darbo kelių būvio ciklo bei žiediškumo vertinimą nustatyta, kad bendras gaminio poveikis klimato kaitai siekia 101,49 kg CO₂ ekv. vienam gaminiui. Didžiausia poveikio dalis tenka naudojimui ir priežiūrai etapui – 74,9 kg CO₂ ekv., tai sudaro 73,8 % viso poveikio. Gauti rezultatai rodo, kad didžiausios galimybės mažinti aplinkosauginį poveikį yra susijusios su efektyvesniu skalbimu, džiovimu ir priežiūros procesų organizavimu.

Vertinant kitus būvio ciklo etapus nustatyta, kad žaliavų gamyba sudaro 16,5 % bendro poveikio aplinkai, o transportavimo etapas – 8,1 %. Tuo tarpu gamybos, sandėliavimo ir būvio ciklo pabaigos etapai bendram rezultatui turėjo gerokai mažesnę įtaką.

Vandens ir energijos sąnaudų analizė parodė, kad naudojimo etape vienam gaminiui tenka apie 750 litrų vandens ir 110 MJ energijos sąnaudų. Žaliavų gamybos etape šios sąnaudos buvo dar didesnės – apie 1850 litrų vandens ir 261 MJ energijos. Tai leidžia teigti, kad tiek naudojamų medžiagų pasirinkimas, tiek gaminio eksploatavimo intensyvumas reikšmingai lemia bendrą produkto poveikį aplinkai.

Žiediškumo vertinimas, remiantis „Material Circularity Indicator“ (MCI) metodika, parodė, kad analizuojamo gaminio žiediškumo koeficientas siekia 0,43 (skalėje nuo 0 iki 1), tai atspindi vidutinį žiediškumo lygį. Nustatyta, kad pagrindiniai žiediškumą ribojantys veiksniai yra mišri audinių sudėtis, sudėtingesnis komponentų atskyrimas bei ribotos perdirbimo galimybės pasibaigus gaminio naudojimui.

Scenarijų modeliavimo rezultatai parodė, kad didžiausią įtaką aplinkosauginiams rodikliams turi skalbimo dažnumas ir temperatūra. Dažnesnis skalbimas didina energijos ir vandens sąnaudas bei CO₂ emisijas, o skalbimo temperatūros sumažinimas nuo 60 °C iki 30 °C leidžia sumažinti naudojimo etapo poveikį aplinkai. Taip pat nustatyta, kad ilgesnė gaminio naudojimo trukmė prisideda prie bendro poveikio mažinimo, nes sumažėja naujų gaminių poreikis.

Tyrime parodytas duomenų sisteminimo ir skaitmeninio produkto paso duomenų pateikimo pavyzdys, kuris parodo kaip praktiškai gali būti pritaikomas darbo drabužių sektoriuje. Tokia duomenų kaupimo sistema sudarytų galimybes gauti svarbią informaciją apie medžiagų sudėtį, CO₂ emisijas, energijos ir vandens sąnaudas, remonto istoriją, naudojimo trukmę, bei gaminio būvio ciklo pabaigos sprendimus ir padėtų užtikrinti didesnę tiekimo grandinės skaidrumą, efektyvesnį duomenų valdymą, sudarytų prielaidas plačiau taikyti žiedinės ekonomikos principus darbo drabužių vertės grandinėje.

Išvados

1. Literatūros analizė parodė, kad skaitmeninis produkto pasas tekstilės sektoriuje yra svarbi priemonė didinant tiekimo grandinės skaidrumą, žiediškumą ir duomenų atsekamumą. Nustatyta, kad daugiau nei 50 % tekstilės gaminių yra pagaminti iš mišrių pluoštų, o tai apsunkina perdirbimą ir reikalauja tikslios duomenų valdymo sistemos. Taip pat identifikuota, kad iki 80 % produkto poveikio aplinkai yra nulemiama projektavimo etape, todėl SPP tampa svarbiu įrankiu ekologinio projektavimo ir būvio ciklo valdymo sprendimams. Literatūra atskleidė, kad efektyvus SPP taikymas priklauso nuo įmonių gebėjimo rinkti, sisteminti ir integruoti duomenis skirtinguose produkto būvio ciklo etapuose. Skaitmeninių sistemų ir duomenų valdymo procesų pasirengimas yra svarbiausia diegimo sąlyga tekstilės sektoriuje.
2. Įvertinus darbo drabužių vertės grandinės struktūrą nustatyta, kad ją sudaro pagrindiniai etapai: žaliavų tiekimas, audinių ir priedų gamyba, siuvimas, logistika, naudojimas bei būvio pabaigos procesai. Didžiausi duomenų srautai susidaro žaliavų kilmės, gamybos procesų, transportavimo, naudojimo ir priežiūros etapuose. Analizuojant vertės grandinę nustatyta, kad naudojimo ir priežiūros etapas sudaro net 73,8 % viso produkto poveikio klimatui. Žaliavų gamybos etapas sudaro 16,5 %, o transportavimo etapas – 8,1 % bendro poveikio aplinkai. Tyrimas atskleidė, kad efektyvus duomenų srautų valdymas leidžia užtikrinti didesnę tiekimo grandinės skaidrumą, geresnę gaminio atsekamumą bei sudaro sąlygas integruoti skaitmeninį produkto pasą visame būvio cikle.
3. Remiantis tyrimo rezultatais nustatyta, kad bendras analizuojamo gaminio poveikis klimato kaitai siekia 101,49 kg CO₂ ekv. vienam gaminiui. Didžiausia poveikio dalis yra naudojimo ir priežiūros etape – 74,9 kg CO₂ ekv., tai sudaro 73,8 % viso poveikio aplinkai. Tyrimas taip pat parodė, kad reikšmingiausias įtaką daro skalbimo ir džiovinimo procesai, bei vandens sąnaudos per visą būvio ciklą (2630 Ltr/f. vnt.). Žiediškumo vertinimas, atliktas pagal MCI metodiką, parodė, kad darbo drabužio žiediškumo koeficientas siekia 0,43, todėl gaminyje pasižymi vidutiniu žiediškumo lygiu. Nustatyta, kad pagrindiniai žiediškumą ribojantys veiksniai yra mišri medžiagų sudėtis, sudėtingas komponentų atskyrimas ir ribotos perdirbimo galimybės. Tyrimo rezultatai patvirtino, kad produkto ilgaamžiškumo didinimas, efektyvesnė priežiūra ir geresnis perdirbamumas gali reikšmingai sumažinti darbo drabužių poveikį aplinkai bei pagerinti žiediškumo rodiklius.
4. Parengtas rekomendacinis skaitmeninio produkto paso modelis parodė, kad darbo drabužių sektoriuje svarbiausia centralizuotai kaupti, bei išsamiai pateikti duomenis apie žaliavų sudėtį, anglies pėdsaką, energijos ir vandens sąnaudas, remonto istoriją bei gaminio žiediškumą. Nustatyta, kad taip įmonėms būtų lengviau stiprinti skaitmeninių sistemų integraciją ir automatizuotą duomenų rinkimą, siekiant užtikrinti efektyvų informacijos atsekamumą visoje vertės grandinėje. Darbe taip pat parodytas struktūruotas duomenų paskirstymo modelis, kuriame informacija suskirstyta pagal vertės grandinės dalyvius ir prieigos lygius, užtikrinantis aiškų, nuoseklų ir praktiškai pritaikomą SPP informacijos valdymą. Įmonėms rekomenduojama diegti ERP sistemas, integruoti QR arba RFID identifikavimo sprendimus bei naudoti „CcalC2“ ir MCI metodiką, kurios leidžia tiksliau vertinti produkto poveikį aplinkai ir priimti duomenimis grįstus sprendimus.

Literatūros sąrašas

1. EPRS. *Digital Product Passport for the Textile Sector/Think Tank / European Parliament*. Prieiga per internetą: [https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_STU\(2024\)757808](https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_STU(2024)757808) [žiūrėta 2026-04-22].
2. TrusTrace. Trace4Value Digital Product Passport in Textile - Data Protocol (2024). Prieiga per internetą: <https://trace4value.se/content/uploads/2023/09/Trace4Value-Digital-Product-Passport-in-Textile-Data-Protocol-2023-09-06.pdf> [žiūrėta 2026-05-03].
3. YLISTALO, P. a. *Digital Product Passports Enabling Value Creation in Circular Economy: A Case Study in Clothing Sector Degree Programme of Risk Management and Circular Economy Master of Business Administration*, 2025. Prieiga per internetą: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/894912/Ylistalo_Paivi.pdf?isAllowed=y&sequence=2& [žiūrėta 2026-04-22].
4. MOHAMMAD, K. ir HOSSAIN, I. *Transforming the Global Textile Industry Through Innovation, Policy and Climate Resilience* (2025). Prieiga per internetą: https://www.researchgate.net/publication/393777722_Transforming_the_Global_Textile_Industry_Through_Innovation_Policy_and_Climate_Resilience [žiūrėta 2026-04-22].
5. PAPILE, F. ir Del Curto Barbara. *Textile Materials Information for Digital Product Passport Implementation in the Textile and Clothing Ecosystem: A Review on the Role of Raw Fibers in a Substantial Transition*. MDPI: Multidisciplinary Digital Publishing Institute, oct, 2025. Prieiga per internetą: <https://www.mdpi.com/2071-1050/17/19/8804> [žiūrėta 2026-04-13].
6. INGWERSEN, W. ir AMIR, S. *Introduction to Life Cycle Assessment Methodology and Standards*. Prieiga per internetą: <https://www.epa.gov> [žiūrėta 2026-04-13].
7. ABAGNATO, S.; RIGAMONTI, L. ir GROSSO, M. Life cycle assessment applications to reuse, recycling and circular practices for textiles: A review. *Waste Management*, t. 182 (2024), nr. March, p. 74–90. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2024.04.016> [žiūrėta 2026-05-03].
8. OJANSUU, J. *Digital Product Passport Implementation: Key Factors and Challenges in Circular Economy of Textiles*. Prieiga per internetą: <https://aaltodoc.aalto.fi/items/1f5a7eea-037d-4c5e-b8db-07f238cab91f> [žiūrėta 2026-05-04].
9. THESIS, M. ir QUICK, L. *Preparing in the Light of Uncertainty: How Textile Companies respond to New Regulations on the Digital Product Passport*. Prieiga per internetą: <https://studenttheses.uu.nl/items/10418e73-5a6a-4bd3-8d45-b345cc64dea7> [žiūrėta 2026-04-13].
10. ABOUMORRA, M. R. ir LADU, L. *Exploring the Potential Role of Digital Product Passports in Driving the Textile Sector's Transition Towards a Circular Bio-Based Economy*. Prieiga per internetą: <https://ssrn.com/abstract=5029729> [žiūrėta 2026-05-10].

11. Thomas Bennis. Master Thesis - SBI -Thomas Bennis - 4972902 - Towards an EPR for textiles. Prieiga per internetą: <https://studenttheses.uu.nl/server/api/core/bitstreams/43c215e2-4604-4e7a-a141-5f43343444f4/content> [žiūrėta 2026-05-12].
12. Europos Parlamentas ir Taryba. *Gaminių Ekologinio Projektavimo Reikalavimų Nustatymo Sistema*. [2024. Prieiga per internetą: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/?uri=CELEX%3A32024R1781>] [žiūrėta 2026-05-10].
13. BLOT, E. External impacts of new EU sustainable product standards Exploring spillovers of the Ecodesign for Sustainable Products Regulation (2025), p. 1–20. Prieiga per internetą: <https://ieep.eu/wp-content/uploads/2025/04/External-impacts-of-new-EU-sustainable-product-standards-IEEP-2025.pdf> [žiūrėta 2026-05-04].
14. Humana People to People Baltic. *EU Strategy for Sustainable and Circular Textiles Stakeholder Response*. , 2022. Prieiga per internetą: https://www.eesc.europa.eu/sites/default/files/files/sustainable_and_circular_textiles.pdf [žiūrėta 2026-04-15].
15. European Commission. *Parliament Adopts New EU Rules to Reduce Textile and Food Waste*. [2022. Prieiga per internetą: <https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20250905IPR30172/parliament-adopts-new-eu-rules-to-reduce-textile-and-food-waste>] [žiūrėta 2026-05-10].
16. OJANSUU, J. *Digital Product Passport Implementation: Key Factors and Challenges in Circular Economy of Textiles*. [2024. Prieiga per internetą: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-202408255581>] [žiūrėta 2026-05-12].
17. Domskienė Jurgita ir GAIDULE, E. *An Overview of Technological Challenges in Implementing the Digital Product Passport in the Textile and Clothing Industry*. , 2024. Prieiga per internetą: <https://epubl.ktu.edu/object/elaba%3A210913787/210913787.pdf> [žiūrėta 2026-05-04].
18. *Patagonia Material Traceability*. Prieiga per internetą: <https://www.patagonia.com/our-footprint/material-traceability.html> [žiūrėta 2026-05-03].
19. *IKEA Sustainability*. Prieiga per internetą: <https://www.ikea.com/global/en/our-business/sustainability> [žiūrėta 2026-05-03].
20. Lindtrom. *Using RFID Chip Technology to Optimise Processes*. [2026. Prieiga per internetą: <https://lindstromgroup.com/uk/article/using-rfid-chip-technology-to-optimise-processes>] [žiūrėta 2026-05-12].
21. European Environment Agency. *Management of used and Waste Textiles in Europe's Circular Economy*. Prieiga per internetą: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/management-of-used-and-waste-textiles-in-europes-circular-economy> [žiūrėta 2026-05-12].

22. Ellen MacArthur foundation,. *Unstable Fashion and Textiles*. Prieiga per internetą: <https://www.unep.org/news-and-stories/press-release/unsustainable-fashion-and-textiles-focus-international-day-zero> [žiūrėta 2026-04-22].
23. Textile Exchange. *Preferred Fiber & Materials: Market Report 2022*. [2022. Prieiga per internetą: <https://textileexchange.org/preferred-fiber-and-materials-market-report/> [žiūrėta 2026-05-10].
24. EPRS. *Digital Product Passport for the Textile Sector*. Prieiga per internetą: https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2024/757808/EPRS_STU%282024%29757808_EN.pdf [žiūrėta 2026-04-22].
25. European Commission. *From Across the Eu Green Public Procurement : .* Prieiga per internetą: https://green-forum.ec.europa.eu/green-business/green-public-procurement/gpp-criteria-and-requirements_en [žiūrėta 2026-05-12].
26. ECAP. *European Clothing Action Plan*. [2019. Prieiga per internetą: <http://www.ecap.eu.com/> [žiūrėta 2026-05-12].
27. SPP Programme. *Sustainable Public Procurement Programme*. [2024. Prieiga per internetą: https://afvalcirculair.nl/publish/pages/225303/report-on-mandatory-gpp-criteria-for-textiles_final.pdf [žiūrėta 2026-05-10].
28. Aplinkos ministerija. *Žalieji Viešieji pirkimai*. Prieiga per internetą: <https://am.lrv.lt/lt/veiklos-sritys-1/zalieji-pirkimai> [žiūrėta 2026-05-12].
29. Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija. *Aplinkos Apsaugos Kriterijų Taikymo, Vykdam Žaliuosius Pirkimus, Tvarkos Aprašas*. [2025 [žiūrėta 2026-04-11].
30. BIJLEVELD, M. *Measuring the Impact of Circular Procurement of Workwear*. Prieiga per internetą: <https://cedelft.eu/publications/measuring-the-impact-of-circular-procurement-of-workwear/> [žiūrėta 2026-04-18].
31. MALINVERNO, N.; SCHMUTZ, M.; NOWACK, B. ir SOM, C. *Identifying the Needs for a Circular Workwear Textile Management – A Material Flow Analysis of Workwear Textile Waste within Swiss Companies*. [2023. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344922005602?via%3Dihub> [žiūrėta 2026-05-10].
32. OpenAI. *OpenAI. (2025). ChatGPT (GPT-5).[Programinė Įranga]*. 2025. Prieiga per internetą: <https://chatgpt.com/> [žiūrėta 2026-05-10].
33. ORNELAS, C.; G UERECA, L. P. ir HELDEWEG, M. *A Life Cycle Thinking Approach to Analyse Sustainability in the Textile Industry: A Literature Review*. [2020. Prieiga per internetą: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/23/10193> [žiūrėta 2026-04-22].

34. BUTTURI, M. A.; NERI, A.; MERCALLI, F. ir GAMBERINI, R. *Sustainability-Oriented Innovation in the Textile Manufacturing Industry: Pre-Consumer Waste Recovery and Circular Patterns*. [2025 [žiūrėta 2026-05-03].
35. ROOS, S. *Advancing Life Cycle Assessment of Textile Products to Include Textile Chemicals*. , 2016. Prieiga per internetą: <https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/246361/246361.pdf> [žiūrėta 2026-05-10].
36. KAMBANOU, M. L.; MATSCHEWSKY, J. ir CARLSON, A. *Business Models and Product Designs that Prolong the Lifetime of Construction Workwear: Success, Failure and Environmental Impacts*. [2024Elsevier B.V. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107602> [žiūrėta 2026-05-01].
37. WAGNER, V.; KEIL, M.; LANG-KOETZ, C. ir VIERE, T. *Screening Life Cycle Assessment of Medical Workwear and Potential Mitigation Scenarios*. Elsevier Ltd. , 2023. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.07.026> [žiūrėta 2026-05-03].
38. BENNIS, T.; REIKE, D. ir OELERICH, J. *Towards a Circular Textile Industry*. [2022. Prieiga per internetą: <https://studenttheses.uu.nl/bitstream/handle/20.500.12932/43441/Master%20Thesis%20-%20SBI%20-Thomas%20Bennis%20-%204972902%20-%20Towards%20an%20EPR%20for%20textiles.pdf> [žiūrėta 2026-04-15].
39. RUBIK, F.; NEBEL, K.; KLUSCH, C.; KARG, H.; HECHT, K. ir kt. *Textiles on the Path to Sustainability and Circularity – Results of Application Tests in the Business-to-Business Sector*. [2024. Prieiga per internetą: <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/14/5920> [žiūrėta 2026-05-03].
40. Luisa María Santofimio Varón. *Longevity Extension of Textile Apparel Based on Strategies of Ecodesign, Circular Economy and Value Chain Traceability*. , 2025. Prieiga per internetą: <https://epubl.ktu.edu/object/elaba%3A237363223/237363223.pdf> [žiūrėta 2026-05-10].
41. *Elis- Company*. Prieiga per internetą: <https://fr.elis.com/en> [žiūrėta 2026-05-03].
42. *Cintas*. Prieiga per internetą: <https://www.cintas.com/> [žiūrėta 2026-05-03].
43. Lindstrom. *RFID Technology in Workwear: How Smart Uniform Tracking Optimises Workplace Processes*. Prieiga per internetą: <https://lindstromgroup.com/uk/article/using-rfid-chip-technology-to-optimise-processes> [žiūrėta 2026-04-22].
44. RAPSKEVIČIENĖ, J. *Gamybinės Tekstilės Atliekų Prevencijos Ir Panaudojimo Galimybių Vertinimas*. [2017. Prieiga per internetą: <https://epubl.ktu.edu/object/elaba%3A28985890/28985890.pdf> [žiūrėta 2026-04-22].
45. European Environment Agency. *Textiles and the Environment: The Role of Design in Europe's Circular Economy*. Prieiga per internetą:

- <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/textiles-and-the-environment-the-role-of-design-in-europes-circular-economy-1> [žiūrēta 2026-05-03].
46. SHAMINI, M.; MALA, D.; DHAIRIYASAMY, R. ir GABIRIEL, D. Integration of green supply chain and logistics practices in textiles and their impact on united nations sustainable development goals. *Discover Sustainability*, t. 7 (2026), nr. 1. Prieiga per internetą: <https://link.springer.com/10.1007/s43621-026-02671-6> [žiūrēta 2026-04-22].
47. RUBIK, F.; NEBEL, K.; KLUSCH, C.; KARG, H.; HECHT, K. ir kt. *Textiles on the Path to Sustainability and Circularity – Results of Application Tests in the Business-to-Business Sector*. [2024jul].MDPI Iš: Multidisciplinary Digital Publishing Institute. Prieiga per internetą: <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/14/5920> [žiūrēta 2026-05-03].
48. AGRAWAL, T. K.; KUMAR, V.; PAL, R.; WANG, L. ir CHEN, Y. Blockchain-based framework for supply chain traceability: A case example of textile and clothing industry. *Computers and Industrial Engineering*, t. 154 (2021), nr. January, p. 107130. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107130> [žiūrēta 2026-04-13].
49. AHMED, W. A. H. ir MACCARTHY, B. L. Blockchain-enabled supply chain traceability in the textile and apparel supply chain: A case study of the fiber producer, lenzing. *Sustainability (Switzerland)*, t. 13 (2021), nr. 19. Prieiga per internetą: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/19/10496> [žiūrēta 2026-05-09].
50. UNIDO. *Digital Product Passport Readiness Assessment Study for the Textile Industry in the Global South*. [2025. Prieiga per internetą: <https://www.unido.org> [žiūrēta 2026-05-12].
51. DUREN, M.; WALSH, J.; ALDRIDGE, H. ir YU, M. D. *Resilient Device Authentication System (RDAS) through SIOMETRICS*. [2013. Prieiga per internetą: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/2459976.2459978> [žiūrēta 2026-05-10].
52. DENUWARA, N.; MAIJALA, J. ir HAKOVIRTA, M. *Sustainability Benefits of RFID Technology in the Apparel Industry*. [2019. Prieiga per internetą: <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/22/6467> [žiūrēta 2026-04-20].
53. Fristads. *Carbon Emissions almost Halved with Environmental Product Declaration*. [2020. Prieiga per internetą: <https://newsroom.fristads.com/posts/pressreleases/carbon-emissions-almost-halved-with-environme> [žiūrēta 2026-04-13].
54. PAPILE, F. ir Del Curto Barbara. Textile Materials Information for Digital Product Passport Implementation in the Textile and Clothing Ecosystem: A Review on the Role of Raw Fibers in a Substantial Transition. *Sustainability (Switzerland)*, t. 17 (2025), nr. 19, p. 1–23. Prieiga per internetą: <https://www.mdpi.com/2071-1050/17/19/8804> [žiūrēta 2026-04-22].

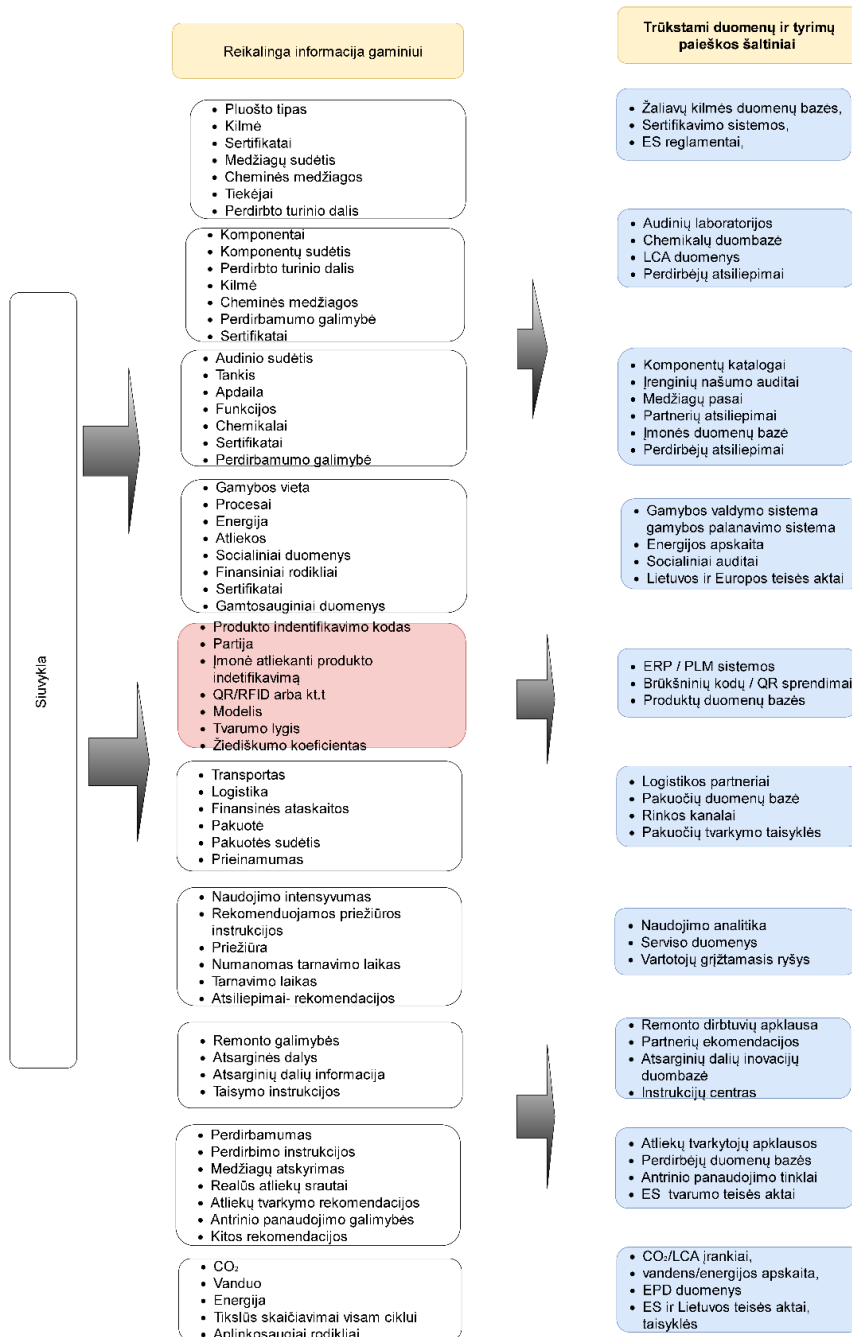
55. KOHL, S. *Implications of the Digital Product Passport Implementation on the Production System of Textile Manufacturers : An Exploratory Study to Give Future Perspective*. [2024. Prieiga per internetą: <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:hj:diva-66212> [žiūrėta 2026-05-10].
56. Honeywell. *Realaus Laiko Duomenų Perdavimas*. [2026. Prieiga per internetą: <https://automation.honeywell.com/au/en/software/detection-measurement-and-control/safety-suite/safety-suite-real-time> [žiūrėta 2026-05-12].
57. *Open Lca*. Prieiga per internetą: <https://www.openlca.org/> [žiūrėta 2026-04-13].
58. Ellen MacArthur Foundation. *Material Circularity Indicator (MCI)*. Prieiga per internetą: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/material-circularity-indicator> [žiūrėta 2026-04-22].
59. Drawio.com. *Paveikslėliams Ir Diagramoms Braižyti Skirta Programa*. Prieiga per internetą: <https://www.drawio.com/> [žiūrėta 2026-04-22].
60. *Washing Machine Water & Energy Consumption*. Prieiga per internetą: <https://laveries-speed-queen.fr/en/blog/washing-machine-energy-consumption> [žiūrėta 2026-05-03].
61. SANDIN, G. ir PETERS, G. M. *Environmental Impact of Textile Reuse and Recycling*. [2018Elsevier Ltd. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.266> [žiūrėta 2026-04-13].
62. Ccalc2 program. *Ccalc2*. Prieiga per internetą: <https://www.ccalc.org.uk/> [žiūrėta 2026-05-03].
63. GODDIN, J.; MARSHALL, K.; PEREIRA, A.; DESIGN, G.; HERRMANN, S. ir kt. *An Approach to Measuring Circularity*. , 2019. Prieiga per internetą: <https://content.ellenmacarthurfoundation.org/m/77e62bc9924c20d0/original/Circularity-Indicators-Methodology.pdf> [žiūrėta 2026-05-10].
64. BRUNNER, P. H. ir RECHBERGER, H. *Practical Handbook of Material Flow Analysis*. [2016. Prieiga per internetą: <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/9780203507209/practical-handbook-material-flow-analysis-paul-brunner-helmut-rechberger> [žiūrėta 2026-05-12].
65. ABTEW, M. A.; ATALIE, D. ir DEJENE, B. K. *Recycling of Cotton Textile Waste: Technological Process, Applications, and Sustainability within a Circular Economy*. [2025may].SAGE Publications. Prieiga per internetą: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/15280837251348663> [žiūrėta 2026-05-03].
66. Kauno švara. *Kauno Švara*. Prieiga per internetą: <https://www.svara.lt/> [žiūrėta 2026-05-03].
67. Vidaus reikalų ministerija,. *Dėl Laikinių Vidaus Tarnybos Pareigūnų Uniformos Dėvėjimo Taisyklių*. [2026. Prieiga per internetą: <https://www.temidy.lt/teises-aktas/4923> [žiūrėta 2026-05-12].
68. INGUN GRIMSTAD KLEPP, K. L., ir Stephen Wiedemann. *Clothing Lifespans: What should be Measured and How*. Prieiga per internetą:

- https://www.researchgate.net/publication/343394228_Clothing_Lifespans_What_Should_Be_Measured_and_How [žiūrėta 2026-05-03].
69. Aplinkos apsaugos agentūra. *Tekstilės Gaminių Perdirbimas*. Prieiga per internetą: <https://aaa.lrv.lt/lt/naujienos/tekstiles-gaminiu-naudojama-vis-daugiau-surenkama-ir-perdirbama-per-mazai> [žiūrėta 2026-05-03].
70. Galimybių studija. *Galimybių Studija "LATIA Eksporto Plėtra" Skirta: Lietuvos Aprangos Ir Tekstilės Įmonių Asociacijai*. Prieiga per internetą: https://latia.lt/wp-content/uploads/2021/10/naujienos_2020_11_12_030_galimybiu_studija.pdf [žiūrėta 2026-05-12].
71. European Platform. *European Platform on Life Cycle Assessment*. Prieiga per internetą: <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/> [žiūrėta 2026-05-08].
72. TRZEPACZ, S.; Dina Bekkevold Ling\aaas Norion; Lise Asscherickx Norion; Karolien Peeters Vito; Hilde van Duijn Vito ir kt. *LCA-Based Assessment of the Management of European used Textiles*. Prieiga per internetą: https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/2023-02/LCA-based%20assessment%20of%20the%20management%20of%20European%20used%20textiles_corrected.pdf [žiūrėta 2026-04-22].
73. AZEVEDO, S. G. ir CARVALHO, H. *RFID Technology in the Fashion Supply Chain: An Exploratory Analysis*. [2011. Prieiga per internetą: <https://docentes.fct.unl.pt/hmlc/publications/contribution-rfid-technology-better-management-fashion-supply-chains> [žiūrėta 2026-04-24].

Priedai

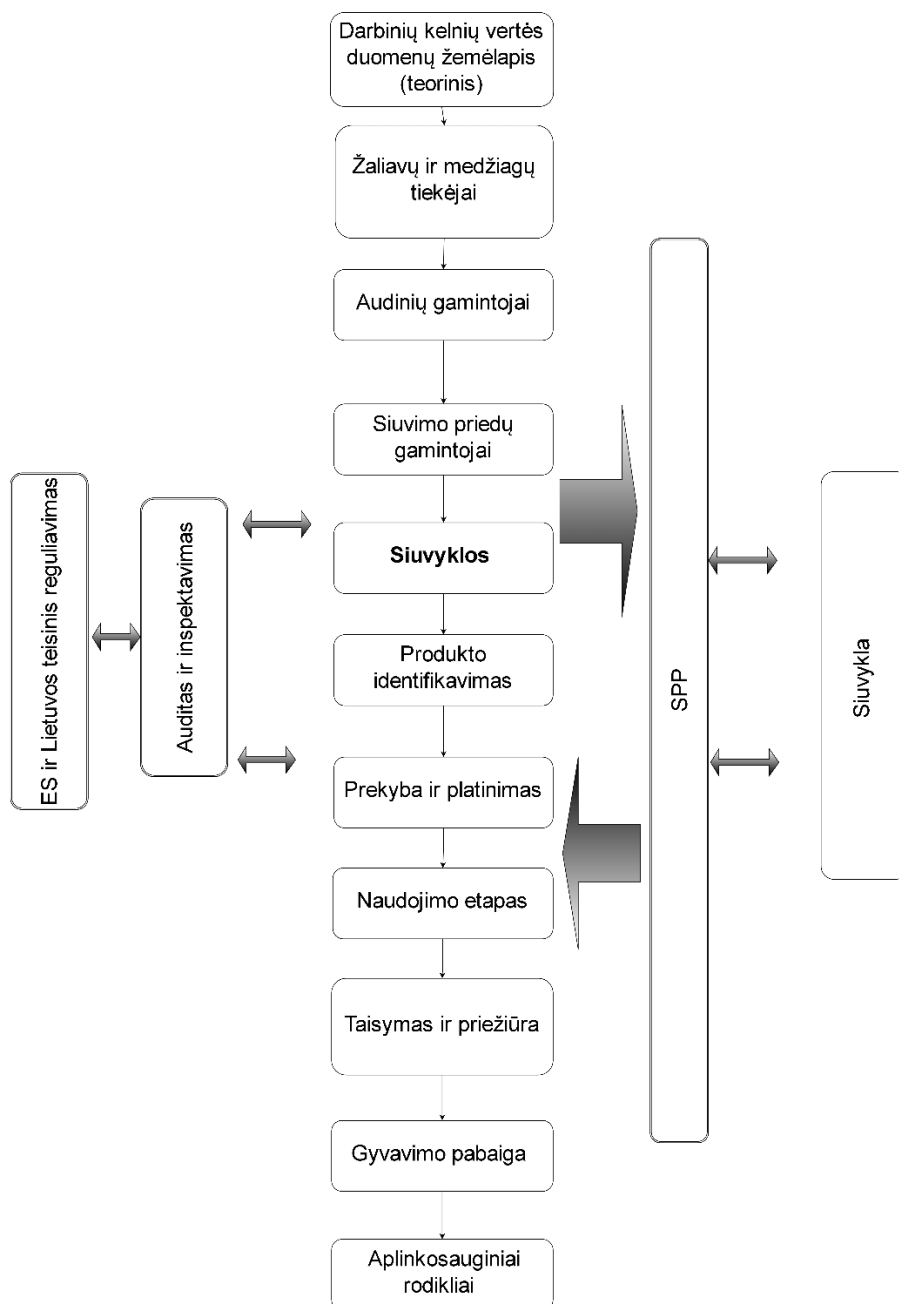
1 Priedas. Informacija ir informaciniai šaltiniai

Informacija reikalingi SPP formavimui darbinių kelių gamybos grandinėje. Schemoje parodyta, kokie duomenys reikalingi skirtinguose produkto būvio ciklo etapuose – nuo žaliavų, gamybos ir logistikos iki naudojimo, taisymo bei būvio ciklo pabaigos. Taip pat išskirti pagrindiniai informacijos šaltiniai ir sritys, kuriose dažniausiai trūksta duomenų ar tyrimais pagrįstos informacijos.



2 Priedas. Vertės duomenų žemėlapis

Siuvykla veikia kaip vienas iš paskutinių duomenų vertės grandinės etapų, kuriame sujungiami iš tiekėjų gauti komponentai ir formuojamas galutinis produktas. Schemoje taip pat pavaizduotas SPP vaidmuo, užtikrinantis duomenų susiejimą tarp tiekimo grandinės dalyvių ir galutinio vartotojo.



Vertės duomenų žemėlapis [59]

3 Priedas. Komponentų lentelė

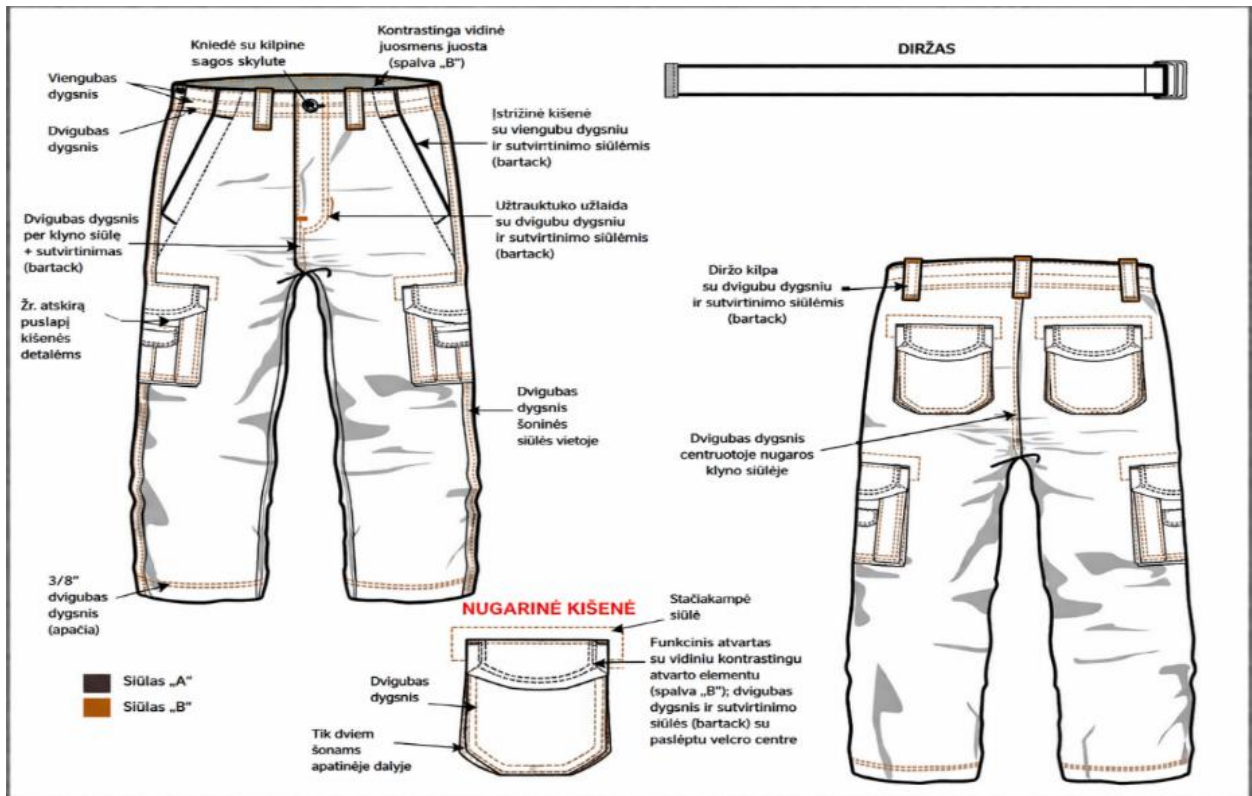
Komponentų lentelė paimta iš įmonės duomenų bazės, kurioje surašytos visos gaminio sudedamosios dalys ir jų techninė informacija. Joje nurodyta, iš kokių medžiagų pagamintas gaminys, audinių sudėtis, spalvos, sertifikatai, paskirtis, kiekiai bei duomenys apie tiekėjus. Lentelė naudojama gamybos planavimui, kokybės kontrolei, medžiagų apskaitai ir atsekamumui.

Komponentų lentelė

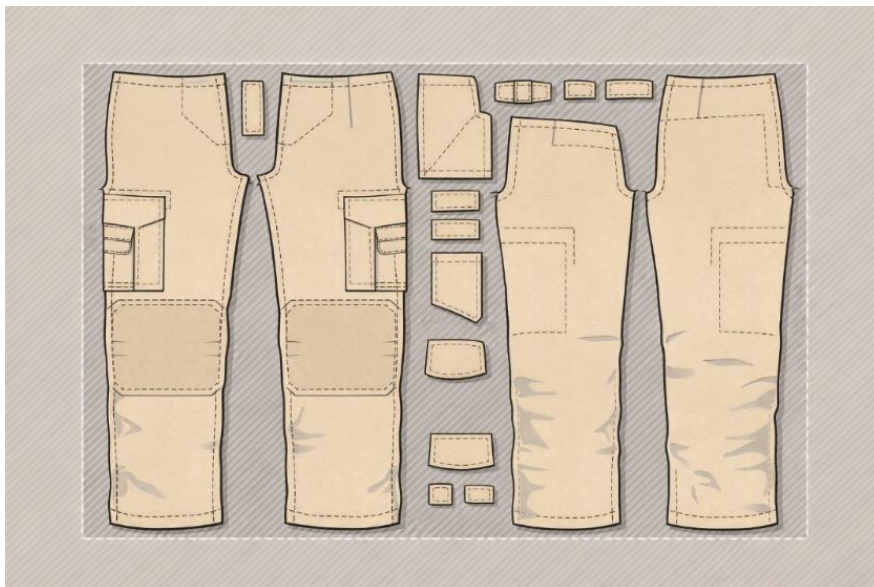
Komponentas	Sudėtis	Kilmės šalis/ Tiekėjas	Sertifikatai	Tankis / tipas	Spalva	Paskirtis gaminyje	Kiekis vienam gaminiiui	Duomenys SPP
Pagrindinis audinys	65 % poliesteris / 35 % medvilnė	Kinija/TextileCo	OEKO- TEX, GRS	265 g/m ² (Ripstop)	Tamsiai mėlyna (uniforminė)	Pagrindinė kelnių konstrukcija	~1,2 kg	Medžiagos ID, audinio partijos nr., gamybos data, tiekėjo ID, CO ₂ pėdsakas (kg CO ₂ /kg), kilmės sertifikato nr.
Sutvirtinimo audinys	65 % poliesteris / 35 % medvilnė	Nenurodyta/Duratx	OEKO- TEX	265 g/m ²	Juoda	Kelių sustiprinimas	~0,1 kg	Partijos nr., tiekėjo ID, naudojimo vieta (keliai), atsparumo testų rezultatai
Kišenių audinys	100 % poliesteris	Nenurodyta/ UAB“Pakaita“	BCI	95 g/m ²	Šviesi	Kišenių vidinė dalis	~0,05 kg	Medžiagos ID, tiekėjo kodas, svorio klasė, sertifikato nr.
Neaustinė medžiaga (flizelinas)	100 % poliesteris	Nenurodyta/ UAB“Garmus“	OEKO- TEX	40 g/m ²	Juoda	Formos stabilumas	~0,05 kg	Tipas (kljuojamas/siuvamas), temperatūros parametrai, tiekėjo ID
Siūlai	100 % poliesteris	Turkija	OEKO- TEX	Stori / ploni	Derinti, Tamsiai mėlyni	Siuvimo operacija	300m	Siūlų tipas (stori, tex), spalvos kodas, tiekėjo ID, partijos nr.
Užtrauktukas	100 % poliesteris	Nenurodyta / UAB“Pakaita“	ISO 14001	Standartinis	Juoda	Užsegimas	1 vnt.	Modelio kodas (YKK kodas), ilgis, medžiagos sudėtis, tiekėjo ID
Sagos	Sintetinė	Nenurodyta/ UAB“Garmus“	OEKO- TEX	Standartinės	Tamsiai mėlynos	Užsegimas	1–2 vnt.	Tipas, diametras, medžiaga, tiekėjo ID
Velcro juosta	Sintetiniai (PES)	ES / Azija/ UAB“Garmus“	OEKO- TEX	Tekstilinė	Juoda	Reguliavimas	~0,1 m	Plotis, tipas (hook/loop), tiekėjo ID, atsparumo ciklai

Elastinė juosta	Plastikas / metalas	ES / Azija/Co YKK	ISO 14001	Elastinga	Juoda	Liemens dalis	~0,3 m	Tempimo % (elastingumas), plotis, tiekėjo ID
Atšvaitinė medžiaga	Plastikas / guma	ES / Azija/ UAB“Garmus“	ISO 14001	Speciali	Pilka	Matomumas	~0,1 m	Sertifikato nr. (EN ISO 20471), šviesos atspindžio koeficientas, tiekėjo ID
Metaliniai elementai	Metalas	Turkija		-	Juoda	Akutė	1vnt	Medžiagos tipas, padengimas (pvz., antikorozinis), tiekėjo ID

4 Priedas. Kelnų eskizas ir siuvimo lekalai



Uniforminių darbo kelnų eskizas [32]



Gaminio kirpimo ir siuvimo lekalai [32]

5 Priedas. Pradinės žaliavos

Pradinės žaliavos, sudarytos naudojantis CCALC2 programos duomenimis [62].

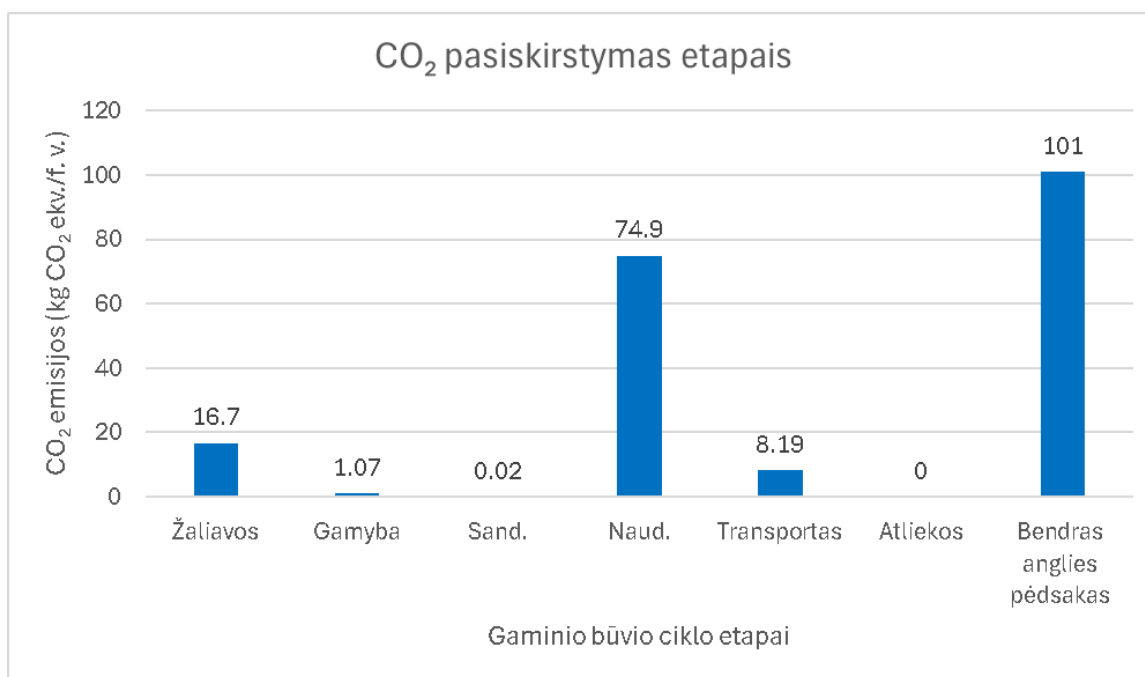
Pradinės žaliavos

TABLE DATA FROM CCaLC			
Raw material	Amount(kg/f.u.)	CO2 eq.(kg/kg raw material)	CO2 eq.(kg/f.u.)
corrugated board, mixed fibre, single wall, at plant, Europe	0.2	0.94	0.188
nylon 6, at plant	0.05	9.29	0.464
packaging film, LDPE, at plant	0.01	2.7	0.027
paper, wood-containing, LWC, at regional storage, Europe	0.03	1.52	0.045
paper, wood-containing, LWC, at regional storage, Europe	0.02	1.52	0.03
polyethylene terephthalate, granulate, bottle grade, at plant	0.05	2.9	0.145
polyethylene terephthalate, granulate, bottle grade, at plant	0.969	2.9	2.81
polyethylene, LDPE, granulate, at plant	0.01	2.1	0.021
polyethylene, LDPE, granulate, at plant	0.01	2.1	0.021
polyurethane, flexible foam, at plant	0.05	4.85	0.242
polyurethane, rigid foam, at plant	0.05	4.32	0.216
Steel - hot rolled coil	5.00E-03	0.931	4.66E-03
tap water, at user, Europe	0.1	3.19E-04	3.19E-05
tap water, at user, Europe	0.75	3.19E-04	2.39E-04
textile, woven cotton, at plant	0.462	27.1	12.5
Total:	2.77	Total:	16.7

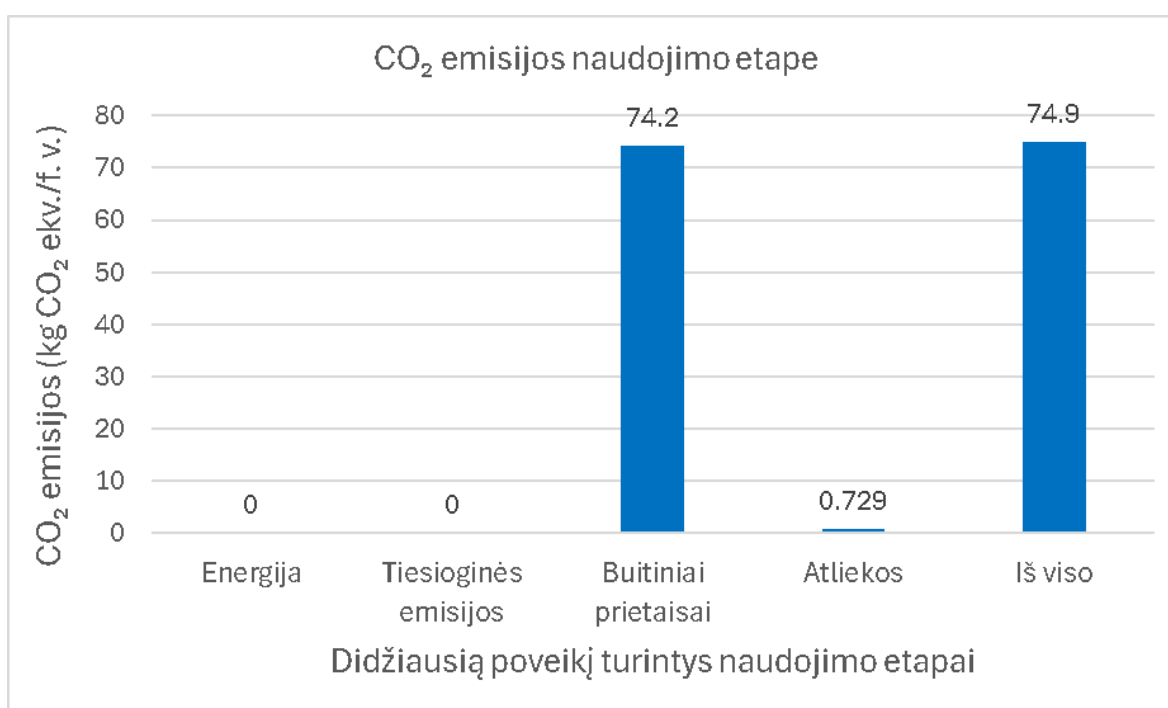
Pastaba: lentelė pateikta originalo kalba (anglų k.).

6 Priedas. CO₂ pasiskirstymas etapais

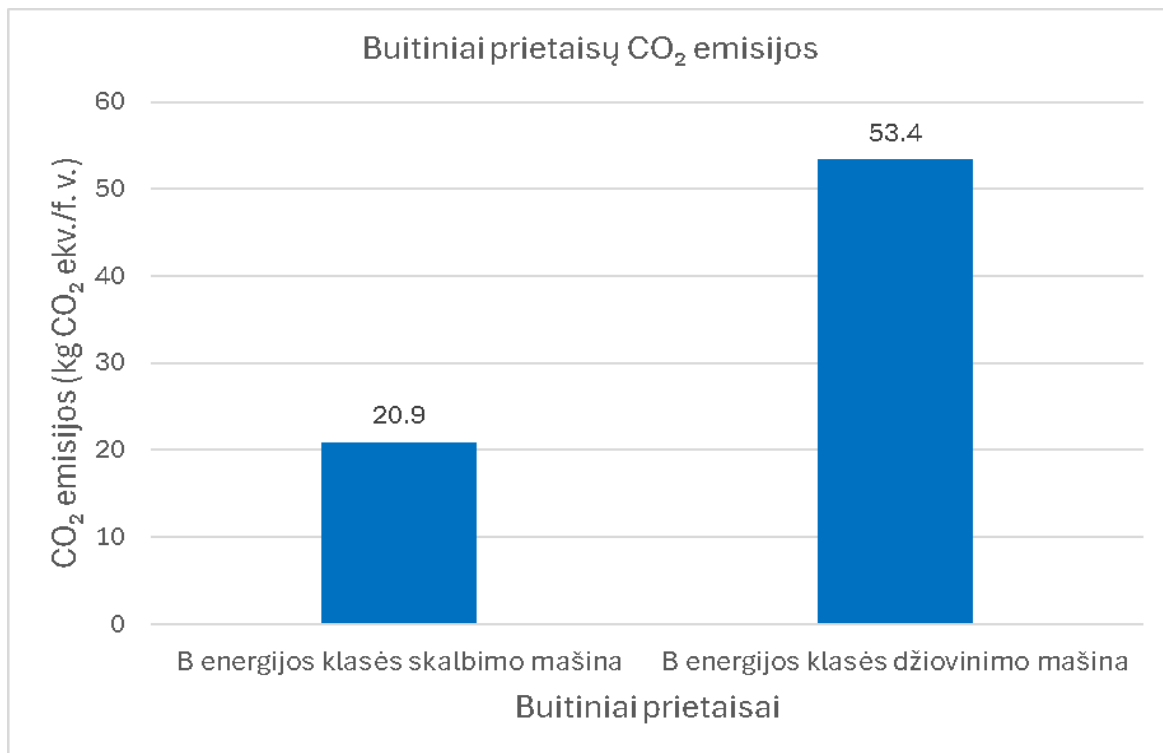
Didžiausią poveikį aplinkai sudaro naudojimo etapas – 74,9 kg CO₂ ekv./f. v., o bendras anglies pėdsakas siekia 101 kg CO₂ ekv./f.v. Didžiausią naudojimo etapo poveikį lemia buitiniai prietaisai, ypač modeliuojama B energijos klasės džiovinimo mašina, kurios emisijos sudaro 53,4 kg CO₂ ekv./f. v.



Gaminio būvio ciklo etapai



Didžiausią poveikį turintys naudojimo etapai



Buitinių prietaisų CO₂ emisijos

7 Priedas. Gaminio gamybos proceso etapai

Etapų sąrašas siuvant uniformines darbo kelnes.

Gamybos etapai

Gamybos etapas	Procesas	Naudojama įranga	Paskirtis gaminyje	Rezultatai	Duomenys SPP
Konstrukcijos parengimas	Lekalų sudarymas ir išdėstymas	CAD sistema	Paruošti gaminio detales	Parengtas modelis, sudarytas lekalų komplektas (1 vnt.)	Lekalų ID, versija
Audinių paruošimas	Audinio išdėliojimas	Kirpimo stalas	Paruošti kirpimui	Paruoštas audinys ~1,3 kg vienam gaminiui	Audinio partijos ID
Audinių sukirpimas	Detalių iškirpimas	CNC / rankinis kirpimas	Suformuoti detales	Sukirptos ~15–20 detalių; susidaro ~8–12 % atraižų	Audinio sunaudojimas, atliekų %
Detalių komplektavimas	Detalių surinkimas	Rankinis darbas	Paruošti siuvimui	Suformuotas 1 komplektas iš visų detalių	Komplektų ID
Siuvimo procesas	Detalių sujungimas	Siuvimo mašinos	Formuoti konstrukciją	Atlikta ~25–35 siuvimo operacijos	Operacijų seka
Sutvirtinimo operacijos	Kelių stiprinimas	Siuvimo mašinos	Padidinti atsparumą	Įsiūtos 2 sustiprintos zonos (keliai)	Sustiprinimo zonų žymėjimas

8 Priedas. Gamybos energijos sąnaudos

Ši lentelė skirta gamybos energijos sąnaudų informacijai. Joje nurodoma, kiek energijos, vandens ir kokių atliekų susidaro kiekviename gamybos etape. Tokia lentelė naudojama sąnaudų apskaitai, gamybos efektyvumo vertinimui, poveikio aplinkai analizei ir tvarumo ataskaitoms rengti.

Gamybos energijų sąnaudos

Gamybos operacija	Energija sunaudota 1vnt kelių pagaminti	Sunaudotas vanduo	Atliekos
Konstrukcijos parengimas	0.8 MJ (3val darbo kompiuteriu)		
Audinių paruošimas			
Audinių sukirpimas	0.6 MJ vienoms kelnėms		150g (atraižų)
Detalių komplektavimas			
Siuvimo procesas	1.1 Mj (skaičiuota 25 siuvimo operacijoms)		
Sutvirtinimo operacijos			
Priedų tvirtinimas			
Apdailos operacijos/lyginimas	0.5 MJ(1vnt kelių)	0.1Ltr	
Kokybės kontrolė			
Pakavimas			232g pakavimo medžiagų
Transportavimas užsakovui	0.2 MJ / vnt		

9 Priedas. Naudojimo etapas

Uniforminių darbo kelių naudojimo etapo duomenys.

Naudojimo etapas	Procesas	Sąlygos	Rezultatai	Duomenys SPP
Kasdienis naudojimas	Dėvėjimas	5d./sav.	~250 darbo dienų per metus	Naudojimo intensyvumas
Skalbimo procesas	Pramoninis skalbimas	~1 kartas per savaitę	~50–52 skalbimai per metus; vienam skalbimui ~50–70 l vandens, ~0,5–0,8 kWh energijos, ~20–30 g chemikalų	Skalbimo ciklai, vanduo, energija
Džiovinimas	Mechaninis džiovinimas	Po kiekvieno skalbimo	~50–52 ciklai per metus; ~1–1,5 kWh energijos vienam ciklui	Džiovinimo ciklai, energija
Lyginimas	Terminė priežiūra		~50 ciklų per metus; ~0,2–0,3 kWh energijos vienam ciklui	Lyginimo ciklai
Nusidėvėjimas	Medžiagos degradacija	Intensyvus naudojimas	Pastebimas po ~6–12 mėn.	Tarnavimo laikas
Remontas	Taisymas	Ribotas	Praktikoje nevykdomas	Remonto galimybės
Naudojimo trukmė	Eksploatacija	Realios sąlygos	~1–2 metai	Naudojimo trukmė
Naudojimo pabaiga	Išėmimas iš naudojimo	Nusidėvėjimas	Netinkamas dėl nusidėvėjimo	Būvio ciklo pabaigos statusas (perdirbimas, antrinis panaudojimas-negalimas)

10 Priedas. Gamybos operacijų lentelė

Aprašomi visi gaminio gamybos etapai nuo medžiagų sukirpimo iki siuvimo, pakavimo ir transportavimo. Lentelėje nurodomos naudojamos medžiagos, reikalingos operacijos, kiekiai, sertifikatai, tiekėjai, kilmės šalys, transportavimo būdai bei informacijos šaltiniai. Ji naudojama gamybos proceso planavimui, tiekimo grandinės valdymui, sąnaudų kontrolei ir produkto atsekamumui.

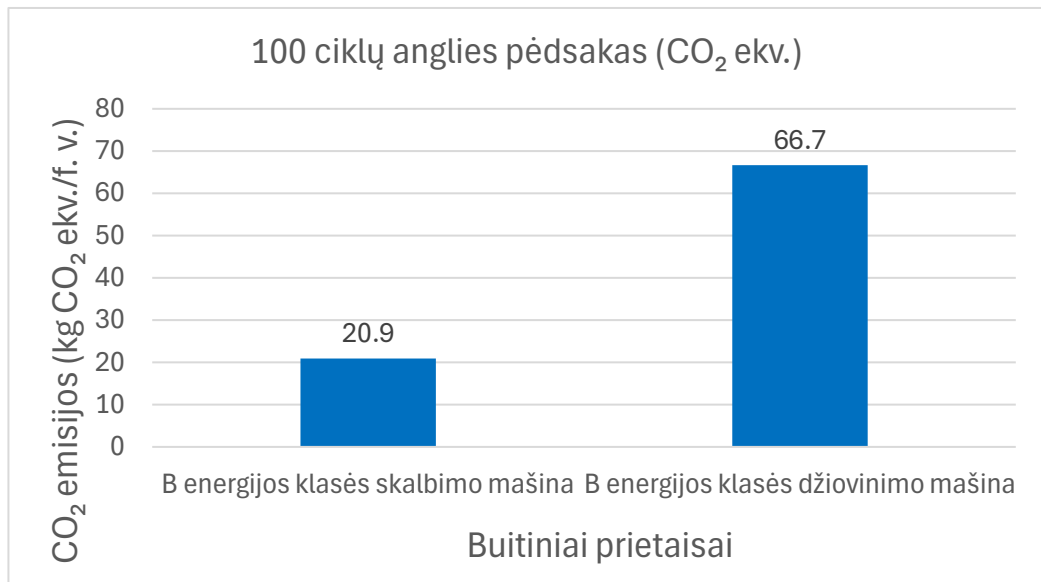
Gamybos operacijų informacijos lentelė.

Gamybos operacija	1vnt kelnų sudedamosios dalys	Medžiaga	Reikalinga operacija	Kiekis sudedamosios dalies (g)	Sertifikatai	Tiekėjas	Šalis	Transportas	Nuoroda (šaltinis)
Sukirpimas	Pagrindinis audinys Ribstop 285 g/m ²	Poliesteris/medvilnė	sukirpimas / modeliavimas	1200	OEKO-TEX, GRS	TextileCo	PL	žemė	https://www.oeko-tex.com
Sukirpimas	Sustiprinimas	Poliesteris	sukirpimas / modeliavimas	100	OEKO-TEX	Duratex	DE	žemė	https://www.oeko-tex.com
Sukirpimas	Kišenės	Poliesteris	sukirpimas / modeliavimas	50	BCI	CottonTex	TR	laivai	https://bettercotton.org
Sukirpimas	Neaustinės medžiagos - Flizelinas	Poliesteris	sukirpimas / modeliavimas	50	OEKO-TEX	Interlinings	CN	laivai	https://textileexchange.org
Sukirpimas	plėvelė vakumui / sluoksnio prilaikymui	poliesteris	sukirpimas / modeliavimas	10		UAB Bionalis	LT	žemė	www.Bionalis.lt
Sukirpimas	popierius lekalams / markeriams	popierius	sukirpimas / modeliavimas	30		UAB Bionalis	LT	žemė	www.Bionalis.lt
Siuvimas	Siūlai	Poliesteris	Siuvimas/surinkimas	50	OEKO-TEX	Coats	EU	žemė	https://www.coats.com
Siuvimas	Užtrauktukas	Metalas/plastikas	Siuvimas/surinkimas	30	ISO 14001	YKK	JP	oras	https://www.ykk.com
Siuvimas	Atšvaitas	Kompozitas	Siuvimas/surinkimas	25	EN ISO 20471	3M	EU	žemė	https://www.3m.com

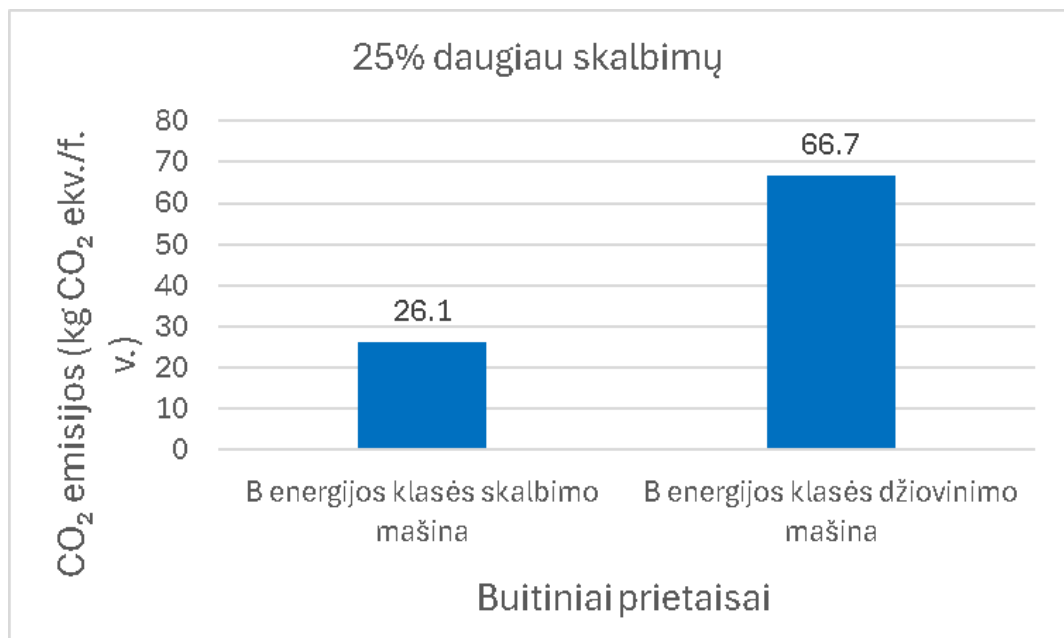
Siuvimas	Elastiniai komponentai	Guma-kaučiukas	Siuvimas/surinkimas	50	OEKO-TEX, GRS	TextileCo	PL	žemė	https://www.oeko-tex.com
Siuvimas	Velkro juosta	poliesteris	Siuvimas/surinkimas	25		UAB Garmus	LT	žemė	
Siuvimas	Metalinės akutės	Metalas	Siuvimas/surinkimas	1		UAB Garmus	LT	žemė	
Kokybės patikra	gaminys 1vnt (uniforminių kelnių)		lyginimas						
pakavimas	klijavimo juosta	poliesteris	pakavimas	10	-	UAB Kaupaka	LT	žemė	www.kaupaka.com
pakavimas	pakavimo maišelis	poliesteris	pakavimas	10	-	printmark	LT	žemė	printmark.lt
pakavimas	Instrukcija	popierius	pakavimas	10	-	Kaupaka	LT	žemė	www.kaupaka.com
pakavimas	kartoninė dėžė	kartonas	pakavimas	200	FSC	Kaupaka	LT	žemė	www.kaupaka.com
pakavimas	Etiketė	popierius	pakavimas	10	FSC	Kaupaka	LT	žemė	www.kaupaka.com
transpotavimas		Dyzelinas	Transportavimas užsakovui	8ltr/100km		Įmonės transportas		žemė	

11 Priedas. Skalavimo ir džiovavimo poveikis anglies pėdsakui (CO₂ ekv.)

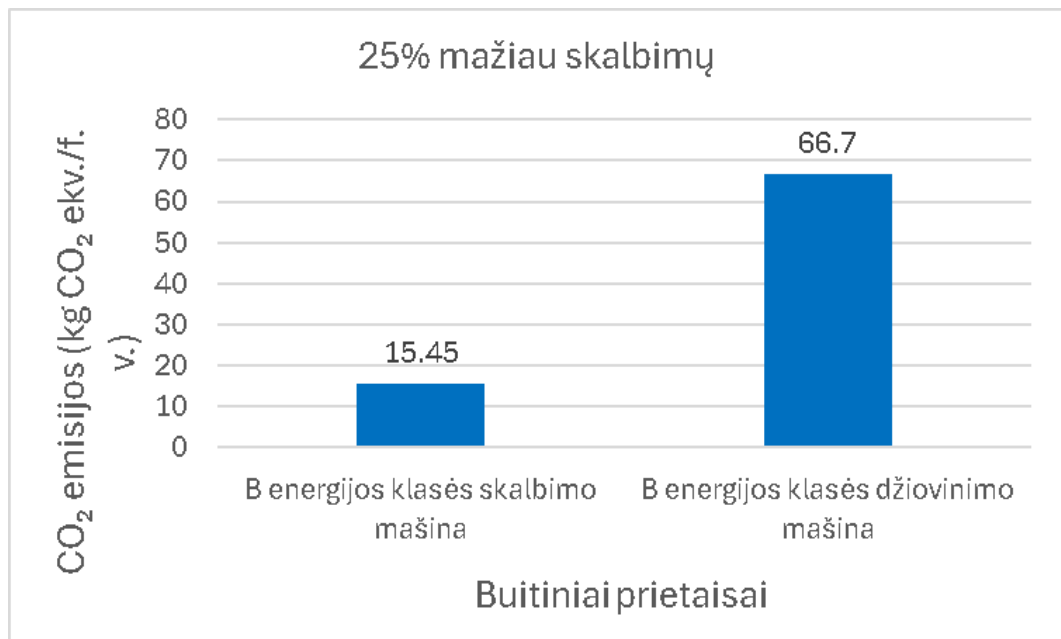
Modeliuojant matoma, kad nuo standartinio apskaičiuoto 100 skalavimo ciklų scenarijaus (20,9 kg CO₂ ekv./f. v.) padidinus skalavimo skaičių 25 %, emisijos padidėja iki 26,1 kg CO₂ ekv./f. v., o sumažinus skalavimo skaičių 25 %, emisijos sumažėja iki 15,45 kg CO₂ ekv./f. v. Tai rodo, kad skalavimo dažnumas turi reikšmingą įtaką bendram anglies pėdsakui.



Skalavimo ir džiovavimo poveikis anglies pėdsakui (CO₂ ekv.)



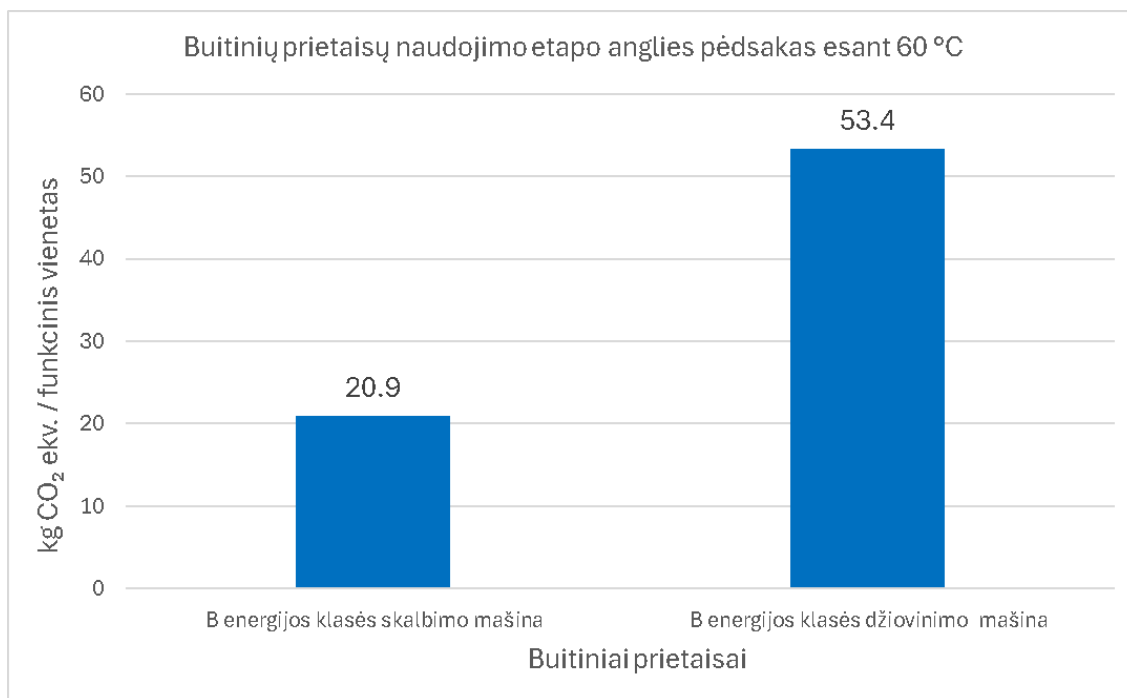
25 % didesnio skalavimo dažnio poveikis anglies pėdsakui (CO₂ ekv.)



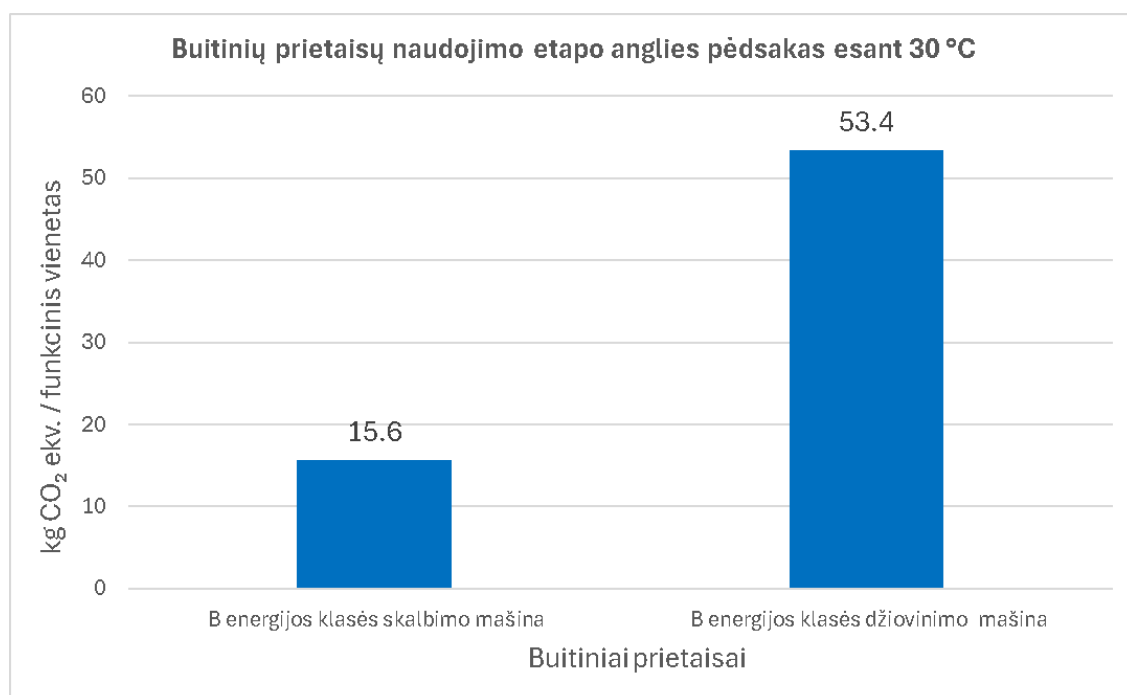
25 % mažesnio skalbimo dažnio poveikis anglies pėdsakui (CO₂ ekv.)

12 Priedas. Sumažintos skalbimo temperatūros įtaka šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijoms (CO₂ ekv.)

Grafikuose vaizduojamas darbo drabužių skalbimo temperatūros sumažinimas nuo 60 °C iki 30 °C, kuris sumažina skalbimo mašinos anglies pėdsaką nuo 20,9 iki 15,6 kg CO₂ ekv./funkciniam vienetui. Tai sudaro apie 25 % mažesnes šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas (CO₂ ekv.). Skaičiavimai atlikti naudojant CcaLC2 programinę įrangą [62].



Buitinių prietaisų naudojimo etapo anglies pėdsakas esant 60 °C



Buitinių prietaisų naudojimo etapo anglies pėdsakas esant 30 °C

13 Priedas. Alternatyvių žaliavų palyginimas pagal CO₂ ekvivalentą

Alternatyvių žaliavų palyginimas CO₂ ekvivalentu kontekste, naudojant CcaLC2 duomenų bazės duomenis [62]. Lentelėse lyginamas skirtingų medžiagų poveikis anglies dioksido emisijoms pagal jų kiekį ir CO₂ ekvivalentą funkciniam vienetui. Parodyta, kaip bio pagrindu pagaminto PET ir džiuoto naudojimas darbo drabužių gamyboje sumažina bendras dujų emisijas, išreikštas CO₂ ekvivalentu. Palyginti su įprastomis žaliavomis naudojamomis darbo drabužių gamyboje. Rezultatai rodo, kad naudojant įprastas žaliavas bendros emisijos siekia 16,7 kg CO₂ ekv./f. v., o pritaikius alternatyvias žaliavas jos sumažėja iki 4,88 kg CO₂ ekv./f. v. Tai sudaro apie 71 % mažesnes emisijas, išreikštas CO₂ ekvivalentu.

Įprastų žaliavų CO₂ ekvivalentų duomenys pagal CcaLC2 analizę.

TABLE DATA FROM CcaLC			
Raw material	Amount(kg/f.u.)	CO2 eq.(kg/kg raw material)	CO2 eq.(kg/f.u.)
corrugated board, mixed fibre, single wall, at plant, Europe	0.2	0.94	0.188
nylon 6, at plant	0.05	9.29	0.464
packaging film, LDPE, at plant	0.01	2.7	0.027
paper, wood-containing, LWC, at regional storage, Europe	0.03	1.52	0.045
paper, wood-containing, LWC, at regional storage, Europe	0.02	1.52	0.03
polyethylene terephthalate, granulate, bottle grade, at plant	0.05	2.9	0.145
polyethylene terephthalate, granulate, bottle grade, at plant	0.969	2.9	2.81
polyethylene, LDPE, granulate, at plant	0.01	2.1	0.021
polyethylene, LDPE, granulate, at plant	0.01	2.1	0.021
polyurethane, flexible foam, at plant	0.05	4.85	0.242
polyurethane, rigid foam, at plant	0.05	4.32	0.216
Steel - hot rolled coil	5.00E-03	0.931	4.66E-03
tap water, at user, Europe	0.1	3.19E-04	3.19E-05
tap water, at user, Europe	0.75	3.19E-04	2.39E-04
textile, woven cotton, at plant	0.462	27.1	12.5
Total:	2.77	Total:	16.7

Alternatyvių žaliavų CO₂ ekvivalentų duomenys pagal CcaLC2 analizę.

TABLE DATA FROM CcaLC			
Raw material	Amount(kg/f.u.)	CO2 eq.(kg/kg raw material)	CO2 eq.(kg/f.u.)
Bio-based Polyethylene terephthalate (PET) (35% bottles, & 65% fibre, 75% recycled)	0.969	2.1	2.03
corrugated board, mixed fibre, single wall, at plant, Europe	0.2	0.94	0.188
nylon 6, at plant	0.05	9.29	0.464
packaging film, LDPE, at plant	0.01	2.7	0.027
paper, wood-containing, LWC, at regional storage, Europe	0.03	1.52	0.045
paper, wood-containing, LWC, at regional storage, Europe	0.02	1.52	0.03
polyethylene terephthalate, granulate, bottle grade, at plant	0.05	2.9	0.145
polyethylene, LDPE, granulate, at plant	0.01	2.1	0.021
polyethylene, LDPE, granulate, at plant	0.01	2.1	0.021
polyurethane, flexible foam, at plant	0.05	4.85	0.242
polyurethane, rigid foam, at plant	0.05	4.32	0.216
Steel - hot rolled coil	5.00E-03	9.31E-01	4.66E-03
tap water, at user, Europe	1.00E-01	3.19E-04	3.19E-05
tap water, at user, Europe	7.50E-01	3.19E-04	2.39E-04
textile, jute, at plant	0.462	3.07	1.42
Total:	2.77	Total:	4.86