



Kauno technologijos universitetas

Aplinkos inžinerijos institutas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

**Žiedinės ekonomikos principų įgyvendinimas perdirbant
naudoti netinkamas padangas**

Baigiamasis magistro projektas

Artūras Torkelis

Projekto autorius

Doc. dr. Irina Kliopova

Vadovė

Kaunas, 2022



Kauno technologijos universitetas

Aplinkos inžinerijos institutas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Žiedinės ekonomikos principų įgyvendinimas perdirbant naudoti netinkamas padangas

Baigiamasis magistro projektas

Darnus valdymas ir gamyba (6213EX001)

Artūras Torkelis

Projekto autorius

Doc. dr. Irina Kliopova

Vadovė

Doc. dr. Visvaldas Varžinskas

Recenzentas

Kaunas, 2022



Kauno technologijos universitetas

Aplinkos inžinerijos institutas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Baigiamojo magistro projekto užduotis

Projekto tema Žiedinės ekonomikos principų įgyvendinimas perdirbant naudoti netinkamas padangas

Reikalavimai ir sąlygos (tikslinti pavadinimą pagal poreikį)

Tyrimo objektas – naudoti netinkamų padangų (NNP) perdirbimo ir perdirbtos antrinės žaliavos panaudojimo procesai. Detalesnei analizei ir eksperimentui parenkama naudoti netinkamų padangų mechaninį perdirbimą atliekanti įmonė UAB „Torgita“. Šiuo metu įmonė padangas mechaniniu būdu perdirba į mažesnės nei 30 mm dydžio frakcijos gumos granules, taip pat atskiriant metalo ir tekstilės srautus. Pastebima, kad tokio perdirbimo metu elektros energijos sąnaudos yra labai didelės.

Baigiamajame projekte magistrantas turi atlikti:

Aplinkosauginio audito metu bei dirbant su įmonės aplinkosaugos dokumentacija, detaliai išanalizuoti procesų medžiagų ir energijos srautus ir identifikuoti problemų priežastis;

Išanalizuoti iš NNP gaminamiems produktams taikomus aplinkosaugos, kokybės reikalavimus;

Alternatyvų paieškai atlikti detalią mokslinės ir praktinės literatūros analizę;

Tikslu optimizuoti elektros energijos sąnaudas ir procesų gamybos efektyvumą bei didinti gaminamos produkcijos pridėtinę vertę, pateikti 2-3 alternatyvas ir atlikti jų įvykdomumo analizę (techninį, aplinkosauginį ir ekonominį įvertinimą) bei įvertinti aplinkosauginį veiksmingumą energijos naudojimo srityje;

Tuo atveju, jeigu magistrantas pasiūlys sprendimą (-us) padidinti gaminamos produkcijos vertingumą, patartina atlikti poveikio aplinkai

vertinimą per būvio ciklą, ir lyginant palyginti jo gamybos ir naudojimo poveikį aplinkai su įprastai naudojamu produktu;

Pagal literatūros analizės, praktinių ir teorinių tyrimų rezultatus pateikti rekomendacijas Lietuvos NNP perdirbėjams.

Vadovas / Vadovė

Doc. dr. Irina Kliopova

(vadovo pareigos, vardas, pavardė, parašas)

(data)

Torkelis Artūras. Žiedinės ekonomikos principų įgyvendinimas perdirbant naudoti netinkamas padangas. Magistro baigiamasis projektas / vadovė doc. dr. Irina Kliopova; 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: atliekų tvarkymas, būvio ciklo įvertinimas, energijos sąnaudų efektyvumo didinimas, naudoti nebetinkamų padangų perdirbimas, žiedinė ekonomika.

Kaunas, 2022. 90 p.

Santrauka

Kiekvienais metais yra stebimas ženklus naudoti netinkamų padangų kiekio augimas. Vis griežtėjantys Europos Sąjungos teisiniai reikalavimai verčia užtikrinti tinkamą bei efektyvų šio atliekų srauto sutvarkymą ir taip skatina pereiti prie žiedinės ekonomikos principų įgyvendinimo. 2019 m. Europos Sąjungoje susidarė per 3,55 mln. t naudotų padangų atliekų, iš kurių 55 % buvo panaudota pakartotinai išgaunant vertingas medžiagas. Tuo tarpu Lietuvoje situacija kiek kitokia – 2019 m. naudoti nebetinkamų padangų buvo apskaityta per 28,3 tūkst. t, iš jų perdirbant apie 34 %. Perdirbimo metu atgausios medžiagos (guma, metalas, tekstilė) gali būti panaudojamos įvairiose srityse: guminių pagrindų, kilimėlių, kitų gaminių gamyboje, civilinėje inžinerijoje; metalo lydinių gamyboje; tekstilės perdangų, sluoksnių gamyboje.

Baigiamajame magistro projekte yra analizuojami naudoti nebetinkamų padangų perdirbimo ir perdirbtos antrinės žaliavos panaudojimo procesai, siekiant gaminti didesnės pridėtinės vertės produktus ir tuo pačiu mažinant energetinį procesų intensyvumą. Tam tikslui buvo iškelti tokie darbo uždaviniai: statistinių duomenų analizė, pagrindinių teisės aktų bei reglamentavimo sistemų analizė naudoti nebetinkamų padangų tvarkymo srityje, pagrindinių bei naujų inovatyvių perdirbimo metodų paieška ir analizė, pasirinkto objekto esamo aplinkosauginio veiksmingumo įvertinimas, didesnės pridėtinės vertės produktų gaminimo galimybių vertinimas, energinio efektyvumo didinimo ir poveikio aplinkai mažinimo būdų pasiūlymas, didesnės pridėtinės vertės produkto panaudojimo civilinėje inžinerijoje aplinkosauginis vertinimas. Detalesnei analizei pasirinktas objektas – tradicinį mechaninį naudoti nebetinkamų padangų perdirbimą atliekanti įmonė UAB „Torgita“.

Atliekant tyrimą buvo atlikta statistinių duomenų, teisės aktų, mokslinės bei praktinės literatūros analizė. Pagrindiniai baigiamojo projekto tyrimo metodai: Švaresnės gamybos (ŠG) diegimo pramonės įmonėse metodikos elementai, tokie kaip: medžiagų ir energijos srautų analizė, medžiagų balansas, alternatyvų įvykdomumo analizė: techninis, aplinkosauginis ir ekonominis įvertinimas. Pramoninės ekologijos metodikos elementai, tokie kaip: materialijų srautų dematerializavimas, pramoninis metabolizmas. Būvio ciklo įvertinimo metodika naudota produkto aplinkosauginio poveikio nustatymui per visą jo gyvavimo trukmę. Gautų rezultatų apibendrinimui naudoti atvejo tyrimo ir/ar liginamosios analizės metodai, aplinkos apsaugos veiksmingumo (AAV) įvertinimas.

Eksperimento metu nustatyta, kad analizuojamame objekte 2020 m. buvo perdirbta 2271 t naudoti nebetinkamų padangų, iš kurių išgauta iki 1281 t gumos granulių (išeiga apie 56 %), 910,56 t metalo atraižų, 76 t tekstilės atliekų. Vienai tonai antrinės gumos (AG) pagaminti buvo

sunaudojama iki 278,8 kWh, atitinkamai netiesiogiai sukuriant iki 117 kg CO_{2e} /t AG. Nustatyta analizuojamosios situacijos problematika: didelės elektros energijos sąnaudos gaminamos nedidelės pridėtinės vertės produkcijos vienetui. Esamos situacijos tobulinimui darbe pasiūlytos trys alternatyvos ir atlikta jų detali įvykdomumo analizė: (1) technologinėje linijoje siūloma optimizuoti naudoti netinkamų padangų mechaninio smulkinimo technologinės linijos įrenginių tarpusavio veikimą ir įdiegti papildomą pirminio padangų apdorojimo procesą, nekeičiant gaminamo galutinio produkto vertės (≤ 30 mm frakcijos dydžio guma); (2) įdiegti papildomą smulkinimo iki mažesnės gumos frakcijos procesą ir taikyti naują padangų pjaustymo metodą, išgaunant didesnės pridėtinės vertės produktus (≤ 8 mm antrinė guma, kuri yra mažiau užteršta metalais); (3) vietoj esamos mechaninio perdirbimo technologijos įdiegti visiškai naują inovatyvią technologiją didžiausios pridėtinės vertės produkcijos gamybai (800 μ m dydžio, itin didelio grynumo guma, kurios užterštumas priemaišomis yra tik iki 2%).

Įdiegus esamos technologinės linijos optimizavimo alternatyvą, įmonė sutaupo elektros energijos - iki 77 kWh/t AG, netiesioginių ŠESD kiekis sumažėja virš 32 kg CO_{2e}/t AG. Antrosios alternatyvos įdiegimas didesnėmis išeigomis leistų gaminti didesnės pridėtinės vertės produkciją, tuo tarpu elektros naudojimo intensyvumas sumažėja 9 kWh/t AG, netiesioginių ŠESD – iki 3,9 kg CO_{2e}/t AG. Trečiosios inovacijos atveju būtų galima gaminti didžiausios pridėtinės vertės produktą, taip pat planuojant ir tam tikrus elektros energijos taupymus (iki 1,6 kWh/t AG) bei, atitinkamai, ŠESD mažinimą – iki 0,56 kg CO_{2e}/t AG.

Antrojo siūlomo produkto įdiegimo atveju pagaminta gumos produkcija galėtų būti naudojama kelių tiesimo pramonėje, gaminant guma modifikuoto bitumo asfaltą, o tokio kelio naudojimas standartinio kelio atžvilgiu leistų sumažinti CO_{2e} emisijas iki 40 %.

Torkelis Artūras. Implementing The Circular Economy by Recycling End-of-life Tyres. Master's Final Degree Project / supervisor assoc. prof. dr. Irina Kliopova; Institute of Environmental Engineering; Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

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

Keywords: waste treatment, life cycle assesment, energy efficiency solutions, end-of-life tyres recycling, circular economy.

Kaunas, 2022. 90 p.

Summary

Every year, there is a significant increase in the number of tyres that are no longer fit for use. Increasingly stringent European Union legal requirements are making it necessary to ensure that this waste stream is properly and efficiently managed, thus encouraging the transition towards a circular economy. In 2019, the European Union generated over 3.55 million tonnes of waste used tyres, 55 % of which was reused to recover valuable materials. In Lithuania, the situation is somewhat different, with over 28.3 thousand tonnes of end-of-life tyres accounted for in 2019, of which around 34 % were recycled. The materials recovered during recycling (rubber, metal, textiles) can be used in a wide range of applications: rubber bases, carpets, other products, civil engineering; metal alloys; textile overlays, layering.

The final Master's project analyses the recycling of end-of-life tyres and the use of recycled material to produce higher value-added products while reducing the energy intensity of the processes. To this end, the following objectives were set: analysis of statistical data, analysis of the main legislative and regulatory frameworks in the field of end-of-life tyre management, search for and analysis of basic and new innovative recycling methods, assessment of the current environmental performance of the selected facility, assessment of the possibility of producing higher value-added products, proposal of ways of improving energy efficiency and reducing environmental impact, and an environmental assessment of the use of a higher value-added product in civil engineering. The object chosen for a more detailed analysis is JSC „Torgita“, a company that carries out traditional mechanical recycling of end-of-life tyres.

The study was based on the analysis of statistical data, legal acts, scientific and practical literature. The main research methods of the final project were: elements of the methodology for the implementation of Cleaner Production (CP) conception in industrial enterprises, such as: analysis of material and energy flows, material balance, and feasibility analysis of proposals (technical, environmental and economic assessment); elements of the Industrial Ecology such as: dematerialization of material flows, industrial metabolism. The life cycle assessment methodology was used to determine the environmental impact of a product throughout its life cycle. Case study and/or case-control analysis methods, environmental assessment of effectiveness (EAE) were used to summarize the results obtained.

The experiment showed that secondary raw materials (up to 1281 t of rubber pellets (a yield of about 56 %) and 910.56 t of metal scraps) were recovered from 2271 t of end-of-life tyres, 76 t of textile waste were generated in analyses object in 2020. The main environmental and economic problems were identified: high electricity consumption (up to 278.8 kWh) for a low value-added

unit (tonne) of final output (≤ 30 mm fraction rubber); therefore, indirect environmental impact due to climate change – up to 117 kg CO_{2e} / tonne of produced rubber (PR).

Three alternatives were proposed to improve the current situation: (1) optimization of the operation of some of the equipment in the technological line and the introduction of an additional process for the pre-treatment of the tyres, without changing the value of the final product - PR; (2) introduction of an additional process for the reduction of rubber to a smaller fraction, and a new method of cutting the tyres to obtain products with a higher added value (≤ 8 mm rubber with less metal contamination); (3) replacement of the existing mechanical recycling technology with a completely new innovative technology for the production of products with the highest added value (e.g., 800 μ m fraction ultra-high purity rubber with < 2 % of additives).

Have already implemented first process optimization proposal allowed minimizing electricity consumption by 77 kWh per tonne of PR, and thus reducing indirect GHG emissions by about 32 kg CO_{2e}/tonne of PR.

The second innovation would lead to higher yields and higher value-added product. This would also lead to additional electricity savings by 9 kWh/tonne of PR and minimizing indirect GHGs by 3.9 kg CO_{2e} /tonne of PR. The third innovation would allow producing the highest value-added product (ultra-high purity rubber), with a less electricity consumption (by 1.6 kWh/tonne of PR) and, thus, less environmental impact to GHGs (by 0.56 kg of /tonne of PR).

In case of the second innovation, the produced rubber could be used in the road construction industry for the production of rubber modified bitumen asphalt, and the use of such a road could lead to a reduction of GHGs by 40% of CO_{2e} in compared to a standard road.

Turinys

Paveikslų sąrašas	11
Santrumpų ir terminų sąrašas	12
Įvadas.....	13
1. Mokslinės ir praktinės literatūros šaltinių, statistinių duomenų ir teisės aktų analizė	15
1.1. Statistinių duomenų analizė naudotų padangų susidarymo srityje Lietuvoje ir kitose ES šalyse	15
1.1.1. Naudotų padangų susidarymas bei valdymas Europoje	15
1.1.2. Naudotų padangų susidarymas bei valdymas Lietuvoje	17
1.2. Taikomų teisės aktų apžvalga.....	19
1.2.1. ES reglamentavimo sistema	19
1.2.2. Lietuvos reglamentavimo sistema	21
1.3. ES ir kitose šalyse plačiausiai taikomi naudotų padangų perdirbimo metodai	23
1.3.1. Naudoti netinkamų padangų restauravimas.....	24
1.3.2. Naudoti netinkamų padangų panaudojimas energetiniais tikslais.....	26
1.3.3. Naudoti netinkamų padangų perdirbimo R3 būdu technologijos.....	27
1.4. Iš naudoti netinkamų padangų atgautų medžiagų tolimesnis panaudojimas.....	36
1.4.1. Iš naudoti netinkamų padangų atgautos gumos panaudojimas kelių tiesimo pramonėje	37
1.5. Lietuvoje veikiančios padangų perdirbimo įmonės.....	38
2. Metodinė dalis.....	41
2.1. Atliekamų tyrimų algoritmas.....	41
2.2. Problematikos nustatymui tiriamajame objekte ir pasiūlymų analizei naudojami metodai	43
2.2.1. Darbe taikomi Švaresnės gamybos koncepcijos principai vertinant ir optimizuojant padangų perdirbimo procesus	43
2.2.2. Alternatyvų vertinimui taikomi pramoninės ekologijos principai.....	46
2.2.3. Darbe taikomos metodikos įvertinti oro taršą ir ŠESD	47
2.2.4. Darbe taikoma metodika produkto būvio ciklo įvertinimui	48
3. Tyrimų rezultatai – žiedinės ekonomikos principų įgyvendinimas eksperimentui parinktoje padangų perdirbimo įmonėje	50
3.1. UAB „Torgita“ aplinkosaugos problemų nustatymas ir jų priežasčių identifikavimas.....	50
3.2. Siūlomos alternatyvos ir jų įvykdomumo analizė	55
3.2.1. Esamos technologinės linijos optimizavimo įvykdomumo analizės rezultatai	56
3.2.2. Dalies technologinės linijos modernizavimo, gaminant didesnės pridėtinės vertės produktą, įvykdomumo analizės rezultatai	60
3.2.3. Perdirbimo technologijos pakeitimo įvykdomumo analizės rezultatas	65
3.3. Didesnę pridėtinę vertę turinčio produkto panaudojimo kelių tiesimo pramonėje galimybės: analizė taikant būvio ciklo įvertinimą	70
4. Rekomendacijos NNP perdirbimo ir perdirbtos antrinės žaliavos panaudojimo procesams	77
Išvados	78
Literatūros sąrašas	80
1 priedas. Teoriškai įvertintos el. energijos sąnaudos	86
2 priedas. WaterJet įrenginio parametrų parinkimas ir apskaičiavimas	89
3 priedas. Analizuojamo scenarijaus BCĮ srautų diagrama.....	90

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Naudotų padangų valdymas 2019 m. [4].....	15
2 lentelė. Naudoti nebetinkamų padangų valdymas Lietuvoje 2018-2019 m. [50]	17
3 lentelė. Kriterijai, pagal kuriuos perdirbtos padangų atliekos yra nelaikomos atliekomis [55].....	22
4 lentelė. Naudotų padangų restauravimo metodo privalumai ir trūkumai [11]	25
5 lentelė. Naudotų padangų deginimo metodo privalumai ir trūkumai [12, 15].....	26
6 lentelė. Skirtingų kuro rūšių energetinių verčių ir emisijų palyginimas [12]	26
7 lentelė. Skirtingų sudedamųjų medžiagų vidutinis kiekis skirtingo tipo padangose [18].....	27
8 lentelė. Smulkinimo metodų trūkumai ir privalumai	28
9 lentelė. Šlifavimo aplinkos temperatūroje metodo trūkumai ir privalumai	28
10 lentelė. Plokščiosios formos granuliavimo metodo trūkumai ir privalumai	29
11 lentelė. Šlapio šlifavimo metodo trūkumai ir privalumai.....	30
12 lentelė. Kriogeninio šlifavimo metodo trūkumai ir privalumai	31
13 lentelė. Šlifavimo ozono krekingo metodo trūkumai ir privalumai	32
14 lentelė. Elastinės deformacijos šlifavimo metodo trūkumai ir privalumai	32
15 lentelė. Smulkintos gumos panudojimo pavyzdžiai pagal frakcijų dydį [12].....	33
16 lentelė. Aukšto slėgio srovės metodo trūkumai ir privalumai.....	33
17 lentelė. Berstofo metodo trūkumai ir privalumai	34
18 lentelė. „Rotarex Fast and Easy“ metodo trūkumai ir privalumai	34
19 lentelė. Ultragarstinės devulkanizacijos metodo trūkumai ir privalumai.....	35
20 lentelė. Cheminės devulkanizacijos metodo trūkumai ir privalumai	36
21 lentelė. Mechaninės devulkanizacijos metodo trūkumai ir privalumai.....	36
22 lentelė. Standartinės kelio dangos ir guma modifikuotos kelio dangos sudėtis.....	37
23 lentelė. Padangų perdirbimo rinkos dalys [56]	38
24 lentelė. Padangų perdirbimo rinkos dalys [31]	39
25 lentelė. Taršos prevencijos ir atliekų mažinimo metodai ŠG [32].....	44
26 lentelė. Emisijos faktoriai pagal EMEP/EEA/CORINAIR metodiką [59]	47
27 lentelė. UAB „Torgita“ pagrindiniai aplinkos apsaugos indikatoriai, 2020	54
28 lentelė. UAB „Torgita“ pagrindinės aplinkosauginės problemos ir priežastys.....	54
29 lentelė. Antrosios alternatyvos aplinkosauginis ir ekonominis įvertinimas.....	58
30 lentelė. Sistemos optimizavimo investicijos, taikant pirmąją alternatyvą	59
31 lentelė. Antrojo pasiūlymo aplinkosauginis ir ekonominis įvertinimas.....	63
32 lentelė. Dalies technologinės linijos modernizavimo investicijos, taikant antrąją alternatyvą....	64
33 lentelė. Trečiosios alternatyvos aplinkosauginis ir ekonominis įvertinimas.....	68
34 lentelė. Sistemos optimizavimo investicijos, taikant trečiąją inovaciją.....	70
35 lentelė. Analizuoto scenarijaus BCĮ inventorių.....	72

Paveikslų sąrašas

1 pav.	Naudotų padangų valdymas ES ir LT 2019 m.	18
2 pav.	Naudoti nebetinkamų padangų tvarkymo schema Europoje (ETRMA)	20
3 pav.	Naudotų padangų tvarkymas pagal atliekų hierarchijos principus [9]	24
4 pav.	Naudotų padangų mechaninio perdirbimo technologijos schema [25]	29
5 pav.	Naudotų padangų mechaninio perdirbimo technologijos schema [25]	30
6 pav.	Naudotų padangų kriogeninio šlifavimo technologijos schema [25]	31
7 pav.	Naudotų padangų elastinės deformacijos šlifavimo technologijos schema [25]	32
8 pav.	Naudotų padangų aukšto slėgio vandens perdirbimo technologijos schema [26]	34
9 pav.	„Rotarex Fast and Easy“ technologijos schema [28]	35
10 pav.	Magistro baigiamojo projekto tyrimo metodikos algoritmas	41
11 pav.	Švaresnės gamybos koncepcijos diegimo etapai [32]	43
12 pav.	Pagrindiniai pramoninės ekologijos elementai [33]	46
13 pav.	Būvio ciklo įvertinimo struktūra [35]	49
14 pav.	Įmonės medžiagų ir energijos srautų diagrama	52
15 pav.	Įmonės medžiagų ir energijos srautai	53
16 pav.	Technologinės linijos principinė schema po optimizavimo	56
17 pav.	Elektros energijos ir ŠESD (netiesioginis poveikis) planuojamas pokytis įdiegus pirmąjį pasiūlymą	59
18 pav.	NNP perprojektavimo idėjos principinė schema jų perdirbimo metu [36]	60
19 pav.	Technologinės linijos principinė schema įdiegus antrą alternatyvą	61
20 pav.	Technologinės linijos principinė schema įdiegus trečią alternatyvą	66
21 pav.	BCĮ sistemos ribos [45]	71
22 pav.	Analizuojamo scenarijaus BCĮ srautų diagrama	74
23 pav.	BCĮ rezultatų interpretavimas naudojant ILCD 2011+ metodą	75

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

- AAI – aplinkos apsaugos indikatorius;
- AAI_s – santykinis aplinkos apsaugos indikatorius;
- AAV – aplinkosauginis veiksmingumas;
- AG - antrinė guma;
- BCĮ – būvio ciklo įvertinimas;
- CO – anglies (II) oksidas;
- CO₂ – anglies (IV) oksidas;
- CO_{2e} – anglies dioksido ekvivalentas;
- KD – kietosios dalelės;
- NH₃ – amoniakas;
- NMLOJ – nemetaniniai lakieji organiniai junginiai;
- NNP – naudoti nebetinkamos padangos;
- NO_x – įvairūs azoto oksido junginiai;
- PAV – poveikio aplinkai vertinimas;
- PE – pramoninė ekologija;
- PP – polipropilenas;
- PVSV – poveikio visuomenės sveikatai vertinimas;
- ŠESD – šiltnamio efektą sukeliančios dujos;
- ŠG – varesnė gamyba;

Įvadas

Nuolat ir sparčiai besivystanti automobilizacija be vartotojams teikiamos naudos lygiagrečiai atneša ir daugybę aplinkosauginių problemų. Viena iš jų – naudoti netinkamos padangos. Padangų naudojimo laikas skaičiuojamas kilometrais, kuriuos galima nuvažiuoti su techniškai tvarkinga padanga. Vidutinis padangų naudojimo laikas gali ženkliai skirtis. Jis priklausomai nuo važiavimo greičio, kelio paviršiaus tipo, transporto masės ir kitų veiksnių. Teoriškai vidutiniu padangų naudojimo laiku yra laikoma 50 000 km. Laikui bėgant padangų protektorius nusidėvi, per naudojimo laikotarpį padanga netenka apie 20 % savo masės [1]. Tokios nusidėvėjusios padangos yra nebetinkamos tolimesnei saugiai eksploatacijai, ir taip tampa atliekomis. Atliekos – medžiaga ar daiktas, kurių turėtojas atsikrato, ketina ar privalo atsikratyti (LR Atlieku tvarkymo įstatymas).

Kiekvienais metais pasaulinėje rinkoje yra parduodama apie 3 mlrd. naujų padangų, o pasibaigus jų naudojimo laikui toks pat kiekis padangų yra išmetamas. Iki 2030 m. kasmet susidaranti padangų atliekų kiekis turėtų pasiekti 5 mlrd. vienetų [2]. Šiuo metu visame pasaulyje apie 70% padangų atliekų yra perdirbama (įskaitant atliekų panaudojimą energetiniams tikslams). Tačiau jau dabar esamos tendencijos mokslininkus bei įstatymų leidėjus verčia galvoti apie pakartotinį padangų atliekų naudojimą vis didesniais mastais, taip atsižvelgiant į žiedinės ekonomikos principus.

Tyrimo objektas – naudoti netinkamų padangų (NNP) perdirbimo ir perdirbtos antrinės žaliavos panaudojimo procesai.

Eksperimentui parinktas objektas – naudoti nebetinkamų padangų mechaninį perdirbimą atliekanti įmonė UAB „Torgita“.

Darbo tikslas – NNP perdirbimo procesų optimizavimas, tikslu mažinti poveikį aplinkai ir gaminti didesnės pridėtinės vertės produktą.

Uždaviniai:

1. Atlikti mokslinės ir praktinės literatūros analizę, nustatant plačiausiai taikomus NNP tvarkymo/perdirbimo metodus bei naujausias tendencijas šioje srityje;
2. Atlikti NNP tvarkymui bei iš padangų gaminamiems produktams taikomų aplinkosauginių ir kitų teisinių reikalavimų analizę;
3. Eksperimentui parinktam objektui – UAB „Torgita“ – įvertinti NNP tvarkymo pajėgumus, išnagrinėti technologijas, identifikuoti esamas problemas ir jų atsiradimo priežastis;
4. Eksperimento objektui pateikti NNP esamos perdirbimo technologijos optimizavimo galimybes, mažinant neigiamą poveikį aplinkai, bei naujų alternatyvų/inovacijų diegimo galimybes, didinant gaminamos produkcijos įvairovę, ir skatinant žiedinės ekonomikos principų realizavimą;
5. Naudojant Švaresnės gamybos, Būvio ciklo vertinimo ir Pramoninės ekologijos metodus atlikti siūlomų alternatyvų/inovacijų įvykdomumo analizę (techninį, aplinkosauginį ir ekonominį įvertinimą) ir pateikti išvadas bei rekomendacijas.

Mokslinis ir praktinis darbo naujumas: NNP perdirbimo metu atgausios gumos (≤ 8 mm) panaudojimas kelių tiesimo pramonėje ir šio proceso būvio ciklo įvertinimas konkrečiomis Lietuvos sąlygomis. Šio įvertinimo moksliniai rezultatai:

- atlikta inventorinė analizė (surinkti Lietuvai būdingi indikatoriai apie asfalto gamybą ir kelių tiesimą, apie NNP perdirbimą, gaminant tinkamą antrinę žaliavą);
- kelio ilgaamžiškumo nustatymas (nustatyta, kad naudojant iki 18 % gumos pagal bitumo masę, kelio ilgaamžiškumas prailgės nuo 18 iki 20 metų);
- CO_{2e} sumažėjimo nustatymas viso būvio cikle (nuo 96,7 t CO_{2e} iki 58,0 t CO_{2e} arba 40 %).

Taip pat darbe atlikta įvykdomumo analizė (techninis, aplinkosauginis ir ekonominis įvertinimas) naujos NNP perdirbimo technologijos, kurioje skirtingai nuo įprastai naudojamo Lietuvoje ir kitose ES šalyse mechaninio perdirbimo, NNP smulkinamos didelio slėgio vandens srove. Tokiu būdu yra gaminamas iki keliolikos kartų didesnio vertingumo produktas. Nustatyta, kad jos įdiegimas įmonei, nedidinant energijos naudojimo intensyvumo, leistų gaminti praktiškai gryną gumą (iki 0,8 mm frakcija, >55 % devulkanizuotą ir 98 % grynumo).

Dalis magistro baigiamajame projekte gautų rezultatų pristatyta 2021 m. gruodžio 8 d. 2-oje tarptautinėje mokslinėje konferencijoje „Žaliojo kurso įgyvendinimo strategijos dėl vandens, žaliavų ir energijos“ (Angl. - *Strategies toward Green Deal Implementation Water, Raw Materials and Energy*), skaitant pranešimą „Energijos vartojimo efektyvumo didinimo sprendimai perdirbant naudoti netinkamas padangas: Lietuvos atvejo analizė“ (Angl. - *Energy efficiency solutions in end-of-life tyres recycling process: case study in Lithuania*)

Taip pat magistrantūros studijų metu kartu su kitų Lietuvos universitetų mokslininkais buvo parengtas ir publikuotas straipsnis: Jochen Uebe, Žilvinas Kryževičius, Aravindaraj Kuhan, Arturas Torkelis, Lidija Kosychova, and Audronė Žukauskaitė (2022). Improving of Pyrolysis Oil from Macroalgae *Cladophora glomerata* with HDPE Pyrolysis Oil (Liet. *Makrodumblių Cladophora glomerata ir HEDP plastiko pirolizės alyvų gerinimas gaminant alternatyvų kurą*). *Journal of Marine Science and Engineering*, 10 (131), 131.

1. Mokslinės ir praktinės literatūros šaltinių, statistinių duomenų ir teisės aktų analizė

Šiame skyriuje pateikiama išsami mokslinės ir praktinės literatūros šaltinių, statistinių duomenų bei naujausių teisės aktų analizė.

1.1. Statistinių duomenų analizė naudotų padangų susidarymo srityje Lietuvoje ir kitose ES šalyse

1.1.1. Naudotų padangų susidarymas bei valdymas Europoje

Kiekvienais metais yra stebimas ženklus naudoti nebetinkamų padangų kiekio augimas. Vien Europos Sąjungoje, taip pat Norvegijoje, Šveicarijoje, Serbijoje, Turkijoje ir Jungtinėje Karalystėje (EU 27 + NO + CH + Serbija + TR + JK) susidarančių naudoti nebetinkamų padangų kiekis 2018 metais siekė 3 573 900 t [3], 2019 m. – 3 555 611 t [4]. Palyginti su 2017 m. duomenimis, stebimas 4 % augimas, t.y. 149 400 t didesnis kiekis, palyginti su 2019 m. duomenimis yra pastebimas 1% susidarančių naudotų padangų kiekio sumažėjimas, tačiau bendroje perspektyvoje naudotų padangų kiekių didėjimo tendencijos kelia rimtą nerimą. Didžiausi naudotų padangų kiekiai susidaro didžiosiose, ekonomiškai stipresnėse bei aukštą automobilizacijos lygį turinčiose šalyse – Prancūzijoje, Vokietijoje, Italijoje, Ispanijoje, Lenkijoje, Jungtinėje Karalystėje, Turkijoje. Analogiškai mažesni susidarančių naudotų padangų kiekiai pastebimi mažesnėse, mažiau automobilizuotose ar ekonomiškai silpnesnėse šalyse. Duomenys apie naudotų padangų susidarymą bei jų tvarkymą 2019 m. pateikiami 1-oje lentelėje.

1 lentelė. Naudotų padangų valdymas 2019 m. [4]

Valstybė	Susidarantis NP kiekis, t (A)	Atgavimas iš NP:				NŽ arba sand. kiekiai, t (F)	Visas NP sutvarkytas kiekis, t (G=D+E)	Visas NP sutvarkytas kiekis, % (H=G/A)
		Medžiagų			Energijos			
		Civilinė inžinerija, viešasis naudojimas, kt., t (B)	Perdirbimas, t (C)	Visas atgautų medžiagų kiekis, t (D=B+C)	Energijos išgavimas, t (E)			
Airija	32 601	-	31 573	31 573	1 028	-	32 601	100%
Austrija	74 000	-	46 000	46 000	28 000	-	74 000	100%
Belgija	81 325	-	75 163	75 163	2 153	3 600	77 316	95%
Bulgarija	40 800	-	26 000	26 000	1 500	13 300	27 500	67%
Čekijos Respublika	93 037	-	34 194	34 194	32 849	2 802	67 043	72%
Danija	49 900	-	47 800	47 800	0	-	47 800	96%
Estija	13 107	1 485	9 106	10 591	3 216	-	13 807	105%
Graikija	45 200	-	29 988	29 988	13 851	1 861	43 839	97%
Ispanija	238 080	202	158 125	158 327	79 753	-	238 080	100%
Italija	384 000	842	170 000	170 842	170 000	32 000	340 842	89%
Kipras	6 900	-	2 500	2 500	7 500	-	10 000	145%
Kroatija	26 307	-	19 909	19 909	1 374	-	21 283	81%
Latvija	12 500	-	8 000	8 000	3 500	1 000	11 500	92%
Lenkija	268 500	-	127 000	127 000	84 000	57 500	211 000	79%
Lietuva	21 533	-	14 413	14 413	3 752	2 426	18 165	94%

1 lentelės tęsinys. Naudotų padangų valdymas 2019 m. [4]

Valstybė	Susidarantis NP kiekis, t (A)	Atgavimas iš NP:				NŽ arba sand. kiekiai, t (F)	Visas NP sutvarkytas kiekis, t (G=D+E)	Visas NP sutvarkytas kiekis, % (H=G/A)
		Medžiagų			Energijos			
		Civilinė inžinerija, viešasis naudojimas, kt., t (B)	Perdirbimas, t (C)	Visas atgautų medžiagų kiekis, t (D=B+C)	Energijos išgavimas, t (E)			
Liuksemburgas	0	-	-	-	-	-	-	-
Malta	2 300	-	2 300	2 300	-	-	2 300	100%
Nyderlandai	87 746	-	79 933	79 933	7 813	-	87 746	100%
Portugalija	72 421	744	46 499	47 243	30 915	-	78 158	108%
Prancūzija	422 579	38 354	184 003	222 357	222 054	-	444 411	105%
Rumunija	51 413	-	544	544	50 869	-	51 413	100%
Slovakijos Respubl.	27 475	-	22 675	22 675	632	363	23 307	85%
Slovėnija	27 307	-	7 496	7 496	13 150	1 258	20 646	76%
Suomija	61 060	56 802	10 733	67 535	5 958	-	73 493	120%
Švedija	93 532	3 013	24 623	27 636	65 896	-	93 532	100%
Vengrija	44 000	-	30 000	30 000	9 500	4 500	39 500	90%
Vokietija	434 000	-	295 000	295 000	137 250	-	432 250	100%
Jungtinė Karalystė	452 659	11 065	148 643	159 708	277 283	15 669	436 991	97%
Norvegija	66 620	447	19 763	20 210	47 410	-	67 620	102%
Serbija	50 000	-	39 000	39 000	11 000	-	50 000	100%
Šveicarija	47 200	-	600	600	46 600	-	47 200	100%
Turkija	227 509	-	129 619	129 619	69 009	28 881	198 628	87%
Viso:	3 555 611	112 954	1 841 202	1 954 156	1 427 815	165 160	3 381 971	95%

Lentelėje yra susisteminti pagrindiniai duomenys apie naudotų padangų susidarymą bei jų tvarkymą, kuris apima:

- a) medžiagų atgavimą iš naudotų padangų:
 - 1) išgautų medžiagų (gumos, metalo) panaudojimas civilinės inžinerijos, viešojo naudojimo objektų statybos ar užpildymo tikslais;
 - 2) padangų perdirbimas (išgaunant įv. medžiagas (gumą, metalą, tekstilę ir k.t.));
- b) energijos atgavimą iš naudotų padangų (deginimas energetiniais tikslais).

Taip pat kai kurių šalių atvejais yra pastebimas duomenų trūkumas apie tam tikros dalies susidarantių naudotų padangų valdymą arba padangos yra laikinai sandėliuojamos laukiant būsimo jų apdirbimo/sutvarkymo (lentelėje priskirta prie nežinomų arba sandėliuojamų kiekių).

Remiantis Europos padangų ir gumos gamintojų asociacijos „ETRMA“ (angl. *European tyre and Rubber manufacturers association*) pateikiamais duomenimis (žr. 1 lentelę) apie eksploatuoti nebetinkamų padangų tvarkymą, matoma, jog 2019 m. asociacijai priklausančiose 32-ose šalyse (EU 27 + NO + CH + Serbija + TR + JK) 95 % surinktų padangų buvo panaudota pakartotinai medžiagoms perdirbti bei energijai atgauti. Lyginant esamą situaciją su ankstesniais metais,

matomas rezultatų augimas, t.y. nuo 91 % 2018 m. iki 95 % 2019 m. Apie 1,95 mln. tonų (apie 55 % visų susidariusių NNP) susidariusių naudotų padangų buvo panaudota pakartotinai išgaunant medžiagas, iš kurių 1,36 mln. tonų padangų buvo apdirbta granuliavimo būdu, 0,476 mln. t panaudota cemento gamyboje ir apie 0,13 mln. t buvo panaudota civilinės inžinerijos tikslais. Apie 1,43 mln. (apie 40 % visų susidariusių NNP.) tonų naudotų padangų buvo panaudota energetiniais tikslais, t.y. išgaunant energiją. Apie 0,165 mln. t naudoti nebetinkamų padangų yra laikinai sandėliuojamos arba tvarkymo duomenys apie šiuos kiekius yra nežinomi.

Analizuojant atskirų šalių pasiekimus naudotų padangų tvarkymo srityje, galima išskirti tris šalių grupes:

1. šalys, sutvarkančios mažiau nei 100 % susidarančių naudoti nebetinkamų padangų – 15 valstybių;
2. šalys, sutvarkančios 100 % susidarančių naudoti nebetinkamų padangų – 10 valstybių;
3. šalys, sutvarkančios daugiau nei 100 % susidarančių naudoti nebetinkamų padangų – 6 valstybės.

Be kita ko, Europos padangų pramonės sektorius yra įsipareigojęs vykdyti įvairius Europos Sąjungos reikalavimus bei taikyti inovatyvios ir darnios ekonomikos principus savo veikloje, todėl didinti surinktų naudotų padangų panaudojimą tolimesniems procesams (medžiagoms ar energijai atgauti) yra vienas iš pagrindinių tikslų. Iš padangų išgaunamos antrinės žaliavos tampa svarbūs išteklių kitoms pramonės šakoms, tokioms kaip statybos, automobilių ar cemento gamyba.

1.1.2. Naudotų padangų susidarymas bei valdymas Lietuvoje

Apžvelgiant 1.1.1. skyrelyje 1-oje lentelėje pateiktus duomenis matoma, kad Europos šalių pasiektas 95 proc. naudotų padangų perdirbimo rodiklis, palyginti su Lietuvos rodikliu, yra ganėtinai aukštas. Lietuvai vis dar sunku pasiekti Europos lygį, nes dėl teisės aktų spragų ne visi gamintojai ir importuotojai realiai finansuoja visų rinkai patiekiamų padangų sutvarkymą, dalis veiklų yra vykdoma aplenkiant galiojančius teisės aktus. To pasekoje dalis susidariusių naudoti nebetinkamų padangų nėra tinkamai sutvarkoma, o statistika, kuri fiksuoja naudotų padangų susidarymą, jų surinkimą bei sutvarkymą, yra iškreipiama. 2-oje lentelėje pateikiami viešai prieinami Aplinkos apsaugos agentūros duomenys apie naudoti nebetinkamas padangų atliekas Lietuvoje.

2 lentelė. Naudoti nebetinkamų padangų valdymas Lietuvoje 2018-2019 m. [50]

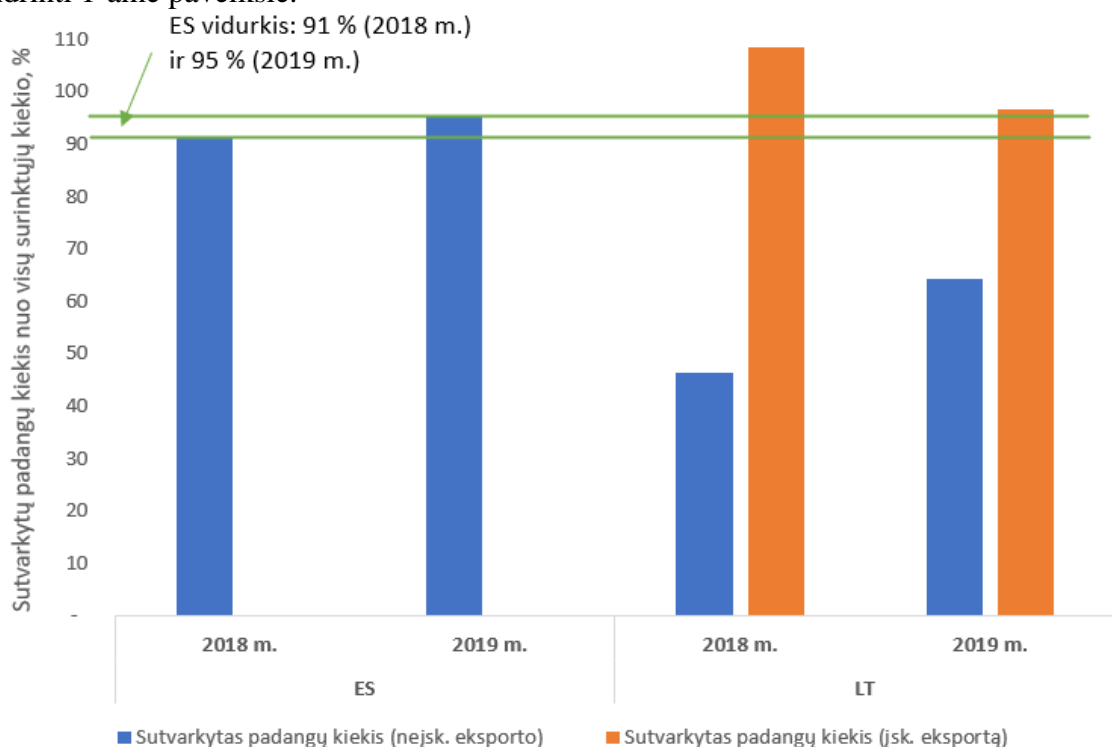
Analizuojami aspektai	2018 m.	2019 m.
1	2	3
Atliekos kodas	160103	
Atliekos pavadinimas	Naudoti nebetinkamos padangos	
Kiekis 2018/19 m. pradžioje, t	5 019,615	2 984,253
Surinkta, t	23 106,077	28 058,546
Susidarė atliekų apdorojimo metu, t	315,019	256,900
Surinkta+susidarė, t	23 421,095	28 315,446
Šalinimas, t (D1, D5)	-	-

2 lentelės tęsinys. Naudoti nebetinkamų padangų valdymas Lietuvoje 2018-2019 m. [50]

Analizuojami aspektai	2018 m.	2019 m.
1	2	3
Eksportas, t (S4)	14 555,950	9 208,438
Deginimas, t (R1)	3 670,470	3 752,460
Perdirbimas, t (R2-R9)	6 219,560	9 564,806
Naudojimas ir paruošimas naudoti pakartotinai, t (R10, R11)	63,040	-
Apdorojimas, t (D8, D9, D14, R12, S5)	908,130	4 848,512
Kiekis 2018/19 m. pabaigoje, t	3 023,561	3 925,484

Remiantis Lietuvos Respublikos Aplinkos apsaugos agentūros pateiktais duomenimis (žr. 2 lentelę) 2019 m. surinktų atliekų kiekis yra apie 5 tūkst. t didesnis nei 2018 m.. Nemažą dalį naudoti nebetinkamų padangų atliekų Lietuva eksportuoja užsienio tvarkytojams. 2018 m. eksportuojamų padangų kiekis sudarė apie 62 % visų surinktų bei atliekų apdorojimo metu susidariusių padangų atliekų kiekio. 2019 m. naudotų padangų eksportas sumažėjo du kartus, t.y. iki 33 % nuo viso naudoti nebetinkamų padangų kiekio. Senų padangų panaudojimas energetiniais tikslais yra panašus abiejų metų laikotarpyje ir sudaro apie 13 – 16 % viso surenkamų ir apdorojimo metu susidariusių padangų atliekų kiekio. Tuo tarpu perdirbamų naudotų padangų kiekiai pakito nuo 27 % 2018 m. iki 34 % 2019 m. Apie 0,3 % visų surinktų ir po apdorojimo susidariusių padangų atliekų kiekio 2018 m. buvo paruošta naudoti pakartotinai, o 2019 m. pakartotiniam naudojimui nebuvo paruošta visiškai jokių senų padangų. Apdorojimo būdais (fizikinis-cheminis, smulkinimas, granuliavimas, medžiagų atskyrimas ir k.t.) buvo apdorota apie 4 % (2018 m.) ir apie 17 % (2019 m.) visų naudoti nebetinkamų padangų kiekio. Analizuojamuoju laikotarpiu senų padangų nebuvo šalinta sąvartynuose, kadangi tai draudžia Europos Sąjungos įstatymai (pvz., EB direktyva 1999/31).

Senų naudotų padangų surinkimo bei jų tvarkymo Europos Sąjungoje ir Lietuvoje duomenys apibendrinti 1-ame paveiksle.



1 pav. Naudotų padangų valdymas ES ir LT 2019 m.

Sutvarkomų surinktų naudotų senų padangų kiekiai Lietuvoje ženkliai skiriasi nuo tvarkymui taikomų metodų (žr. 1 pav.). Lietuvos Respublikoje naudoti nebetinkamos padangos yra tvarkomos jas perdirbant, iš jų atgaunant medžiagas, deginant, iš jų išgaunant energetinę vertę arba apdorojamos kitais būdais. Tokiu atveju skirtumas tarp sutvarkomų padangų kiekio Lietuvoje ir Europos Sąjungoje siekia 45 % (2018 m.) ir 31 % (2019 m.), t.y. Lietuvoje, neįskaitant naudoti nebetinkamų padangų eksporto/išvežimo, buvo sutvarkyta tik 46 % ir 64 % šių atliekų, atitinkamai 2018 m. ir 2019 m. Didelė dalis naudoti nebetinkamų padangų iš Lietuvos yra eksportuojama/išvežama į kitas šalis (2018 m. – 62 %, 2019 m. – 33 %), o tai daro didelę įtaką Lietuvos naudoti nebetinkamų padangų tvarkymo sistemos rezultatui. Prie jau prieš tai išvardintų tvarkymo metodų priskyrus ir padangų atliekų eksportą/išvežimą, kuris yra viena iš pagrindinių šio tipo atliekų tvarkymo praktiku, matoma, kad Lietuva atitinka nustatytus minimalius kriterijus (žr. 1.2. poskyrį) ir pasiekia Europos Sąjungos surenkamų naudotų padangų tvarkymo rezultatų vidurkį (2018 m. jį viršija 17 % , 2019 m. – 1,5 %).

1.2. Taikomų teisės aktų apžvalga

Šiame poskyryje apžvelgiama esminė teisinė sistema, reguliuojanti naudoti nebetinkamų padangų tvarkymą, t.y. perdirbimą, pakartotinį panaudojimą ir kt.

Siekiant tausiau naudoti gamtos resursus, orientuojantis į aplinkosaugą ir ekonominį tvarumą, pradėta vystyti žiedinės ekonomikos koncepcija, kurios tikslas išlaikyti medžiagų ir produktų vertę rinkoje, kuo mažiau jų šalinant sąvartyne [5].

Pasibaigus eksploatacijos laikui, naudoti nebetinkamos padangos surenkamos ir apdorojamos (perdirbant medžiagas ir iš jų išgaunant energiją) Europos Sąjungos šalyse veikiančiaose eksploatuoti netinkamų padangų tvarkymo įmonėse, kurių didžioji dauguma veikia pagal išplėstinės gamintojų atsakomybės principus.

1.2.1. ES reglamentavimo sistema

ES valstybės narės gali laisvai nustatyti nacionalines iniciatyvas, kad pasiektų ES iškeltus tikslus, susijusius su atliekų tvarkymo politikos plėtojimu nacionaliniu lygmeniu. Toliau pateikiamos pagrindinės direktyvos bei reglamentai, kurie buvo ir yra pagrindinė varomoji jėga formuojant naudoti nebetinkamų padangų tvarkymo sistemas ES.

Sąvartynų direktyva (1999/31/EB) – apibrėžia sąvartynų atliekų tvarkymą. Nurodo valstybėms narėms imtis priemonių, kad į sąvartynus nebūtų šalinamos nesmulkintos naudotos padangos, išskyrus padangos, naudojamas kaip inžinerinė medžiaga, ir smulkintos naudotos padangos (abiem atvejais išskyrus dviračių padangas ir padangas, kurių išorinis diametras didesnis nei 1 400 mm);

Europos atliekų direktyva (2008/98/EB) – pateikia nebenaudojamų padangų gaminių atliekų apibrėžtis. Tačiau dėl to susidaro didelė administracinė ir finansinė našta (surinkimas, vežimas ir kt.), o tai stabdo tolesnių panaudojimo būdų plėtrą. Šios problemos neišsprendė ir šios direktyvos peržiūra (Direktyva (ES) 2018/851). Ateityje būtina nustatyti kriterijus, pagal kuriuos iš naudoti nebetinkamų padangų atliekų pagaminti gaminiai būtų laikomi ne atlieka, o nauja žaliava. To reikia siekiant toliau skatinti tvarų tokių antrinių žaliavų naudojimą įvairiose srityse, kadangi įvairūs teisiniai nesusipratimai mažina domėjimąsi perdirbamų padangų medžiagų panaudojimu įvairiose

srityse [6]. Taip pat šioje direktyvoje apibrėžiama atliekų hierarchija, pagal kurios principus yra derinami padangų atliekų tvarkymo metodai.

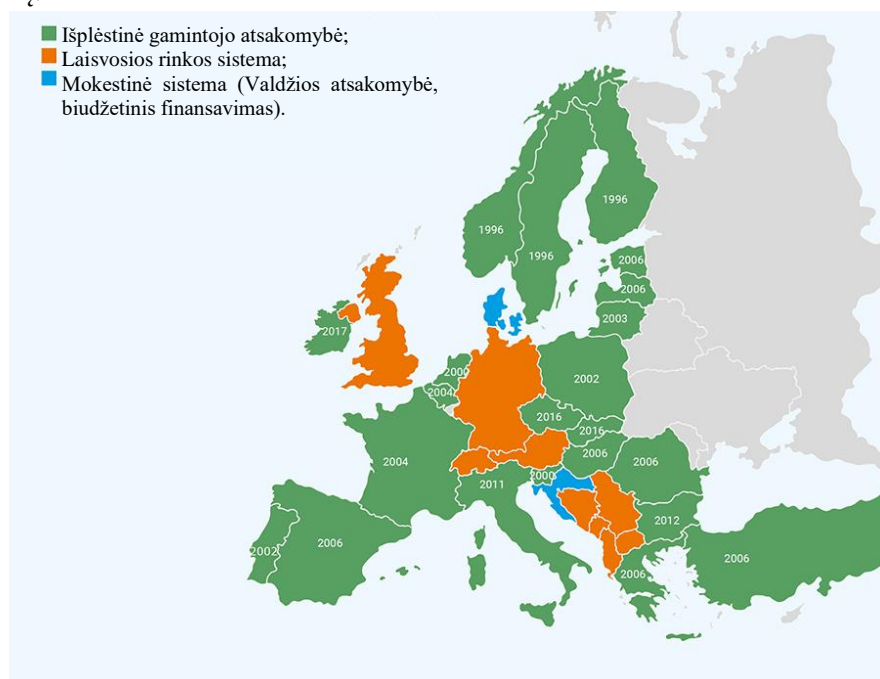
Atsakomybė už eksploatuoti netinkamų padangų tvarkymą yra viena iš pagrindinių padangų pramonės veiklų. ES egzistuoja trys skirtingos eksploatuoti netinkamų padangų tvarkymo sistemos:

Išplėstinė gamintojo atsakomybė – tai gamintojo visiška ar dalinė veiklos ir/arba finansinė atsakomybė už gaminių visuose jo gyvavimo ciklo etapuose, t.y. net ir po jo vartojimo. Kitaip tariant, pagal šią sistemą pirminis gamintojas privalo rūpintis, kad jo sukurtų gaminių atliekos būtų šalinamos atsakingai ir aplinkai nekenksmingu būdu. Dėl šios priežasties buvo įsteigtos ne pelno siekiančios įmonės, kurias finansuoja padangų gamintojai ir kurių tikslas – ekonomiškiausiais sprendimais tvarkyti naudoti nebetinkamų padangų surinkimą bei panaudojimą. Įpareigojimas teikti ataskaitas nacionalinėms valdžios institucijoms yra geras aiškaus ir patikimo atsekamumo pavyzdys [7].

Laisvosios rinkos sistema – pagal šią sistemą teisės aktuose nustatomi tikslai, kurių turi būti siekiama, tačiau nėra paskiriami atsakingi asmenys. Tokiu būdu visi grandinės subjektai sudaro sutartis laisvosios rinkos sąlygomis ir veikia laikydamiesi teisės aktų. Tai gali būti paremta savanorišku įmonių bendradarbiavimu siekiant skatinti geriausią praktiką. Laisvosios rinkos sistemos veikia Austrijoje, Šveicarijoje, Vokietijoje, Jungtinėje Karalystėje, Bosnijoje ir Hercogovinoje, Serbijoje, Juodkalnijoje, Albanijoje, Šiaurės Makedonijoje. Jungtinėje Karalystėje veikia „valdomos laisvosios rinkos“ sistema, nes naudoti nebetinkamų padangų surinkėjai ir apdorojimo operatoriai turi teikti ataskaitas nacionalinėms institucijoms [8].

Mokestinė sistema – naudoti nebetinkamų padangų valdymo modelis, pagal kurį kiekviena šalis yra atsakinga už naudotų padangų valdymą. Sistema finansuojama iš padangų gamintojams taikomo mokesčio, kuris vėliau perkeliamas ir vartotojui (pvz., Danijoje ir Kroatijoje) [8].

2-ame paveiksle parodytas ES šalių pasiskirstymas pagal taikomą naudoti nebetinkamų padangų tvarkymo schemą.



2 pav. Naudoti nebetinkamų padangų tvarkymo schema Europoje (ETRMA)

Šiuo metu Europoje už naudoti nebetinkamų padangų tvarkymą šalys yra pasiskirsčiusios taip:

- išplėstinės gamintojo atsakomybės sistemą taiko 22 šalys;
- laisvosios rinkos pagrindu sistema veikia 9 šalyse;
- mokestinė sistema veikia 2 šalyse.

Taigi, matoma, kad plačiausiai Europoje yra taikoma Išplėstinės gamintojo atsakomybės sistema, kuri leidžia pasiekti ganėtinai aukštą efektyvumą tvarkant naudoti nebetinkamas padangas.

1.2.2. Lietuvos reglamentavimo sistema

Daugeliu atveju ES lygmeniu nustatyti uždaviniai bei tikslai yra pernešti į nacionalinę įstatyminę bazę. Šiame skyrelyje apžvelgiama naudoti nebetinkamų padangų tvarkymui taikoma nacionalinio reglamentavimo sistemos visuma.

Atliekų tvarkymo ir kituose atliekų tvarkymą apibrėžiančiuose įstatymuose nurodoma, kad Lietuvoje naudoti nebetinkamų padangų sutvarkymui yra taikomas išplėstinės gamintojo atsakomybės principas. Taigi, taikant gamintojo atsakomybės principą, gamintojai ir importuotojai atsakingi už jų vidaus rinkai tiekiamų gaminių ir pakuočių poveikį aplinkai per visą būvio ciklą. Kuris trunka nuo gamybos iki saugaus atliekų sutvarkymo, įskaitant surinkimo, vežimo, perdirbimo, naudojimo ir šalinimo sistemos organizavimą ir/ar finansavimą, nustatytų gaminių ir pakuočių atliekų tvarkymo užduočių vykdymą, informacijos apie gaminius, pakuotes ir jų atliekų tvarkymą teikimą šių gaminių naudotojams ir atliekų tvarkytojams, gražinamų produktų ir juos panaudojus susidarantių atliekų priėmimą, tvarkymą ir finansinę atsakomybę už tokią veiklą.

Taip pat nuo 2016 m. Lietuvoje teisės aktais nustatyta užduotis atskirai padangas įvežantiems gamintojams ir importuotojams perdirbti ar kitaip panaudoti ne mažiau kaip 80 % viso Lietuvos rinkai patiekto padangų kiekio.

Dar vienas aspektas, kuris daro didelę įtaką naudoti nebetinkamų padangų tvarkymo srityje ne tik Lietuvoje, bet, kaip jau ir minėta ankstesniame skyrelyje, ir visoje ES – tai padangų atliekų nebelaikymas atliekomis jų perdirbimo atveju. Ilgą laiką pagal galiojusią reglamentavimo tvarką nebuvo aišku, kas yra laikoma padangų gumos antrinėmis žaliavomis, o kas – atliekomis. Lietuvos Respublikos Aplinkos ministerija, atsižvelgdama į Europos Parlamento ir Tarybos direktyvas 2008/98/EB ir (ES) 2018/851, tam tikslui dar 2021 m. pabaigoje pasiūlė aiškius kriterijus, pagal kuriuos perdirbtos padangų atliekos laikomos nebe atliekomis, o produktu. Šis apibrėžties patikslinimas padėtų sudaryti sąlygas tvariems šių atliekų tvarkymo modeliams įtvirtinti. Aiškūs kriterijai yra numatomi Perdirbtų naudoti nebetinkamų padangų atliekų nebelaikymo atliekomis kriterijų apraše. Šis įstatymas įsigaliojo nuo 2022 m. gegužės 1 d. Pagal nurodytą įstatymą perdirbtos padangų atliekos yra nebelaikomos atliekomis, jei atitinka tam tikrus nustatytus kriterijus (žr. 3 lentelę).

3 lentelė. Kriterijai, pagal kuriuos perdirbtos padangų atliekos yra nelaikomos atliekomis [55]

Nr.	Kriterijai	Padangų gumos antrinės gamintojo patikrinimai žaliavos atliekami
1	2	3
1	Yra naudojamos naudoti netinkamos padangų atliekos identifikuojamos 16 01 03 atliekų kodu	Vizualinis įvertinimas
2	Atliekų naudojimo veiklai yra suteiktas R3 kodas	
3	Taršos ar taršos integruotos prevencijos ir kontrolės (TIPK) leidime, išduotame eksploatuoti padangų atliekų naudojimo ar šalinimo įrenginiui, yra nustatytas didžiausias numatomas apdoroti padangų atliekų kiekis, padangų atliekų perdirbimo pajėgumai, leidžiamos padangų atliekų perdirbimo veiklos, padangų atliekų laikymo sąlygos, padangų atliekų perdirbimo technologinio proceso aprašymas, padangų atliekų kiekis ir kiti reikalavimai	Patikrinimas taršos arba TIPK leidimas, įsk. techninis reglamentas
4	*Prieš padangų atliekų perdirbimą pašalinamos neleistinos priemaišos (pvz., akmenys, metalo ir tekstilės priedai, kt.), jei yra perdirbama į Perdirbtų naudoti netinkamų padangų atliekų nebelaikymo atliekomis kriterijų Apraše nurodytas medžiagų rūšis	Padangų gumos antrinės žaliavos kokybė vertinama: -vizualiai;
5	*Mechaniniu būdu perdirbus padangų atliekas gaunama gumos medžiaga priskiriama vienai iš Apraše nurodytų medžiagų rūšių	-vadovaujantis kokybės valdymo sistema;
6	Atitinka techninius reikalavimus, produktams taikytinus galiojančius teisės aktus ir standartus	-atlikus padangų gumos antrinių žaliavų ėminių fizinių ir cheminių savybių laboratorinius tyrimus.
7	Atitinka siuntos gavėjo pateiktą techninę specifikaciją	
8	Neturi pavojingų savybių	
9	Neviršija tam tikrų pavojingų medžiagų, mišinių ir gaminių gamybos, tiekimo rinkai bei naudojimo apribojimų	
10	Nėra užterštos alyva, tepalais ar kitomis medžiagomis	Priklausomai nuo kitų techninių charakteristikų gali būti atliekami kiti tyrimai.
11	Siekiant naudoti produktų gamyboje nereikalingas papildomas apdorojimas	
12	*Atskyrimas ir kiekybinis nustatymas atliekami pagal dalelių dydį	
13	**Pagamintai produkcijai gamintojas išduoda Kokybės atitikties Deklaraciją**	

Pastabos:

*Perdirbus padangų atliekas mechaniniu būdu (pvz., šlifavimas, granuliavimas, traiškymas, smulkinimas, pjaustymas) gautoji antrinė žaliava nėra laikoma atlieka, jei yra gaunama gumos medžiaga, kuri priskiriama vienai iš šių medžiagų rūšių:

1. gumos milteliai – šlifuojant naudoti netinkamas padangas gaunama gumos medžiaga, kurios dalelių dydis ne didesnis nei 0,8 mm;
2. gumos granulės – granuliuojant naudoti netinkamas padangas gaunama gumos medžiaga, kurios dalelių dydis nuo 0,9 mm iki 20 mm;
3. gumos skaidulos – traiškant ar smulkinant naudoti netinkamas padangas gaunama tekstilės priedų galimai turinti gumos medžiaga, kurios netaisyklingos formos dalelių dydis nuo 10 mm iki 50 mm;
4. susmulkinta guma – traiškant ar susmulkinant naudoti netinkamas padangas gaunama metalo ir tekstilės priedų galimai turinti gumos medžiaga, kurios netaisyklingos formos dalelių dydis nuo 50 mm iki 300 mm;
5. gumos liekanos – traiškant, smulkinant ar pjaunant naudoti netinkamas padangas gaunama metalo ir tekstilės priedų galimai turinti gumos medžiaga, kurios netaisyklingos formos dalelių dydis nuo 300 mm iki 500 mm.

** Padangų gumos antrinės žaliavos gamintojas parengia ir išduoda Perdirbtų naudoti netinkamų padangų atliekų nebelaikymo atliekomis atitikties deklaraciją. Deklaracija patvirtina perdirbtų padangų atliekų atitiktį perdirbtų padangų atliekų nelaikymo atliekomis kriterijams, nurodytiems 3-ioje lentelėje. Padangų gumos antrinės žaliavos, atitinkančios šio įstatymo aprašo kriterijus (žr. 3 lentelę), apskaitomos Atliekų apskaitos taisyklėse nustatyta tvarka kaip po atliekų apdorojimo gautos medžiagos ir/ar daiktai, tačiau jau nebe atliekos. Tačiau taip pat šio Įstatymo apraše yra nustatyti kriterijai, pagal kuriuos padangų gumos antrinės žaliavos yra laikomos atliekomis ir turi būti perduotos atliekų tvarkytojams, turintiems teisę tvarkyti tokias atliekas, jei jos:

1. yra skirtos gauti energijai ir/ar perdirbti į medžiagas, kurios naudojamos kaip kuras, užpildas ar perdengimas;
2. yra skirtos atliekų šalinimo veiklai;
3. yra skirtos naudoti pirolizės, plazmolizės, dujinimo ir panašaus technologinio proceso metu, kai pakeičiamos gumos medžiagoms būdingos fizinės ir/ar cheminės savybės;
4. yra nepanaudojamos pagal Deklaracijoje nurodytą paskirtį ilgiau nei 6 mėn. nuo Deklaracijos išdavimo, arba jei po Deklaracijos išdavimo paaiškėja, kad Deklaracijoje pateikti melagingi duomenys arba ji išduota neteisėtai.

Padangų gumos antrinės žaliavos, atitinkančios Aprašo kriterijus, pagal kuriuos padangų gumos antrinė žaliava yra laikoma atlieka, yra tvarkomos Atliekų tvarkymo taisyklėse nustatyta įprasta tvarka.

Taigi, apibendrinant, perdirbtų padangų atliekų yra siūloma nelaikyti atliekomis, jeigu jas perdirbus mechaniniu būdu (šlifuojant, granuliuojant, traiškant, smulkinant, pjaustant ir panašiai) gaunama gumos antrinė žaliava. Ši žaliava – tai gumos milteliai, granulės, skaidulos, susmulkinta guma, gumos liekanos.

1.3. ES ir kitose šalyse plačiausiai taikomi naudotų padangų perdirbimo metodai

ES bei Lietuvos įstatymuose, reglamentuojančiuose atliekų tvarkymą, darnaus vystymosi strategijose bei kituose dokumentuose yra numatyta ir skatintina vis labiau taikyti efektyviausius vadinamosios atliekų hierarchijos principus atliekų valdymui bei jų tvarkymui (žr. 3 pav.) [9].



3 pav. Naudotų padangų tvarkymas pagal atliekų hierarchijos principus [9]

Aukščiausią vietą atliekų hierarchijos piramidėje užima padangų atliekų prevencijos principas. Šiuo principu įvairiais būdais (pvz., per mobilumo politiką) skatinama vengti pačių atliekų susidarymo (pvz. NNP susidarymo). Tačiau vertinant dabartinį ekonominį augimą, ateities perspektyvoje šis principas gali būti sunkiai įgyvendinamas. Antra labiausiai skatintina priemonė – naudotų senų padangų restauravimas (pvz., pakeičiant susidėvėjusį padangos protektoriaus sluoksnį). Šis metodas yra ganėtinai palankus ekonominiu ir aplinkosauginiu požiūriu, tačiau yra tik laikina priemonė. Sena padanga, priklausomai nuo jos savybių, gali būti restauruota iki kelių kartų, o po to ji vis tiek taps atlieka. Trečioji priemonė – naudoti nebetinkamų padangų perdirbimas iš jų atgaunant naudingąsias medžiagas (gumą, metalą, tekstilę). Ketvirtoji priemonė yra padangų sudeginimas energetiniais tikslais. Ši priemonė nėra tokia darni kaip anksčiau paminėtos priemonės, kadangi visos medžiaginės savybės yra sunaikinamos, o deginimo metu yra atgaunama tik dalis energijos, sunaudotos padangos gamybos metu. Paskutinis, užimantis žemiausią vietą atliekų hierarchijoje, ir aplinkosauginiu požiūriu blogiausias metodas – šalinimas sąvartynuose. Tokiu būdu šalinamos senos padangos užima didelę sąvartynų vietą, didina gaisrų riziką (kadangi jose gali pradėti kauptis metano dujos) [10], taip pat toks principas yra visiškai priešingas žiedinei ekonomikai. Naudoti netinkamų padangų atliekų šalinimas sąvartynuose ES nuo 2003 m. yra uždraustas [9].

Atsižvelgiant į atliekų hierarchijos principus, tolimesniuose skyreliuose bus analizuojami mokslinėje ir praktinėje literatūroje pateikiami duomenys apie ES ir kitose šalyse taikomus naudoti nebetinkamų padangų tvarkymo (restauravimas, energijos atgavimas, perdirbimas) metodus. Plačiausiai, atsižvelgiant į darbo temą, bus apžvelgtas padangų atliekų perdirbimo metodas.

1.3.1. Naudoti netinkamų padangų restauravimas

Atnaujintos dalys gali būti naudojamos naujiems gaminiams surinkti arba visas (patobulintas, atnaujintas) produktas gali būti parduodamas pakartotinai. Norint, kad pakartotinai restauruotas gaminyt būtų tokios pat kokybės kaip ir naujas gaminyt, labai svarbu surinkti naudotą produktą vis dar geros būklės. Po surinkimo naudoto produkto būklė turi būti patikrinama, ar jis yra tinkamas restauravimui [11].

Naudotų padangų restauravimo (atnaujinimo) metu yra atliekamas nusidėvėjusio protektoriaus pašalinimas, naudojant šlifavimo technologiją, ir padangos korpuso paruošimas naujo protektoriaus sluoksnio uždėjimui. Toliau seka naujo protektoriaus sluoksnio uždėjimas, kai abi dalys – korpusas ir protektorius – sujungiamos vulkanizacijos būdu.

Naudotų padangų restauravimas (angl. retreading) pagal atnaujinamo paviršiaus tipą gali būti atliekamas keliais būdais [12]:

1. integruotas, atnaujinant protektorių ir šoninę sienelę;
2. pusiau integruotas, atnaujinant protektorių ir dalį šoninės sienelės;
3. tik protektorius. Yra dvi protektoriaus atnaujinimo sistemos pagal sukibimo sistemą:
 - „šiltas“ protektoriaus atnaujinimas, vulkanizavimo procesas atliekamas presavimo mašinose 150-160 °C temperatūroje;
 - „šaltasis“ protektoriaus atnaujinimas, vulkanizavimo procesas atliekamas autoklavuose 98-125 °C temperatūroje.

Populiariausias ir dažniausiai atliekamas padangos atnaujinimas, pakeičiant tik jos protektorių.

4-oje lentelėje pateikiami naudotų padangų restauravimo (atnaujinimo) metodo privalumai ir trūkumai.

4 lentelė. Naudotų padangų restauravimo metodo privalumai ir trūkumai [11]

Privalumai:	Trūkumai:
Antrinėse rinkose atnaujintos (restauruotos) padangos parduodamos su 30-50 % nuolaida (nuo naujo produkto kainos)	Dažnai neaiškus naudotų padangų gražinimo laikas (t.y. iš naudotojo), todėl ne visada yra balansas tarp restauruotų produktų paklausos ir naudotų gaminių gražinimo
Padangos, kurios atnaujinimo (restauravimo) metu yra sugadinamos ar tampa atlieka gali būti parduodama perdirbėjams ar kitiems tikslams	Grįžamosios logistikos tinklo būtinumas.
Naudotų padangų patikrinimo metu yra galimybė atrinkti geriausios būklės padangas, kurių atnaujinimui techniniai poreikiai ir finansiniai kaštai bus mažiausi	Grąžintų gaminių išardymas dažnai būna sunkus, o kokybė – prasta.
	Didesnė aplinkosauginė neigiama įtaka nei naudoti nebetinkamų padangų perdirbimas atgaunant medžiagas [13]
	Atnaujinimų skaičius yra ribotas ir padanga galiausiai vis tiek taps atlieka

Atlikti naudoti nebetinkamų padangų atnaujinimo vertinimas [11] parodo, jog vienai padangai restauruoti reikia apie 12,5 kg gumos žaliavos (protektoriaus atnaujinimui), kurios kilogramo kaina gali siekti apie 1,75 Eur. Kitame tyrime atliktas naudotų padangų atnaujinimo proceso būvio ciklo energijos vertinimas [14] parodo, kad energijos kiekis, reikalingas naudotos padangos atnaujinimui, sudaro iki 92 % naujos padangos gamybos energijos kiekio, o kokybiškai atnaujintų (restauruotų) padangų naudojimo laikas (pagal ridą) gali būti toks pats kaip ir naujų gaminių. Tai savo ruožtu leidžia daryti išvadą, kad naudoti netinkamų padangų atnaujinimas turi teigiamų aspektų tiek aplinkosaugine, tiek finansine prasme. Vis dėl to – padangų perdirbimas yra labiau tinkamas sunkiasvorio transporto padangoms. Lengvųjų automobilių padangos – dažniausiai kuriamos vieno karto naudojimui.

1.3.2. Naudoti netinkamų padangų panaudojimas energetiniais tikslais

Dėl didelio anglies kiekio (apie 79 %) esančio sudėtyje, naudoti nebetinkamos padangos turi didelį energetinį potencialą [15]. Populiariausios ir dažniausiai naudojamos sritys, skirtos atgauti energiją iš naudoti netinkamų padangų, yra šios [12]:

1. cemento pramonė – sritis, kurioje naudotos padangos energetiniais tikslais yra naudojamos plačiausiai Europoje. Naudoti nebetinkamos padangos yra ganėtinai alternatyvus kuras, tačiau cemento pramonėje, dėl technologinių aspektų, negali būti naudojamas pakeičiant įprastą iškastinį kurą daugiau kaip 20 %;
2. plieno gamyklose – naudoti netinkamos ir susmulkintos padangos gali būti naudojamos elektros lanko tipo krosnyse kaip antracito pakaitalas (1,7 kg padangų atliekų prilygsta 1 kg antracito). Padangose esantis metalas taip pat gali būti naudojamas kaip dalis metalo laužo. Taip pat sudėtyje esanti anglis padeda redukuoti geležį, taupo reduktoriaus sąnaudas, padangose esanti geležis prisijungia prie išlydytos fazės ir pagerina metalurginius plieno rodiklius, o padangose esantis cinkas prisijungia prie plieno miltelių;
3. alternatyvus kuras šiluminėse elektrinėse ir celiuliozės ir popieriaus fabrikuose – šiuo metu naudoti netinkamos padangos, kaip alternatyvus kuras, šiose pramonės srityse plačiai naudojamas JAV ir, ypač, Japonijoje, tačiau ne ES. ;
4. kituose pramoniniuose katiluose – tokiu būdu naudotų padangų atliekos daugiausia naudojamos Japonijoje, kur 2 % visų padangų atliekų panaudojamos pramoniniuose katiluose energijai išgauti.

Remiantis mokslinių šaltinių duomenimis [12,15] pagrindiniai šio atliekų tvarkymo metodo privalumai ir trūkumai pateikiami 5-oje lentelėje.

5 lentelė. Naudotų padangų deginimo metodo privalumai ir trūkumai [12, 15]

Privalumai:	Trūkumai:
Naudoti netinkamų padangų atliekos turi didelį energetinį potencialą ($\approx 32-34$ MJ/kg)	Kaip alternatyvus kuras yra naudojama tik 10 – 20 % naudoti netinkamų padangų
Sąlyginai nedidelis deginamųjų atliekų peleningumas ($\approx 4\%$)	Papildomi sunkumai transportuojant tokio tipo atliekas (t.y. dėl svorio ir tūrio santykio)
Mažesnis aplinkosauginis poveikis, lyginant su kitų rūšių atliekų deginimu	Dėl padangų degimo metu pasiekiamos labai aukštos temperatūros, privalomi tam tikri specialūs technologiniai parametrai šio tipo atliekų degimo procesui

Apibendrinant galima teigti, kad didelis padangų, kaip alternatyvaus kuro, privalumas yra sąlyginai didelis energijos kiekis (apie 32 MJ/kg), todėl jos yra toks pat arba net ir geresnis energijos šaltinis nei kitas kuras (žr. 6 lentelę).

6 lentelė. Skirtingų kuro rūšių energetinių verčių ir emisijų palyginimas [12]

Kuro rūšis	Energetinė vertė (GJ/t)	Emisijos į orą (kgCO₂/t)
Naudotis netinkamos padangos	32,0	2,27
Anglis	27,0	2,43
Koksas	32,4	3,24
Dyzelinas	46,0	3,22
Gamtinės dujos	39,0	1,99
Mediena	10,2	1,12

Deginant naudoti netinkamas padangas energija gali būti išgaunama kaip šiluma, kaip elektros energija (kogeneracijos būdu) arba šios atliekos gali būti deginamos, arba naudojamos kaip vienintelis energijos šaltinis daugelyje procesų. Naudoti netinkamos padangos, be abejo, gali būti naudojamos deginimui nesmulkintos, susmulkintos arba granuliuotos. Pasak įvairių atliktų mokslinių tyrimų, naudojant padangų atliekas kaip alternatyvų kūrą, degimo proceso metu mažėja išmetamų teršalų kiekiai (pvz., SO_x, CO₂), kadangi padangose yra mažiau sieros nei įprastiniame kure, o jų šiluminė vertė yra didesnė daugelio kitų kuro rūšių atveju. Po deginimo likusiuose pelenuose paprastai yra mažiau sunkiųjų metalų nei akmens anglies deginimo pelenuose [12].

1.3.3. Naudoti netinkamų padangų perdirbimo R3 būdu technologijos

Senų padangų atliekos gali būti perdirbamos, siekiant iš jų atgauti naudingas medžiagas. Padangų perdirbimas atgaunant medžiagas yra vienas iš efektyviausių ir darniausių metodų, kadangi naudotose padangose yra dideli kiekiai naudingųjų, o taip pat kritinėmis vertinamų, medžiagų (pvz., gamtinis kaučiukas), kurios gali būti sėkmingai atgaunamos ir panaudojamos dar kartą. Padangos yra gaminamos iš vulkanizuoto kaučiuko (t.y. susisiekiančių polimerų grandinių) ir įvairių sutvirtinamųjų medžiagų (tekstilės ir plieno pluošto). Dažniausiai padangoms naudojamos kelių tipų gumos – stireno-butadieno kopolimeras (SBR) arba natūralaus kaučiuko ir SBR mišinys, kurio pagrindą sudaro tokie pagrindiniai priemaišiniai komponentai kaip suodžiai, užpildas, cinko oksidas, švinas, stearino rūgštis, sierra ir kiti. Šiuolaikinių modernių padangų sudėtyje, įvairiais kiekiais, gali būti net virš 25 priemaišinių medžiagų [19]. Be abejo, pagrindinės padangas sudarančios medžiagos – guma, plienas ir tekstilė. Šių medžiagų pasiskirstymas pagal masės dalis pateikiamas 7-oje lentelėje [17].

7 lentelė. Skirtingų sudedamųjų medžiagų vidutinis kiekis skirtingo tipo padangose [18]

Medžiaga	Lengvųjų automobilių padangų sudedamųjų dalių vidutinis kiekis	Sunkiasvorio transporto ir autobusų padangų sudedamųjų dalių vidutinis kiekis
Guma	78 %	75 %
Metalas	16,5 %	25 %
Tekstilė	5,5 %	< 1 %

Naudoti netinkamų padangų perdirbimas gali būti vykdomas įv. metodais – tiek tradiciniais mechaniniais, tiek inovatyviais vystomais (kriogeninis, ultragarsinis, mikrobangų smulkinimas) metodais. Atlikus mokslinės bei praktinės literatūros analizę toliau apibendrintai yra pateikiami ES ir kitose pasaulio šalyse taikomi naudotų padangų perdirbimo metodai.

Mechaninis smulkinimas. Vienas iš tipiškiausių medžiagų atgavimo iš naudotų padangų būdas yra smulkinimas. Smulkinimas pjaustant atliekamas naudojant dviejų ar daugiau lygiagrečių ašių peilius, kurie sukasi skirtingu greičiu. Atitinkamai reguliuojant peilių išsidėstymus galima nustatyti norimą galutinį smulkinimo dydį ir taip išgauti šias frakcijas [12]:

- a) smulki (50x50 mm);
- b) vidutinė (100x100 mm);
- c) didelė (150x150 mm).

Mechaninis smulkinimas – vienas iš populiariausių ir ekonomiškai efektyviausių padangų perdirbimo metodų, taikomų tiek ekonomiškai stipriose, tiek besivystančiose šalyse [12].

Kriogeninis smulkinimas. Taikant šią technologiją naudoti nebetinkamos padangos yra atšaldomos skystu azotu iki $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūros. Kai guma tampa trapi, ją yra lengviau susmulkinti [12]. Apibendrinti metodo privalumai ir trūkumai pateikiami 8-oje lentelėje.

8 lentelė. Smulkinimo metodų trūkumai ir privalumai

Privalumai:	Trūkumai:
Padangų guma yra atšaldoma todėl tampa lengviau bei kokybiškiau pjaustoma	Dėl proceso naudojamo azoto padidėja vykdomo proceso kaštai
	Naudojant skystą azotą padangos guma smarkiau dėvisi
	Šiuo metu nėra vykdoma daug mokslinių tyrimų, kuriais būtų vystomas/plėtojamas šio tipo smulkinimo metodas
	Didelės energijos sąnaudos bei triukšmingumas

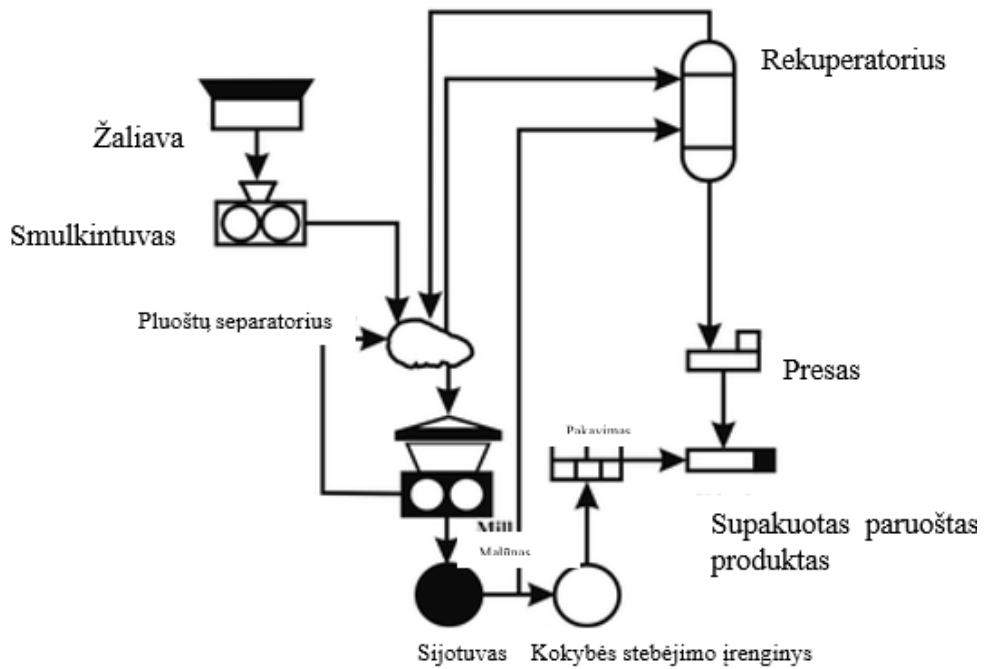
Šlifavimas. Tai mechaninis procesas, kurio metu padangos yra išardomos ir atskiriama tinkama naudoti guma nuo metalinių ir medžiaginių padangos komponentų [16]. Šlifavimas visada yra vykdomas jau mechaniškai susmulkintoms padangų dalims, t.y. smulkintą gumą paverčia į gumos miltelių/granules (priklausomai nuo pageidaujamo frakcijos dydžio). Toliau pateikiami šeši šlifavimų tipai:

(1) Šlifavimas aplinkos temperatūroje (angl. Ambient temperature grinding) – tai daugiapakopis procesas, kurio metu naudojami keli granulatoriai ir krekingo malūnai (angl. Crecker mills). Tai specialaus tipo malūnas, pagamintas iš didelių diskų su išsikišusiais ašmenimis. Šie diskai yra išdėstyti vienas priešais kitą ir besisuka priešingomis kryptimis, taip smulkindami gumą. Vėliau norint iš gumos pašalinti plieną yra naudojami galingi magnetai, o pluoštui – oro separatoriai. Šio proceso metu gali būti apdorojama guma nuo didelių gabalų iki $0,6 - 1,1\text{ mm}$ gumos miltelių/granulių. Vykdamas šį procesą guma yra perleidžiama per smulkintuvus, todėl po proceso gautų gumos dalelių kraštai būna šiurkštūs, ir jie turi tam tikrą įtaką gumos savybėms. Kai kuriais atvejais ji tampa labiau tinkamesnė naudoti kai kuriose srityse. Pavyzdžiui, naudojant kaučiuku modifikuotą asfaltą kelių tiesimui, pirmenybė teikiama būtent aplinkos sąlygomis smulkintai gumai, kadangi dėl šiurkščių gumos dalelių kraštų ji turi didesnę paviršiaus plotą, todėl gali geriau sukibti su asfaltu su kuriuo yra maišoma [16]. Apibendrinti metodo privalumai ir trūkumai pateikti 9 lentelėje.

9 lentelė. Šlifavimo aplinkos temperatūroje metodo trūkumai ir privalumai

Privalumai:	Trūkumai:
Yra galimybė apdoroti stambesnio dydžio gumos skaidulas	Proceso metu dėl naudojamų tam tikrų vamzdžio galo technologijų (proceso oro valymas) susidaro papildoma tarša
	Dėl proceso „grubumo“ gautos gumos dalelės turi „aštrias“ briaunas
	Dėl vykstančių mechaninių procesų susidarantis šilumos kiekis iš dalies oksiduoja gumą jos paviršiuje, reikalingas aušinimas

Esminė mechaninio šlifavimo aplinkos temperatūroje technologinė schema pateikiama 4 paveiksle.



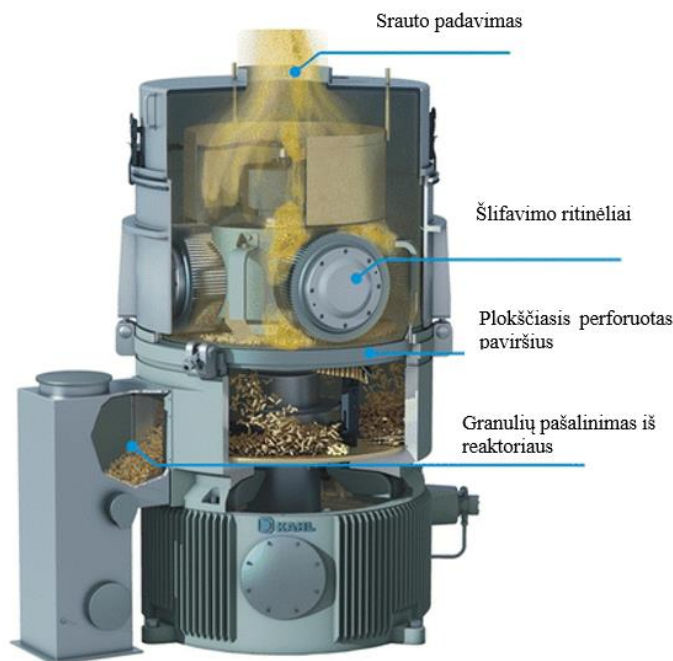
4 pav. Naudotų padangų mechaninio perdirbimo technologijos schema [25]

(2) Šlifavimo aplinkos temperatūroje atmaina – plokščiosios formos granuliavimas (*angl. - Flat-die granulation*). Šio proceso metu gumos gaminiai iš pradžių yra susmulkinami, o paskui presuojami per plokščiąsias formas. Medžiaga praleidžiama pro granulatoriaus perforuoto paviršiaus angas. Šioje technologijoje nėra vykdomas pjaustymo procesas naudojant peilius. Kinetinę energiją gumos dalelėms galima suteikti naudojant vandens srovės srautą. Produktas (guma) į reaktorių paduodami su vandens srovės srautu, taip suteikiant gumos dalelėms papildomą kinetinę energiją [25]. Pagrindiniai metodo privalumai ir trūkumai pateikiami 10-oje lentelėje.

10 lentelė. Plokščiosios formos granuliavimo metodo trūkumai ir privalumai

Privalumai:	Trūkumai:
Proceso metu gumos dalelės ir visas sistema yra aušinama vandeniu, taip neleidžiant įkaisti	Reikalingas produkto džiovinimas
	Sąlyginai didesnės energijos sąnaudos (lyginant su šlifavimu aplinkos temperatūroje)
Sąlyginai greitas (našus) procesas	Negalima tinkamai atskirti metalo bei tekstilės medžiagų nuo gumos

Esminė mechaninio šlifavimo aplinkos temperatūroje technologinė schema pateikiama 5 paveiksle.



5 pav. Naudotų padangų mechaninio perdirbimo technologijos schema [25]

(3) Šlapiasis šlifavimas – dar kartais vadinamas mikro frezavimu (*angl. - Wet grinding arba micro milling*). Tai drėgnas procesas, kuriam paprastai naudojamas vanduo. Šio proceso metu gumą galima susmulkinti daug smulkiau nei tradiciniais, įprastais metodais (iki 0,4 mm ir mažesnio dydžio). Kaip jau ir minėta, dažniausiai guma yra apdirbama skystyje (vandenyje), yra gaunamas švarus, nuplautas produktas. Tačiau šis procesas yra patentuotas ir jį gali naudoti tik tie, kuriems priklauso patento teisės [16]. Apibendrinti metodo privalumai ir trūkumai pateikiami 11-oje lentelėje.

11 lentelė. Šlapio šlifavimo metodo trūkumai ir privalumai

Privalumai:	Trūkumai:
Gumą galima susmulkinti kur kas smulkiau nei kitais metodais	Užteršiamas vanduo (skystoji fazė), reikalingas papildomas valymas
Yra gaunamas švarus, nuplautas produktas	Procesas yra patentuotas, reikalingos teisės jo naudojimui
Didelis paviršiaus ir tūrio santykis, granulių irimo sumažėjimas	Po šlifavimo proceso būtinas produkto džiovinimas

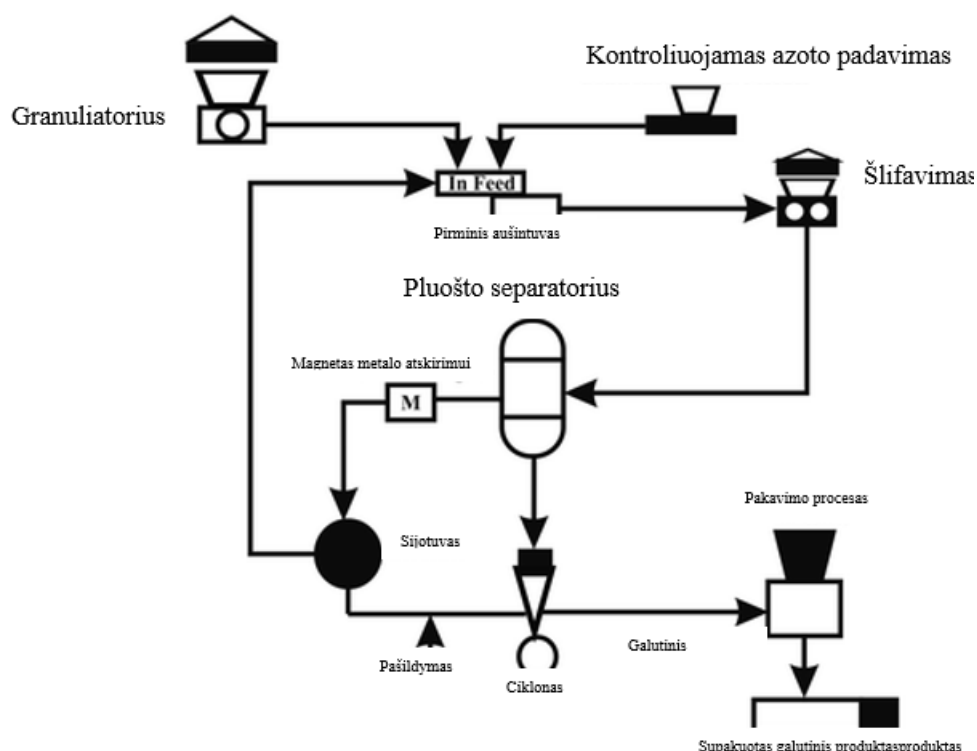
(4) Kriogeninis šlifavimas (*angl. - Cryogenic grinding*) – šio proceso metu kaip įvedinys turi būti naudojama jau susmulkinta guma (< 50 mm dydžio). Pasitelkiant kriogeninio šlifavimo technologiją gumą galima smulkiai sumalti iki 0,6 mm dydžio frakcijos atliekant mažiau technologinių etapų ir išlaikant sąlyginai aukštą proceso našumą – apie 1 800 – 2 700 kg produkto per valandą. Taikant šį metodą guma atšaldoma žemiau -200 °C temperatūros. Tokioje temperatūroje ji užšąla, tampa trapi ir praranda elastingumą, todėl ją galima lengvai suskaldyti [12], o po to susmulkinama perleidžiant per plaktukinį malūną. Esant gerokai žemesnei nei užšalimo temperatūrai, guma lūžta išilgai lygių linijų, todėl paviršius tampa daug vienodesnės tekstūros, pačios susmulkintos gumos dalelės yra lygios. Įvairūs šaltiniai [16] tokiu tipu pagamintus gumos miltelius dėl tam tikrų gumos fizikinių savybių rekomenduoja naudoti mišiniuose su smėliu, taip užtikrinant didesnę medžiagos stabilumą ir atsparumą (ypač drėgmei). Prie šio metodo yra būtina paminėti galimai didesnes išlaidas dėl čia naudojamo skysto azoto. Vidutiniškai šiame

procesė yra sunaudojama 0,5 – 1 kg azoto vienai padangai perdirbti. Perdirbimą atliekančiai įmonei šis metodas gali kainuoti nuo 2 iki 6 euro centų už kilogramą gumos, priklausomai nuo norimo gumos dalelių dydžio ir kiekio. 12-oje lentelėje pateikiami pagrindiniai metodo privalumai ir trūkumai.

12 lentelė. Kriogeninio šlifavimo metodo trūkumai ir privalumai

Privalumai:	Trūkumai:
Nevyksta gumos paviršiaus oksidavimas	Dėl procese naudojamo skysto azoto išauga technologijos kaštai
Švarus produktas	Gauti produktai turi didelį kiekį drėgmės
Yra gaunamos taisyklingos formos gumos dalelės	-

Esminė kriogeninio šlifavimo technologijos schema pateikiama 6 paveiksle.



6 pav. Naidotų padangų kriogeninio šlifavimo technologijos schema [25]

(5) Šlifavimas ozono krekingo būdu (*angl. - Grinding by ozone crecking*). Šio proceso metu padangų gumos dalelės pirmiausia yra veikiamos didelės koncentracijos ozonu. Medžiaga ozono poveikyje suyra, o vėliau ją reikia mechaniškai šlifuoti, kad būtų galima toliau apdoroti ir gauti smulkius gumos miltelius. Ozono reaktyvumui įtaką daro temperatūra. Esant žemai temperatūrai (arti 0 °C), nors ozono koncentracija ir yra didelė, tačiau cheminė reakcija vyksta lėtai. Žemoje temperatūroje sumažėja ozono tirpumas ir difuzijos greitis. Aukštesnėje temperatūroje (daugiau kaip 60-65 °C) ozonas tampa nestabilus ir ore paprasčiausiai suyra, todėl taip pat sumažėja ozono krekingo reaktyvumas. Siekiant maksimaliai pagerinti vykstančio proceso sąlygas yra imituojamos realios padangos darbo sąlygos – padanga veikiamasaulės spinduliais, aplinkos oras išlieka vėsus. Tokiomis sąlygomis ozonas greitai sklinda gumos paviršiumi ir ardo medžiagą. Ozono poveikis gumos granulėms taip pat priklauso nuo tempimo įtempių verčių. 13-oje lentelėje pateikiami pagrindiniai metodo privalumai ir trūkumai [25].

13 lentelė. Šlifavimo ozono krekingo metodo trūkumai ir privalumai

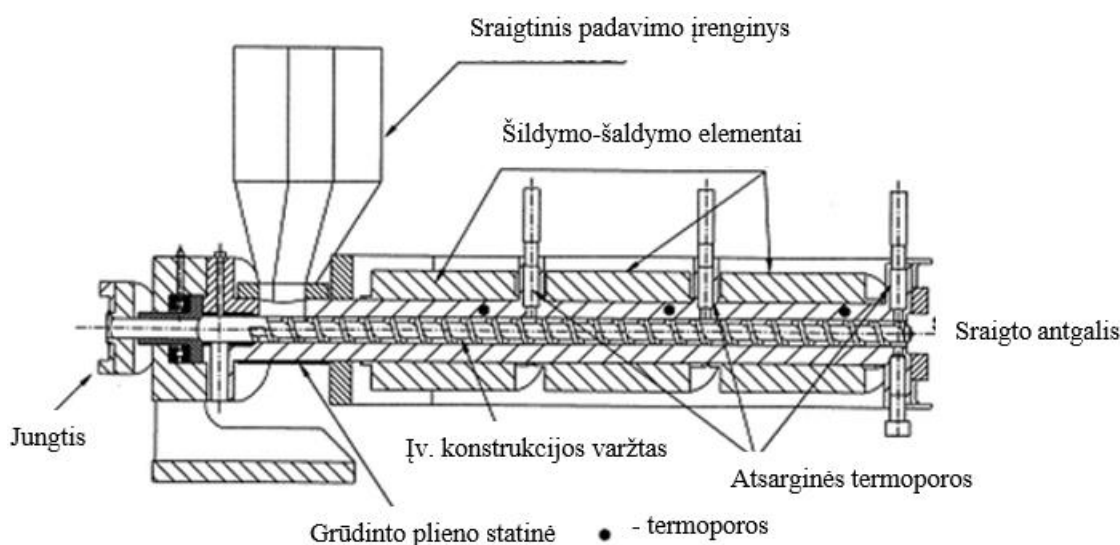
Privalumai:	Trūkumai:
Gerai valdant procesą galima pagaminti kokybišką produktą	Dėl proceso metu vykstančios ozono oksidacijos gauti gumos milteliai pasižymi mažu paviršiaus aktyvumu
	Sudėtingas proceso valdymas
	Brangus procesas

(6) Elastinės deformacijos šlifavimas (*angl. - Elastic deformation grinding*). Technologijos esmė, jog gumą veikiant dideliame slėgiui ir šlyties jėgai, susidaro smulkūs milteliai, dėl gumoje vykstančių tam tikrų fizikocheminių procesų („lūžio mechanizmas“). Lūžio mechanizmas paremtas tuo, jog gumoje iš pradžių atsiranda pavieniai įtrūkimai, vėliau jie plinta sukeldami bendrą medžiagos lūžį. Šlifavimo procesas yra atliekamas vieno arba dviejų sraigtų ekstruderiuose. Temperatūra ekstruderio zonoje reguliuojama elektrine šildymo sistema ir oro arba vandens aušinimo sistema. Sistemoje ekstruderio zona yra padalijama į kelias funkcines zonas su skirtingu suspaudimo koeficientu, taip yra sukuriamos skirtingos mechaninės sąlygos (įtempimas, gniuždymo šlyties deformacija ir k.t.) daro įtaką fizikocheminių procesų vyksmui. Dalelių dydis yra kontroliuojamas ekstruderyje keičiant apdorojimo sąlygas, tačiau dalelių dydis gali būti mažinamas tik tol, kol jų dydis tampa toks mažas, kad nebegalima taikyti didelės gniuždymo deformacijos ir dėl to didelių mechaninių įtempių. Norint gauti mažesnio dydžio gumos miltelius, šiame procese reikia sunaudoti daugiau mechaninės energijos [25]. 14-oje lentelėje pateikiami pagrindiniai metodo privalumai ir trūkumai [25].

14 lentelė. Elastinės deformacijos šlifavimo metodo trūkumai ir privalumai

Privalumai:	Trūkumai:
Lyginant su įprastiniu šlifavimo metodu, šiame procese sunaudojama beveik du-tris kartus mažiau energijos	Dėl proceso metu vykstančio šlyties poveikio gali pakisti gumos cheminės savybės.
Nereikalingas brangus aušinimo skystis (pvz., skystas azotas)	
Tobulinant įvairius proceso parametrus galimas potencialus efektyvumo padidėjimas, tačiau būtini tolimesni moksliniai tyrimai	

7 paveiksle pateikiama padangų perdirbimo elastinės deformacijos šlifavimo metodu technologijos principinė schema.



7 pav. Naudotų padangų elastinės deformacijos šlifavimo technologijos schema [25]

Apžvelgus pateiktus šlifavimo metodus taip pat verta atkreipti dėmesį, kad smulkintos gumos granulės, priklausomai nuo frakcijos dydžio, turi skirtingus panaudojimo būdus. 15-oje lentelėje pateikti panaudojimo pavyzdžiai ir kokio dydžio frakcijos tam yra reikalingos.

15 lentelė. Smulkintos gumos panaudojimo pavyzdžiai pagal frakcijų dydį [12]

Produktas	Frakcijos dydis (mm)
Kilimų pagrindai	0,8 – 1,6
Liejami gaminiai	0,5 – 5
Žaidimų aikštelių paviršiai	1,6 – 2,5
Kelių dangų medžiagos	0 – 0,8
Bėgimo takeliai/sporto aikštelės	1,6
Batų padai	0,4 – 1,6
Traukinių ir tramvajų bėgiai	0,4 – 1,6

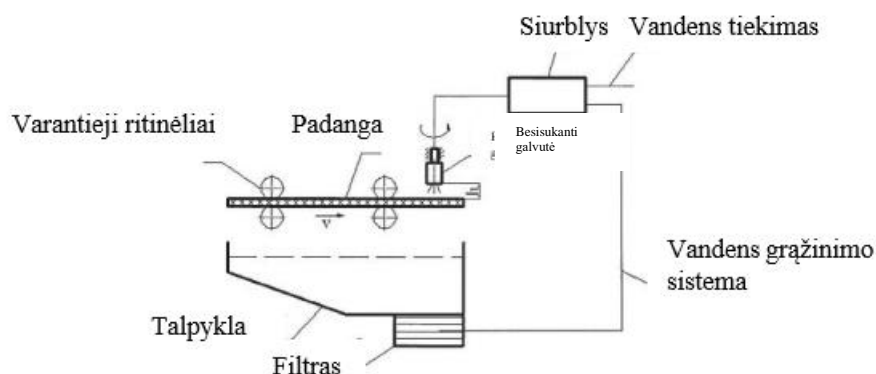
Apibendrinant, kiekvienam šlifavimo būdui reikia skirtingos įrangos ir medžiagų, iš jų gaunamas šiek tiek kitoks produktas, todėl kiekvienas iš jų turi privalumų ir trūkumų. Geriausia naudoti tą procesą, kurį taikant yra gaunamas pageidaujamos specifikacijos ir kokybės produktas. Taip pat verta paminėti, jog šiuo metu nėra pramonės standartų, reglamentuojančių gumos miltelių/granulių/skaidulų kokybę, tačiau vienareikšmiškai reikia atkreipti dėmesį į gaminamos gumos kokybę – joje turėtų būti kuo mažiau metalo, pluošto ir drėgmės. Įprastai pramoniniu būdu perdirbtų naudoti netinkamų padangų gumos grynumas būna iki 60,0 – 99,9 %.

Aukšto slėgio vandens srovės technologija (*angl. - Waterjet technologies*). Šis inovatyvus metodas buvo sukurtas siekiant palengvinti labai atsparių, sunkiasvorio transporto (sunkvežimių, traktorių ir kt.) padangų perdirbimą. Naudojant įprastinius perdirbimo metodus didelių gabaritų padangoms smulkinti ar šlifuoti reikėtų labai masyvių industrinių šlifavimo mašinų, kurios sunaudoja didelius energijos kiekius. Šiuo atveju ši technologija yra pranašesnė, kadangi vienintelis šlifavimo veiksnys yra aukšto slėgio vandens čiurkšlė (slėgis >200 MPa, sąnaudos 50 l/min.). Taip pat apdirbamai padangai palaikomas didelis sukimosi greitis. Būtent tai leidžia efektyviai nuo padangų nuimti gumą. Kitaip tariant, dideliu slėgiu tiekama vandens čiurkšlė turi didelę energiją, kuria yra atliekamas mechaninis gumos pašalinimas nuo padangose. Svarbus šio metodo privalumas yra tas, kad nuo plieninio kordo selektyviai nuimami susiformavę gumos trupiniai. Tokiu būdu gautos gumos trupiniai yra labai grynai, kadangi sumalama tik guma, plieninė juosta lieka nepažeista. Trupinių guma taip pat labai smulkiai susmulkinta, o jos grūdėliai turi didelį savitąjį paviršiaus plotą. Mokslinėje ir praktinėje literatūroje yra teigiama, kad metodas yra labiau ekologiškesnis, kadangi yra taupoma energija, proceso metu yra skleidžiama mažai triukšmo ir nesukeliama teršalų. Be to, naudojant didesnę purkštukų skaičių, galima greičiau apdoroti visą padangos paviršių [26,] [27]. Apibendrinti metodo privalumai ir trūkumai pateikiami 16-oje lentelėje.

16 lentelė. Aukšto slėgio srovės metodo trūkumai ir privalumai

Privalumai:	Trūkumai:
Nesusidėvi su guma, jos nuėmimo metu, kontaktuojančios detalės, kadangi naudojama „priemonė“ yra vanduo.	Didelis vandens srauto slėgis po truputį deformuoja apdirbamą padangos paviršių.
Didelis proceso efektyvumas.	
Šiuo metodu gautoje gumoje nėra vielos fragmentų, priešingai nei gumoje, gautais įprastiniais mechaniniais metodais.	
Nedidelis prietaiso dydis leidžia jį eksploatuoti nedidelėse patalpose, suteikia mobilumo.	

Padangų perdirbimo technologija naudojant aukšto slėgio vandens srovę pateikta 8 paveiksle.



8 pav. Naudotų padangų aukšto slėgio vandens perdirbimo technologijos schema [26]

Berstofo metodas (angl. Berstoff's method). Ši technologija, tai patobulinta šlifavimo aplinkos temperatūroje metodo versija. Naudojamas valcavimo įrenginys su briaunotais ritiniais ir dviejų sraigtų ekstruderis, kurie atitinkamai nuosekliai sukomplektuoti technologinėje linijoje smulkina gumą. Visą procesą galima suskirstyti į tris etapus:

1. plieninės padangos dalys pašalinamos ir supjaustomos į maždaug 85-50 mm dydžio gabaliukus;
2. padangų gumos gabaliukai toliau briaunotais valcavimo ritiniais yra suskaldomi į maždaug 6 mm dydžio granules, taip pat yra pašalinamos plienino ir tekstilės medžiagos;
3. gumos granulės toliau smulkinamos dviejų sraigtų ekstruderiuose, kurie turi specialiai sukonstruotus sraigtus, kuriuose gumos granulės smulkinamos naudojant didelę kirpimo jėgą ir didelį slėgį.

Galutinis šio proceso produktas – gumos milteliai (< 0,8 mm), turinčios didelį paviršiaus plotą bei mažą drėgmės kiekį [24]. 17-oje lentelėje apibendrinami pagrindiniai metodo privalumai ir trūkumai.

17 lentelė. Berstofo metodo trūkumai ir privalumai

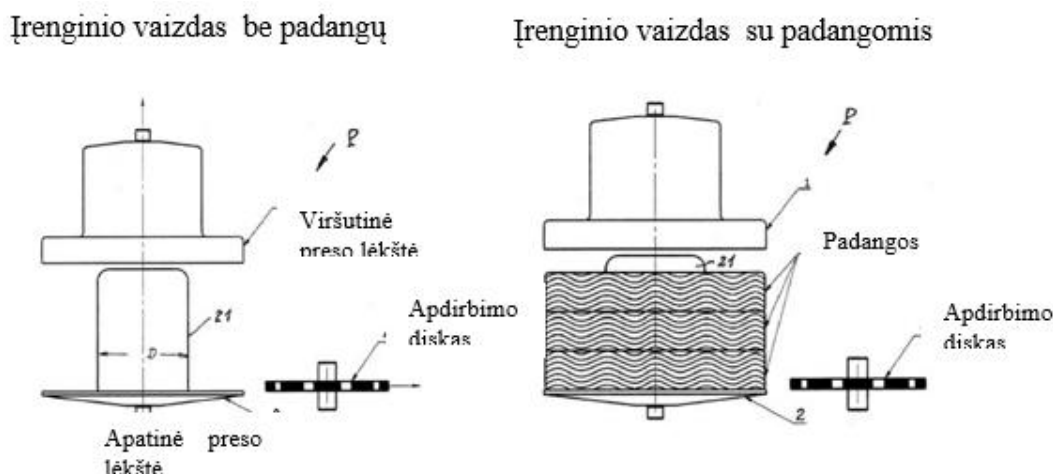
Privalumai:	Trūkumai:
Gumos milteliai turi didelį paviršiaus plotą, mažą drėgmės kiekį.	Ši technologija vis dar yra plėtojama.

Metodas „Rotarex Fast and Easy“. Šiai technologijai naudojamas frezavimo įrankis – specialiai greitai besisukanti galvutė. Smulkinant padangas šiuo metodu, padangos specialiu įrenginiu yra suspaudžiamos tarp viršutinės ir apatinės preso lėkščių. Iki tam tikro laipsnio suspaustos padangos yra veikiamos besisukančio apdirbimo disko, kol yra visiškai suardomos. Apdirbimo diskas slankioja viršutinės ir apatinės plokščių sukimosi ašį atžvilgiu. Iš apatinės plokštės išsikiša kreipiamasis ritinėlis kūginiu galu [28]. Pastarosios technologijos privalumai bei trūkumai apibendrinami 18-oje lentelėje.

18 lentelė. „Rotarex Fast and Easy“ metodo trūkumai ir privalumai

Privalumai:	Trūkumai:
Nedidelis prietaiso dydis leidžia jį eksploatuoti nedidelėse patalpose, suteikia mobilumo.	Metodas užpatentuotas
	Ši technologija vis dar yra plėtojama.

9 paveiksle pateikiama „Rotarex Fast and Easy“ technologijos principinė schema.



9 pav. „Rotarex Fast and Easy“ technologijos schema [28]

Padangų gumos devulkanizacija. Kaip jau minėta, naujos padangos yra gaminamos iš vulkanizuotos gumos, kurios sudėtyje yra tam tikras kiekis sieros junginių. Vulkanizacija – termocheminis procesas, kurio eigoje pakinta cheminė gumos sudėtis. Procesu metu yra naudojama siera, peroksidai, uretano jungtys, metalų oksidai ir acetoksilanai. Norint išgauti gumą, kuri savo savybėmis būtų panaši į pirminę gumą (kaučiuką) arba norint panaudoti senų padangų gumą naujų tolimesnių produktų (pvz., naujų padangų gamyboje ar degalų gamyboje naudojant pirolizę ir k.t.) būtina atlikti gumos devulkanizaciją, t.y. pašalinti sudėtyje esančią sierą. Devulkanizacija gali būti kelių rūšių: ultragarsinė, cheminė, mechaninė, mikro bangų [22].

(1) Ultragarsinė devulkanizacija. Aliekant devulkanizaciją ultragarsu (apdorojimas ultragarsu), padangų cheminės jungtys tarp sieros ir sieros bei sieros ir anglies yra suardomos, todėl yra gaunamas minkštas švarus gumos lydinys, kurį galima perdirbti ir formuoti naujus gumos gaminius. Didžiausias ultragarsinio devulkanizavimo privalumas yra tai, kad reikia gerokai mažiau šilumos. Pirmiausia padangų atliekos įkaitinamos iki maždaug 200 °C, tada sraigtiniu konvejeriu yra tiekiamos į srauto kamerą, kurioje gumos atliekos veikiamos didelio našumo ultragarsu aukšto slėgio aplinkoje. Ultragarsinio devulkanizavimo metu guma iš ankstesnės kietos būsenos virsta labai klampia medžiaga. Intensyvus ultragarsinis poveikis greitai suardo vulkanizuotos gumos struktūras. Šis procesas, kurio metu yra panaikinami cheminiai ryšiai, trunka vos kelias sekundes. Be to, ultragarsiniu būdu apdorotas gumos lydinys gali būti sustiprintas tam tikromis kietinimo medžiagomis ir užpildais, ir iš jo gali būti formuojami nauji gumos gaminiai [20]. Ultragarsiniam devulkanizavimui yra reikalingi didelės galios pramoniniai ultragarsiniai procesoriai, galintys dirbti aukšto slėgio ir aukštos temperatūros sąlygomis. Remiantis tyrimais [21] geriausiai devulkanizacijos procesas vyksta prie 340 bar slėgio, 140 °C temperatūros, 60 min. trukmės ir 19 kHz dažnio ultragarso sąlygų. 19-oje lentelėje pateikiami apibendrinti šio metodo esminiai privalumai ir trūkumai.

19 lentelė. Ultragarsinės devulkanizacijos metodo trūkumai ir privalumai

Privalumai:	Trūkumai:
Procesui reikalingas mažesnis šilumos kiekis, todėl mažėja energijos sąnaudos	Reikalinga speciali kompleksinė įranga
Po proceso gaunama žaliavinė guma	

(2) Cheminė devulkanizacija. Šio tipo procese naudojamos cheminės medžiagos. Dauguma cheminio devulkanizavimo procesų yra maišymo procesai – smulkintos gumos dalelės ir specialūs cheminiai reagentai (toluenas, tiolio ir amino reagentai, hidroksidas, disulfidiniai junginiai ir k.t.) maišomi reguliuojamos temperatūros ir slėgio maišyklėje, vykdomas kaitinimas. Pasibaigus numatytam reakcijos laikui, reakcijos masė yra išplaunama, filtruojama ir džiovinama, kad būtų pašalinti visi likę nepageidaujami cheminiai komponentai. Gumos medžiagoms išdžiūvus, procesas laikomas įvykdytu ir guma yra devulkanizuota (paruošta tolimesniam panaudojimui). Naudojant kai kuriuos cheminius reagentus, norimoms reakcijoms skatinti naudojamas ir katalizatorius [22]. Cheminės devulkanizacijos metodo privalumai ir trūkumai apibendrinami 20-oje lentelėje.

20 lentelė. Cheminės devulkanizacijos metodo trūkumai ir privalumai

Privalumai:	Trūkumai:
Lengva kontroliuoti reakcijos/proceso sąlygas	Po proceso būtinas papildomas medžiagos apdirbimas, džiovinimas.
Nereikalinga speciali ir sudėtinga įranga	Procese naudojamas vanduo užteršiamas cheminėmis medžiagomis.

(3) Mechaninė devulkanizacija. Procesas atliekamas pakartotinai deformuojant gumos daleles tam tikromis temperatūros ir slėgio sąlygomis. Mokslinėje literatūroje [23] aprašomas mechaninei padangų gumos devulkanizacijai taikomas modulinis sraigtinis reaktorius, kuriuo keičiant įvairius techninius parametrus guma yra įtemptiama, kol ji plastifikuojama ir galiausiai devulkanizuojama. Keičiant minėto sraigto konfigūraciją, sukimosi greitį ir apdorojimo temperatūrą, mokslininkai gali kontroliuoti apdorojimo trukmę. Taigi, taip iš dalies galima kontroliuoti netgi gumos devulkanizacijos savybes. 21-oje lentelėje pateikiamas metodo privalumų ir trūkumų apibendrinimas.

21 lentelė. Mechaninės devulkanizacijos metodo trūkumai ir privalumai

Privalumai:	Trūkumai:
Sąlyginai nesudėtingas metodas	Dėl pakartotinės deformacijos kinta gumos savybės

(4) Devulkanizacija mikro bangomis. Pastaroji technologija, skirta devulkanizuoti gumos atliekas, analizuojama mokslinėje srityje, tačiau iki šiol netaikoma jokioje realioje pramonėje. Šis procesas labai greitai ir tolygiai gali veikti gumos atliekas šilumos energija. Tačiau bet kokios vulkanizuotos gumos dalelės, kurios bus naudojamos mikrobangų procese, turi turėti pakankamai vienalytę struktūrą, kad mikrobangų energija galėtų būti absorbuojama tokiu greičiu, kuris būtų pakankamas devulkanizacijai reikalingai šilumai sugeneruoti [22].

1.4. Iš naudoti netinkamų padangų atgautų medžiagų tolimesnis panaudojimas

Įvairiais būdais perdirbus naudoti netinkamas padangas (smulkinimas, šlifavimas, devulkanizacija ir k.t.) vėl yra atgaunamos naudingosios medžiagos. Kaip jau buvo minėta ankstesniauose skyreliuose, perdirbant padangas dažniausiai gaunamos gumos, tekstilės ir metalo medžiagos. Toliau pateikiami pagrindinės pramonės sritys ir/ar veiklos, kuriose gali būti panaudojamos šios iš padangų atliekų atgautosios medžiagos.

Guma. Malta guma laikoma vienu iš naudingiausių gumos produktų, gaunamų iš padangų atliekų. Dėl plataus panaudojimo spektro padangų atliekų perdirbimas yra ekonomiškai perspektyviausias atliekų perdirbimo pramonės šakos sektorius. Pagrindinės panaudojimo sritys yra šios: sportiniai paviršiai ir aikštelės, kilimėliai žemės ūkio reikmėms ir jodinėjimo pagrindams, automobilių dalys

ir padangos, statyba / vidaus patalpos, kraštovaizdžio formavimas, keliai (žr. 1.4.1. skyrelį), takai ir pėsčiųjų takai, liejami ir ekstruziniai gaminiai, žaidimų aikštelės ir kiti saugos gaminiai. paviršiai, guma modifikuotas asfaltas ir sandarikliai, gumos ir plastiko mišiniai. Be to, perdirbtų padangų gumai atlikus devulkanizacijos procesus galima gauti pirminę žaliavinę gumos medžiagą [29].

Tekstilė. Iki 15 % pagal masę perdirbant padangas yra išgaunama tekstilės pluošto. Europoje kasmet susidaro apie 320 000 t padangų tekstilės pluošto atliekų. Tekstilės panaudojimas, priešingai nei gumos ar plieno, nėra taip stipriai išplėtotas, tačiau šiuo metu yra atliekama ne mažai tyrinėjimų tekstilės srauto, gauto iš perdirbtų padangų, panaudojimui. Tekstilės pluoštas gali būti panaudojamas: gaminant garsą sugeriančią izoliacinę medžiagą, kuri vienu metu galėtų išspręsti ir triukšmo ir aplinkos taršos problemą. Taip pat minėta medžiaga gali būti panaudojama naujų aerogelių, akustines savybes turinčių paviršių gamyboje. Tekstilės pluoštai gali būti įterpti į naujai gaminamus bitumo, cemento mišinius. Taip pat tekstilės pluoštų panaudojimas galimas naujų plastiko mišinių (kaip PP plastiko ir tekstilės) gamyboje. Taip pat galimas tekstilės pluoštų panaudojimas dirvožemio sutvirtinimo darbuose [30].

Metalas. Iš padangų gaunamų metalų sudėtį sudaro: anglis, manganas, silicis, fosforas, siera, vario, chromo bei nikelio pėdsakai. Viela paprastai dengiama vario ir cinko mišiniu arba žalvario ir alavo mišiniu. Išgautas metalas paprastai yra perdirbamas į tam tikros specifikacijos klasės gaminius, kuriuos plieno gamyklos naudoja naujo plieno gamybai. Plieno laužas yra vertinga medžiaga ir yra plačiai perdirbamas atgal į naują plieną: gaminant plieną elektros lanko krosnyse ar deguonies krosnyse panaudojama iki 100 % plieno laužo. Plienas – labiausiai perdirbama medžiaga pasaulyje – po naudojimo perdirbama apie 80 % plieno. Plienas taip pat yra viena iš magnetinių medžiagų, o tai reiškia, kad jį galima palyginti lengvai išgauti iš atliekų srautų magnetu [29].

1.4.1. Iš naudoti netinkamų padangų atgautos gumos panaudojimas kelių tiesimo pramonėje

Iš NNP perdirbta guma gali būti panaudojama kelių tiesimo pramonėje gaminant naujus modifikuotus kelio dangos mišinius. Kaip teigia įvairūs moksliniai tyrimai [38, 39, 40, 41, 42, 43], smulkinta guma gaminant modifikuotus kelio dangos mišinius gali būti panaudojama įvairiomis proporcijomis – dažniausiai iki 16-20 % nuo bitumo masės.

22-oje lentelėje palyginama standartinės kelio dangos ir guma modifikuotos kelio dangos galima sudėtis.

22 lentelė. Standartinės kelio dangos ir guma modifikuotos kelio dangos sudėtis

Sudėtinė dalis	Standartinė kelio danga	Guma modifikuota kelio danga
Bitumas (rišiklis)	2,38	2,92
Natūralus užpildas	97,62	96,22
Smulkinta guma	-	0,52

Tipinė kelių dangos sudėtis – rišančioji medžiaga (bitumas) bei natūralus užpildas (žvyras, smulkinti akmenukai ir k.t.). Gaminant guma modifikuotą kelio dangą, į bitumą dar papildomai yra įterpiama dalis gumos [39]. Susmulkintos gumos dydis, kuris optimaliausias asfalto gamybos atveju, varijuoja nuo mikroskopinio dydžio gumos miltų iki 4-8 mm gumos dalelių [43]. Nepaisant sutaupomo natūralaus užpildo kiekio, guma modifikuotas asfaltas turi ir dar keletą labai svarbių teigiamų savybių:

1. Guma modifikuotas asfaltas yra iki kelių kartų atsparesnis aplinkos mechaniniams poveikiams, todėl tiesianmo kelio dangos storis, naudojant guma modifikuotą asfaltą, gali būti mažesnis nei naudojant standartinį asfaltą. Dėl to bendrai yra sutaupoma iki 23 % medžiagų, reikalingų asfalto gamybai [47].

2. Dėl išskirtinių guma modifikuoto asfalto savybių (atsparumas, ilgaamžiškumas), lyginant su standartiniu asfaltu, skiriasi ir jų gyvavimo trukmė ir priežiūros, kurios reikalauja kelio dangos dažnumas – guma modifikuotas asfaltas gali tarnauti apie 20 metų (t.y. dvejais metais ilgiau nei standartinė kelio danga). O priežiūros dažnumas tokio asfalto kelio dangai reikalingas apie kartą per 7 metus (standartinio asfalto kelio dangos atveju – 1 kartą / 5 metus) [38].

3. Gaminant guma modifikuotą asfaltą, guma padidina bitumo klampą, o tai padidina gamybos procesų metu reikalingą temperatūrą. Dėl to padidėja energijos kiekis. Tačiau naudojant nedidelius kiekius tam tikrų cheminių priedų, modifikuoto asfalto gamybai reikalingą energijos kiekį galima sumažinti iki 20 %, lyginant standartinio asfalto gamybos atveju [39].

4. Be prieš tai išvardintų aplinkosauginių naudų, guma modifikuoto asfalto naudojimas turi ir dar keletą teigiamų socialinių savybių – transportui važiuojant tokio asfalto kelio dangomis, skleidžiamas triukšmas sumažėja iki 5 % [48]. Taip pat kitas svarbus aspektas, jog guma modifikuoto asfalto naudojimas ne automobilių transporto kelių, bet, pvz., pėsčiųjų ar dviračių takų tiesime, gali padėti sumažinti traumų riziką, dėl mažesnio paviršiaus kietumo [42].

1.5. Lietuvoje veikiančios padangų perdirbimo įmonės

Šiuo metu Lietuvoje yra įsikūrusios trys kolektyvinės padangų gamintojų ir importuotojų organizacijos – VšĮ „Padangų importuotojų organizacija“, „Gamintojų ir importuotojų asociacija“, „Autogamintojų ir importuotojų asociacija“. Kartu šios organizacijos užima didžiąją padangų atliekų tvarkytojų rinkos dalį. Likusi rinkos dalis priklauso individualiai padangų atliekų tvarkymą organizuojančioms įmonėms. Remiantis Aplinkos apsaugos agentūroje viešai prieinamais duomenimis, padangų atliekų tvarkymo organizavimo licencijas turinčių gamintojų ir importuotojų organizacijų bei individualiai padangų atliekų tvarkymą organizuojančių gamintojų ir importuotojų užimamos padangų rinkos dalys (procentais) 2021 metams pateikiamos 23-oje lentelėje.

23 lentelė. Padangų perdirbimo rinkos dalys [56]

Subjekto pavadinimas:	Rinkos dalis:
VšĮ „Padangų importuotojų organizacija“	38,63 %
Gamintojų ir importuotojų asociacija	10,49 %
Autogamintojų ir importuotojų asociacija	9,79 %
VšĮ „PATS LT“	5,88 %
Gamintojai ir importuotojai, padangų atliekų tvarkymą organizuojantys individualiai	32,96 %

Apmokestinamųjų gaminių atliekų tvarkytojai privalo apmokestinamųjų gaminių atliekas surinkti atskirai, nemaišyti jų su kitomis atliekomis ar medžiagomis ir tvarkyti pagal atliekų tvarkymo prioritetus aplinkai ir visuomenės sveikatai saugiu būdu, taikydami apmokestinamųjų gaminių atliekų tvarkymo geriausiai prieinamus gamybos būdus [31].

Lietuvoje padangų atliekos tvarkomos keliais būdais. Pastaraisiais metais plačiai yra taikomas perdirbimas. Tokiu būdu 2019 m. sutvarkyta iki 40 % naudoti netinkamų padangų. Perdirbimo

proceso metu padangos smulkinamos, o gautos medžiagos gali būti panaudojamos pakartotinai. Naudoti netinkamas padangų atliekas tvarkančių subjektų pasiskirstymas pagal tvarkymo metodus ir perdirbimui naudojamų metodų santrauka pateikiama 24-oje lentelėje.

24 lentelė. Padangų perdirbimo rinkos dalys [31]

Atliekų tvarkytojas	Tvarkymo veikla	Taikoma technologija (metodas), gaminami produktai *
AB „Akmenės cementas“	Deginimas, išgaunant energiją (R1)	Netinkamos naudoti padangos naudojamos kaip kuras sukamosiose krosnyse, kuriose sudeginamas klinkeris tampa cementu (šiuo metu atliekų deginamas kol kas dar nevykdomas)
UAB „Torgita“	Perdirbimas (R3)	Perdirbimas mechaniniu būdu. Gaminama ir prekiaujama gumos granulėmis (≤ 30 mm), kita gumos produkcija
UAB „Metaloidas“		Perdirbimas mechaniniu būdu. Gaminama: gumos granulės (0 – 6 mm), gumos granulių trinkelės, apsauginiai sprogdinimo kilimai ir kiti gumos gaminiai iš perdirbtų automobilių bei sunkvežimių padangų.
UAB „Ekobazė“		Perdirbimas mechaniniu būdu. Perdirbimo metu atskiriamos tekstilės ir metalo atliekos, gaunamos gumos granulės, iš jų gaminamas galutinis produktas – gumos kilimėliai, vaikų aikštelėms tinkama danga bei kiti gumos gaminiai. Iš likusios, perdirbimui netinkamos padangų dalies gaminamas antrinis kuras skirtas cemento pramonei.
UAB „Trys A“		Perdirbimas mechaniniu būdu. Gamina ir prekiauja gumos granulėmis, įvairaus storio ir spalvų guminėmis plytelėmis, apsauginiais kilimais.
UAB „Ekologistika“		Lengvojo ir krovininio transporto naudotų padangų perdirbimas frezavimo, kapojimo, draskimo, granuliuavimo būdais gaminant gumos trupinius (0,63 – 4 mm) ir pardavimas rinkoje.
UAB „Re-notas“		Gumos granulių (0,8 – 6 mm) ir gumos miltelių ($< 0,8$ mm) gamyba ir pardavimas rinkoje.
UAB „Landista“		Perdirbimas mechaniniu būdu. Gumos granulių (0-1 mm ir 1-2 mm) gamyba ir pardavimas rinkoje.
UAB „Ekobaltika“		Naudotų padangų tvarkymas vykdant pirolizės procesą – gaunama pirolizės alyva, techninė anglis, metalo kordas – pardavimas į rinką.
UAB „Metaloidas“		Išvežė/eksportavo
UAB „Antrinio perdirbimo grupė“		
UAB „Ekobazė“		
UAB „Ekologistika“		
UAB „Žalvaris“		
UAB „Geležinis verslas“	Paruošė naudoti (R12)	-
UAB „Landista“		
UAB „Ekobazė“		

* - duomenys apie perdirbimui taikomas technologijas (metodus), gaminamus produktus paremti perdirbėjų oficialiose interneto svetainėse pateikiama informacija.

Šiuo metu Lietuvoje 8 atliekų tvarkytojai naudoti netinkamas padangas perdirba R3 būdu, 5 – eksportavo (išvežė), o dar 3 – paruošė naudoti prieš perdirbimą (R12 būdu). Tik vienas atliekų tvarkytojas – AB „Akmenės cementas“ gali naudoti netinkamas padangas deginimui energetiniais tikslais.

Skysriu apibendrinančios išvados

Apibendrinant mokslinės ir praktinės literatūros analizės rezultatus NNP perdirbimo/tvarkymo tema, nustatyta, jog vien 2019 m. ES susidarė per 3,55 mln. t šių atliekų. Iš jų tinkamai sutvarkyta buvo apie 95 % susidariusių nebenaudojamų padangų. Apie 55 % susidariusių NNP buvo perdirbta pakartotinai atgaunant naudingąsias medžiagas ir taip prisidedant prie žiedinės ekonomikos tikslų įgyvendinimo. Tuo tarpu apie 40 % NNP – panaudota energetiniams tikslams. Likusi atliekų dalis (< 5 %) buvo sutvarkyta netinkamai arba duomenys apie sutvarkymą buvo nepatikimi. Lietuvos atveju analizuojamuoju 2019 m. laikotarpiu oficialiai užregistruotas susidariusių NNP kiekis – apie 3 tūkst. t. Iš jų 33 % šių atliekų yra eksportuojama į kitas ES šalis, apie 16 % buvo panaudota energetiniais tikslais. Taip pat apie 34 % NNP buvo perdirbta. Apibendrinant naudojamų technologijų NNP perdirbimui tendencijas galima teigti, jog Lietuvoje ir kitose ES šalyse pagrindė yra naudojamos įvairios mechaninio smulkinimo technologijos.

Analizuojant ES teisinę bazę, apibrėžiančią NNP tvarkymą, išskiriamos šios pagrindinės reglamentavimo sistemos – sąvartynų direktyva 1999/31/EB (draudžia nesmulkintų NNP šalinimą į sąvartynus), Europos atliekų direktyva 2008/98/EB (nurodo šio tipo atliekų tvarkymo hierarchiją, dalinai apibrėžia kriterijus, pagal kuriuos iš NNP perdirbimo metu atgautos medžiagos nebe laikomos atlieka), išplėstinė gamintojo atsakomybė (apibrėžia gamintojo atsakomybę už gaminių visuose jo gyvavimo ciklo etapuose), laisvosios rinkos sistema (nustato tikslus, kurių turi būti siekiama, tačiau nėra numatomi atsakingi asmenys), mokestinė sistema (NNP valdymo modelis, pagal kurį kiekviena šalis yra atsakinga už šių atliekų valdymą). Tuo tarpu Lietuvoje NNP tvarkymą taip pat apibrėžia išplėstinės gamintojo atsakomybės principas, taikomas reglamentas, pagal kurį aiškiai apibrėžiami esminiai kriterijai NNP atliekų nebelaikymui atliekomis jų perdirbimo atveju.

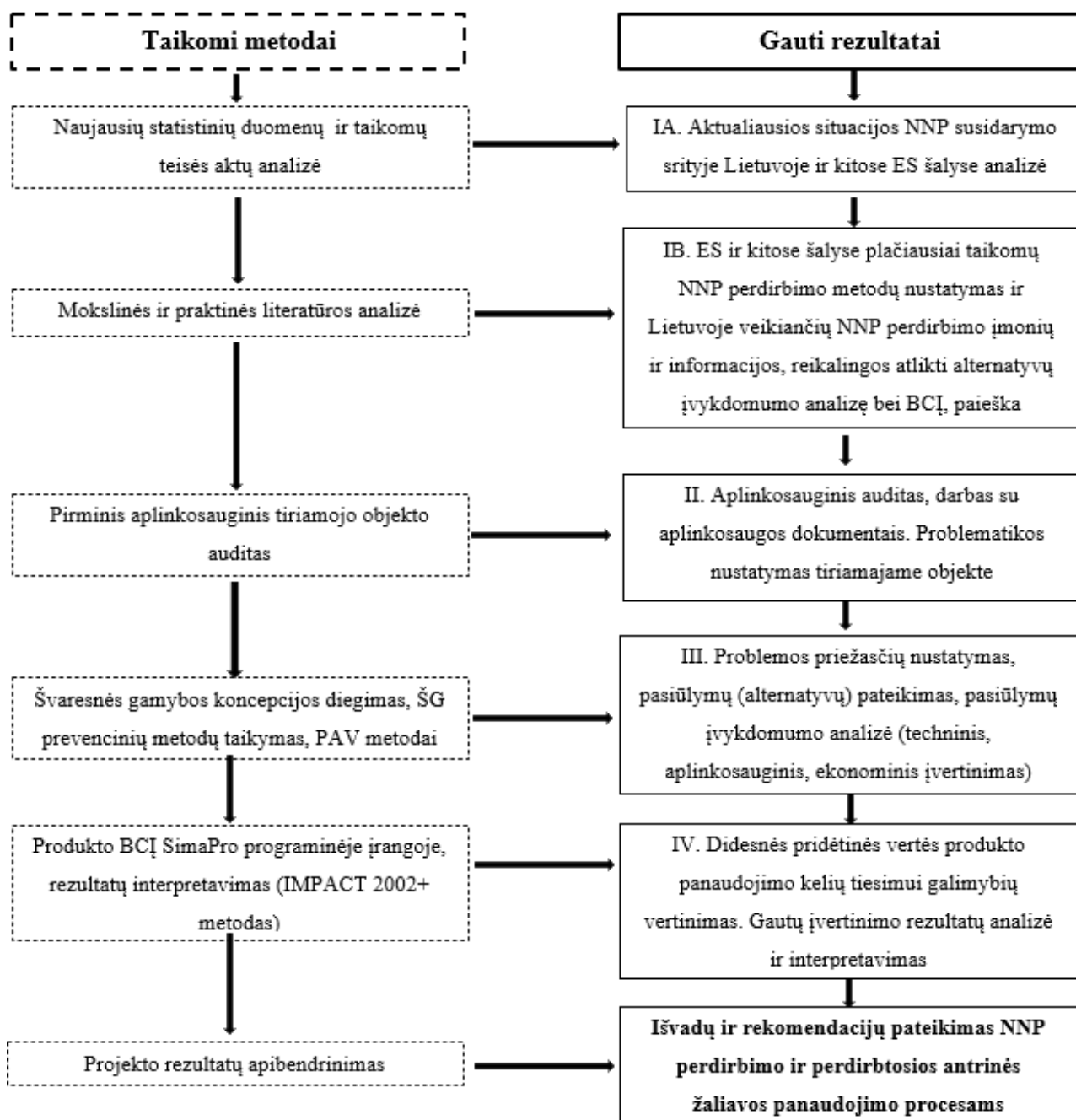
Visgi Lietuvoje iki šiol yra matoma akivaizdi problematika NNP perdirbimo srityje: dideli NNP kiekiai yra eksportuojami ir nebeperdirbami, taip pat ilgą laiką nebuvo aiškaus teisinio pagrindo, apibrėžiančio fakto, jog perdirbant NNP yra gaminamas produktas (antrinė (-s) žaliava (-os)). Taip pat būtina atkreipti dėmesį, kad taikomos mechaninio perdirbimo technologijos yra santykinai didelio energetinio intensyvumo procesai.

2. Metodinė dalis

Šiame skyriuje toliau pateikiama magistro baigiamojo projekto darbe taikomų metodų apžvalga.

2.1. Atliekamų tyrimų algoritmas

Naudoti nebetinkamų padangų perdirbimo sistemos, atliepančios žiedinės ekonomikos principų įgyvendinimą, kūrimo algoritmas pateikiamas 10 paveiksle.



10 pav. Magistro baigiamojo projekto tyrimo metodikos algoritmas

Pirmasis darbe taikyto tyrimo etapas – duomenų rinkimas. Tam tikslui buvo atlikta laisvai prieinamos statistinės informacijos bei naujausių taikomų teisės aktų analizė. Apibendrinus šiuos duomenis buvo nustatyta naujausia situacija naudoti netinkamų padangų susidarymo ir valdymo

sirtyje Lietuvoje bei kitose ES šalyse. Taip pat apžvelgti pagrindiniai ES bei Lietuvoje taikomi teisės aktai padangų valdymo bei tvarkymo (perdirbimo) srityse. Toliau buvo atlikta išsami įvairios mokslinės ir praktinės literatūros analizė. Šiame etape apibendrinti pagrindiniai ES ir kitose šalyse plačiausiai taikomi naudoti netinkamų padangų perdirbimo metodai (nagrinėtos sritys – restauravimas, panaudojimas energetiniais tikslais, perdirbimas, padangų gumos devulkanizacija). Galiausiai, buvo atliekama Lietuvoje veikiančių naudoti nebetinkamų padangų perdirbimo įmonių paieška bei apžvalga. Tam tikslui informacija buvo analizuojama įvairių perdirbimą atliekančių įmonių oficialiose internetinėse svetainėse bei LR aplinkos ministerijos užsakytoje ataskaitoje „Padangų atliekų panaudojimo statybos ir kitų produktų gamyboje, statyboje ar kitose veiklose studija“.

Antrame etape atliekamas aplinkosauginis auditas eksperimentui parinktoje įmonėje. Šiame etape nustatomi pagrindiniai medžiagų ir energijos srautai esamoje padangų perdirbimo veikloje, naudojant mechaninio perdirbimo technologiją.

Eksperimentui parinktas objektas – naudoti nebetinkamų padangų mechaninį perdirbimą atliekanti įmonė UAB „Torgita“. Įmonė įkurta 1997 m. Zarasuose. Remiantis įmonės atliekų naudojimo techninio reglamento duomenimis, pagrindinės įmonės naudoti nebetinkamų padangų veiklos ir jų paskirtys:

- S3 – įvežimas (importas). Paskirtis – naudoti nebetinkamų padangų importas iš kitų šalių (pavyzdžiui, Lenkijos, Latvijos, Baltarusijos, Rusijos, Vokietijos, Danijos, Anglijos, Švedijos, Estijos, kt.);
- S4 – išvežimas (eksportas). Paskirtis – naudoti nebetinkamų padangų eksportas į Lenkiją, Latviją (tuo atveju, jeigu neužtektų gamybinių perdirbimo pajėgumų). Taip pat pagamintų padangų atraižų eksportas į kitas šalis (Latviją, Baltarusiją, Rusiją, Švediją, Austriją, Vokietiją, Didžiąją Britaniją, Daniją, Lenkiją ir kt.) bei naudoti nebetinkamų padangų perdirbimo metu susidariusio metalo laužo (teigiamą vertę turinčių atliekų) eksportas į kitas šalis (Latviją, Baltarusiją, Rusiją, Švediją, Austriją, Vokietiją, Didžiąją Britaniją, Daniją, Lenkiją, Olandiją, Belgiją ir kt.).
- R13 – R1-R12 veikloms skirtų naudoti padangų laikymas. Paskirtis – naudoti nebetinkamų padangų saugojimas įmonės teritorijoje (iki 900 t); veikloje susidariusių atliekų saugojimas įmonės teritorijoje (iki 100 t – metalo atliekų; iki 20,8 t – plastiko ir gumos atliekų; iki 50 t – įmonėje gaminamų gumos atraižų (nuo 70 iki 30 mm)).
- R12 – atliekų būsenos ar sudėties pakeitimas, prieš vykdant su jomis bet kurią iš R1-R11 veiklų. Paskirtis – naudoti nebetinkamų padangų rūšiavimas pagal tipą; metalinio kordo atskyrimas nuo naudoti nebetinkamų padangų, jų pjaustymas ir smulkinimas. T.y. atliekamos pirminės operacijos prieš naudojimą R3 būdu.
- R3 – Organinių medžiagų, nenaudojamų kaip tirpikliai, perdirbimas ir (arba) atnaujinimas (įskaitant kompostavimą ir kitus biologinio pakeitimo procesus).

Pagrindinė šiuo metu atliekama UAB „Torgita“ veikla – atliekų surinkėjų pristatomų NNP saugojimas įmonės teritorijoje, jų mechaninis smulkinimas, atgautųjų medžiagų – gumos, metalo ir tekstilės – laikinas laikymas (iki 6 mėn.) ir vėlesnis produkcijos pardavimas.

Sekančiame etape, remiantis audito metu gautais rezultatais, įmonės taršos leidimo ir vidinių dokumentų analize, statistinių duomenų ataskaitomis, identifikuojamos pagrindinės įmonės

aplinkosauginės problemos. Remiantis švaresnės gamybos bei pramoninės ekologijos principais (žr. 2.2.1 ir 2.2.2 skyrelius) šiame tyrimo etape siūlomi sprendimai – alternatyvos esamai situacijai ir atliekama jų įvykdomumo analizė (techninis, aplinkosauginis ir ekonominis įvertinimas).

Ketvirtame tyrimo etape buvo analizuojama gaminamo didesnę pridėtinę vertę turinčio produkto teorinė panaudojimo galimybė kelių tiesimo pramonėje. Produkto aplinkosauginiam pokyčiui nustatyti atliekama būvio ciklo įvertinimo analizė (žr. 2.2.4 skyrelį).

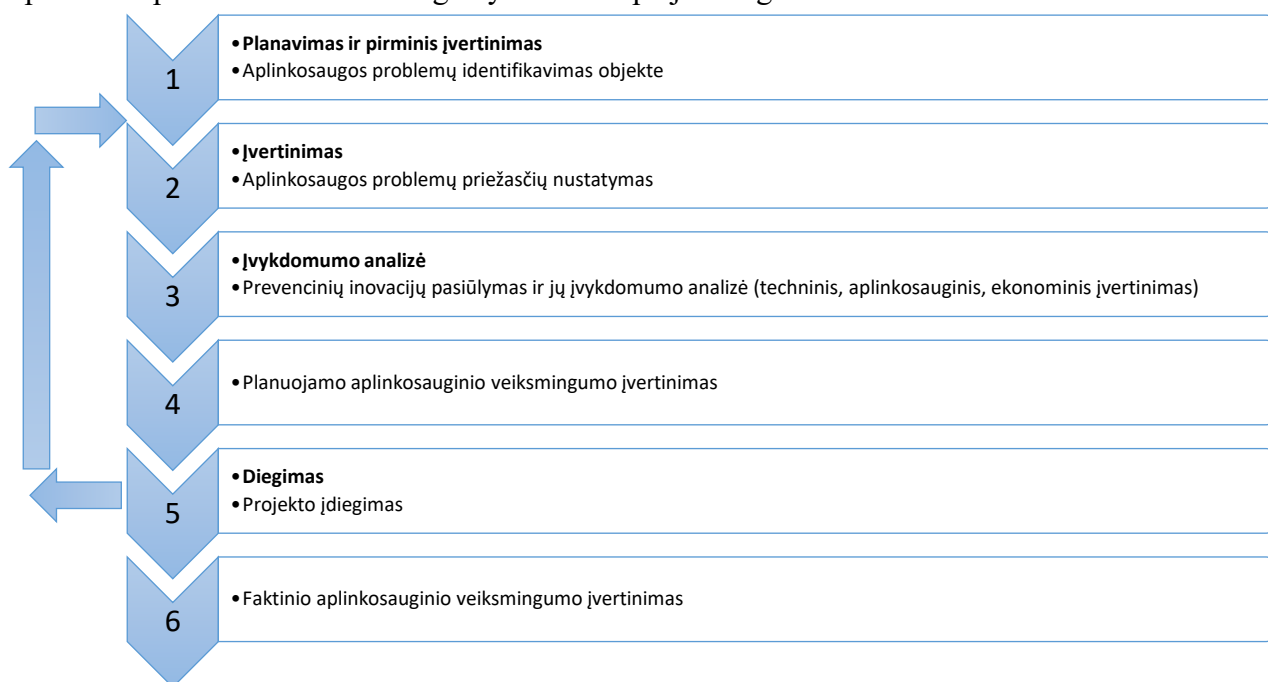
Paskutiniame etape apibendrinant visus tyrimo duomenys bei rezultatus buvo pateiktos susistemintos darbo išvados bei rekomendacijos.

2.2. Problematikos nustatymui tiriamajame objekte ir pasiūlymų analizei naudojami metodai

2.2.1. Darbe taikomi Švaresnės gamybos koncepcijos principai vertinant ir optimizuojant padangų perdirbimo procesus

Švaresnė gamyba – tai sisteminis aplinkos apsaugos problemų sprendimo būdas, kai iškilusios aplinkos apsaugos problemos sprendžiamos vietoje: pačiame gamybos procese, įmonėse (ne už įmonės ribų). Dar kitaip tariant, tai yra sisteminis visuminis aplinkos apsaugos problemų sprendimo būdas, kurio pagrindinis tikslas yra atliekų, teršalų prevencija bei neefektyvaus energijos resursų ir išteklių sąnaudų mažinimas ekonomiškai pagrįstais prevenciniais metodais [32].

Švaresnės gamybos koncepcijos diegimas įmonėje vyksta nuosekliai, tam tikrais žingsniais. 11 paveiksle pateikiama švaresnės gamybos koncepcijos diegimo metodika.



11 pav. Švaresnės gamybos koncepcijos diegimo etapai [32]

Toliau trumpai yra apžvelgiami pagrindiniai ŠG diegimo įmonėje etapai – planavimas ir pirminis įvertinimas; įvertinimas; įvykdomumo analizė; diegimas:

Planavimas ir pirminis įvertinimas. Šio etapo pagrindinis tikslas – nustatyti pagrindines aplinkosaugos problemas ir identifikuoti procesą (-us), kuriame (-iuose) ar dėl kurio (-ių) susidaro šios problemos. Šiame etape surinkta informacija yra reikalinga tolimesnei analizei.

Pirmojo ŠG diegimo etapo metu yra atliekamas pradinis aplinkosauginis įvertinimas, kurio metu identifikuotos problemos yra įvertinamos ir pagal tai nustatomi pagrindiniai ŠG tikslai. Šio etapo metu yra sudaromas įmonės ar įrenginio bendras medžiagų ir energijos balansas, įvertinamas įmonės esamas aplinkosauginis veiksmingumas, sudaromos procesų srautų diagramos, parenkamas procesas (-ai) detalesnei analizei [32].

Įvertinimas. Šiame etape yra atliekama kiekvieno atrinkto proceso detali analizė: sudaroma jo medžiagų ir energijos srautų diagrama, medžiagų ir energijos balansas, identifikuojamos pagrindinės aplinkos apsaugos problemos, nustatomos jų atsiradimo priežastys.

Nustačius pagrindinę aplinkosauginę problemą ją galima spręsti pasitelkiant vieną iš taršos prevencijos ir atliekų mažinimo metodų, kuris labiausiai tinka atsižvelgiant į esamą įmonės valdymo struktūrą, esamas technologijas, naudojamas žaliavas, gaminamą gaminį [32].

Švaresnėje gamyboje plačiausiai taikomi Taršos prevencijos ir atliekų mažinimo metodai susisteminti ir aprašyti 25 lentelėje.

25 lentelė. Taršos prevencijos ir atliekų mažinimo metodai ŠG [32]

Metodas	Metodo apibūdinimas
Geras ūkininkavimas	Tai atitinkamos vadybos bei organizacinės priemonės, kurių imamasi siekiant galimų rizikų prevencijos (prevencinių apžiūrų grafikai ir dažni įrangos patikrinimai) bei įgyvendinant esamas darbo instrukcijas (vykdant tinkamą priežiūrą bei mokymus).
Žaliavų pakeitimas	Esamų žaliavų pakeitimas mažiau toksiškomis ar atnaujinančiomis medžiagomis arba naudojimas tokių papildomų medžiagų, kurių poveikis procesui yra ilgesnis, t.y. suvartojama mažiau medžiagų.
Patobulinta vadyba	Darbo procedūrų, įrangos instrukcijų modifikavimas ir įrašų apie procesus saugojimas siekiant pagerinti tų procesų efektyvumą bei sumažinti taršą;
Įrangos pakeitimas	Esamos gamybos įrangos modifikavimas siekiant pagerinti proceso efektyvumą bei sumažinti taršą (pvz., didesnę technologinę efektyvumą sukurianti įranga, efektyvesni procesai, kurie leidžia maksimaliai sumažinti žaliavų sąnaudas bei atliekų susidarymo kiekius ir t.t.);
Technologijos pakeitimai	Technologijos pakeitimai ar patobulinimai siekiant, kad gamybos metu sumažėtų tarša ar nepageidaujama rizika.
Gaminio pakeitimas	Gaminio savybių pakeitimas siekiant sumažinti gaminio poveikį aplinkai jo vartojimo metu ar po jo sunaikinimo, arba sumažinti pačio gaminio gamybos poveikį aplinkai.
Proceso optimizavimas	Optimalių gamybos procesų darbo sąlygų realizavimas, diegiant procesų valdymo metodus, atskiriant srautus, regeneruojant šilumą, diegiant medžiagų re-ciklus, grąžinant šilumą bei vandenį į technologinius procesus ir t.t.
Atliekų antrinis panaudojimas įmonėje	Atliekų panaudojimas tame pačiame procese, kuriame jos susidarė, arba kitiems naudingiems tikslams pačioje įmonėje.

Įvykdomumo analizė. Sėkmingai identifikavus įmonės ar įrenginio aplinkos apsaugos problemas bei sugalvojus galimus ŠG sprendimo būdus parinktosioms problemoms spręsti, yra vykdoma pateiktų pasiūlymų įvykdomumo analizė. Jos metu pasiūlymai yra vertinami atliekant:

- techninį įvertinimą: numatoma, kaip lengvai techniniu požiūriu pavyks įdiegti pasiūlytą alternatyvą, ar nėra kokių nors teisinių sunkumų, koks bus pasiūlymo diegimo laikas, kaip tai įtakos įmonės darbo parametrus ir k.t.;

- aplinkos apsaugos įvertinimą: numatoma, ar pasiūlymo įgyvendinimui reikalingos PAV ar PVSV analizės, koks bus aplinkosauginis efektyvumo padidėjimas po pasiūlymo įdiegimo ir kt.;
- ekonominį įvertinimą: prognozuojami procesų kaštai bei alternatyvos ekonominė nauda po jos įdiegimo, įvertinamos visos galimos investicijos, numatoma investicijų atsipirkimo trukmė (AT) (naudojama 1 formulė).

$$AT = \frac{\text{Inovacijos investicijos (Eur)}}{\text{Sutaupymai dėl projekto įdiegimo} \left(\frac{\text{Eur}}{\text{m.}}\right)} \quad (1)$$

Įdiegtas ŠG projektas laikomas sėkmingu, jei projekto atsipirkimo trukmė yra trumpesnė nei 3 metai nuo projekto realizavimo.

Pasiūlymų atranką diegimui. Įvertinus visus pateiktus pasiūlymus (iš techninės, aplinkosauginės ir ekonominės pusės) yra atrinkami geriausi pasiūlymai ŠG diegimui įmonėje ar procese.

Dažniausi atrankos kriterijai: geriausia aplinkosauginė nauda, atitiktis teisės aktų reikalavimams, mažiausia investicijų atsipirkimo trukmė, mažiausios investicijos pasiekti nustatytą tikslą.

Diegimas. Įdiegus kurią nors ŠG prieš tai atrinktąją priemonę, paprastai yra atliekamas ir aplinkosauginio veiksmingumo vertinimas. Aplinkosauginis veiksmingumas – tai bendras įmonės poveikis aplinkai ir žmonių sveikatai bei pastangos šį poveikį sumažinti. Vienas populiariausių AAV metodų – santykinų aplinkos apsaugos taikymas.

Pirmiausia atliekamas pačių santykinų aplinkos apsaugos (AAI_s) indikatorių įvertinimas, kurie padeda santykinai parodyti aplinkosaugos situacijos kitimą (potencialą) laike (naudojama 2 formulė).

$$AAI_s = \frac{X}{G}, \quad (2)$$

čia

X – proceso arba įmonės įvediniai per analizuojamąjį laikotarpį (pvz., vnt./m.)

G – proceso arba įmonės pagrindinis išvedinys (gaminamos produkcijos apimtys) (pvz., vnt./m.)

Nustačius AAI_s, galimas tolesnis aplinkosauginio veiksmingumo vertinimas (naudojama 3 formulė):

$$AAV = AAI_s (iki) - AAI_s (po), \quad (3)$$

čia

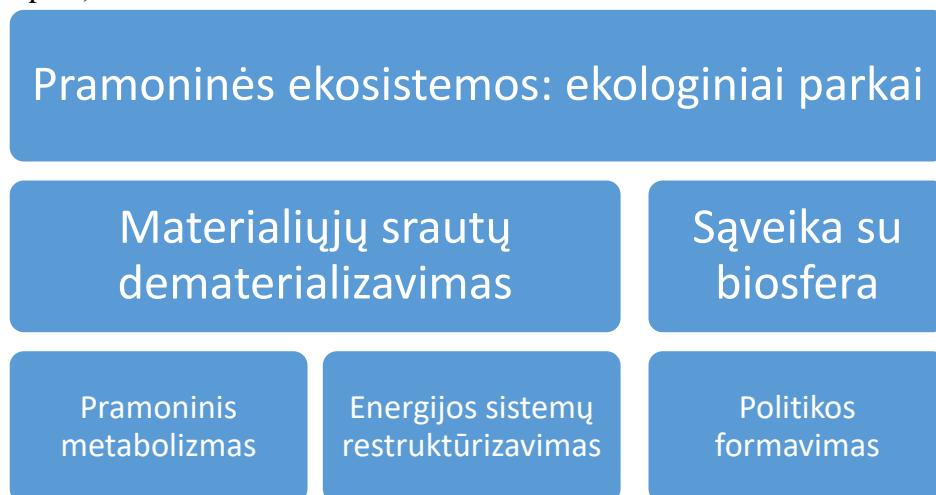
AAI_s (iki) ir AAI_s (po) – santykiniai aplinkos apsaugos indikatoriai iki ir po ŠG projekto.

Teigiama arba neigiama aplinkosauginio veiksmingumo vertinimo reikšmė parodo įdiegto ŠG projekto teigiamą arba neigiamą aplinkosauginės situacijos pokytį tam tikroje analizuojamojo objekto aplinkosaugos srityje (pvz., energijos taupymo, oro teršalų ar ŠESD mažinimo).

2.2.2. Alternatyvų vertinimui taikomi pramoninės ekologijos principai

Pramoninė ekologija – tai mokslo sritis, kuri siekia sukurti analogiją tarp pramonės sistemų ir natūralių ekosistemų, siekiant išvystyti tvaresnes pramonines sistemas [34]. Remiantis šia koncepcija, yra siekiama optimizuoti bendrąjį medžiagų judėjimo ciklą: nuo žaliavų gavybos iki gaminio pagaminimo ir galutinio jo suvartojimo [33].

Praktinis pramoninės ekologijos koncepcijos įgyvendinimas gali būti atliekamas per 6 pagrindinius elementus (žr. 12 pav.).



12 pav. Pagrindiniai pramoninės ekologijos elementai [33]

Toliau apibendrintai yra apžvelgiami pagrindiniai pramoninės ekologijos elementai:

1. pramonės materialiųjų srautų dematerializavimas – tai pastangos sumažinti medžiagų ir energijos naudojimo intensyvumą gamybos procese. Šiame etape didelis dėmesys yra skiriamas taršos prevencijai, t.y. tarša mažinama jos atsiradimo vietose (pačiame gamybos procese). Pagrindiniai taršos prevencijos principai yra šie:

- ekologinis efektyvumas;
- taršos ir atliekų mažinimas susidarymo vietoje;
- taršos ir atliekų prevencija;
- išteklių efektyvumas;
- medžiagų ir energijos naudojimo efektyvumas.

2. taikant pramoninį metabolizmą siekiama efektyviai optimizuoti ryšį tarp gamybos procesų, energijos ir medžiagų. Pramonėje ši koncepcija gali būti realizuojama pramoninės simbiozės būdu, t.y. kai vienos pramonės atliekos tampa kitų pramonės sričių žaliavomis arba energija.

3. sąveikos su biosfera harmonizavimas – ši koncepcija skatina į pramonines sistemas žiūrėti ne į kaip atskirą vienetą, tačiau kaip į aplinkos visumos dalį. T.y. siekiama pramoninių sistemų kuo sklandesnės integracijos į natūraliasias sistemas. Kaip pagalbinės priemonės šiame etape gali būti: TIPK, PAV, GPGGB, PVSV ir k.t. dokumentai.

4. energijos sistemų restruktūrizavimas – tai tokios pramoninės energijos sistemos sukūrimas, panaudojant atsinaujinančius energijos išteklius, antrinius energijos išteklius ir atliekamos energijos išteklius.

5. aplinkos apsaugos politikos formavimo etapas leidžia optimaliai tarpusavyje integruoti ekonomines bei aplinkos apsaugos priemones.

6. galiausiai paskutinis etapas yra tarsi visų PE įrankių visumos rezultatas – naudojant vieną ar kelis PE įrankius, siekiama sukurti kuo efektyvesnę pramoninę ekologinę sistemą, kurios pagrindinis tikslas – bendradarbiavimas tarp atskirų pramonės vienetų (pvz., siekiama, kad gamintojų atliekos virsta žaliava arba energija kitoms įmonėms).

Aplinkos apsaugos problemų sprendimas, taikant pramoninės ekologijos principus, yra daugiakriterinis uždavinys, tačiau vieno ar kelių PE įrankių taikymas gali padėti maksimaliai optimizuoti esamą pramoninę sistemą.

2.2.3. Darbe taikomos metodikos įvertinti oro taršą ir ŠESD

Darbe taikomos metodikos įvertinti ŠESD ir oro taršą:

(1) Oro teršalų vertinimui naudojama metodiką, pateikiamą EMEP/EEA/CORINAIR oro teršalų inventorizacijos vadove (toliau – vadovas) [59]. Naudojant šią metodiką emisijų į aplinkos orą skaičiavimas atliekamas pagal 4 formulę.

$$E_p = FC \times EF \times 10^{-6} , \quad (4)$$

čia

FC – kuro sąnaudos (kg/m);

EF – oro teršalo emisijų faktorius (g/kg sudeginto kuro) iš vadovo [59]

26 lentelė. Emisijos faktoriai pagal EMEP/EEA/CORINAIR metodiką [59]

Kuras	Tarša	Vienetai	Emisijos faktorius
Dyzelinas	CO	g/tonai kuro	10 774
	KD		2 104
	NO _x		32 629
	NMLOJ		3 377
	NH ₃		8

(2) ŠESD (CO₂, N₂O, CH₄) vertinimui naudojama metodika, pateikta IPCC inventorizacijos vadove [43]; kuro žemutinė šilumingumo vertė ir CO_{2e} emisijų faktorius naudojami iš Aplinkos apsaugos agentūros internetinėje svetainėje kasmet atnaujinamos informacijos (panaudojama formulė 5)

$$E_{\text{ŠESD}} = M \times Q_z \times EF \times 10^{-3} , \quad (5)$$

čia

M – dyzelinio kuro sąnaudos, t/m.;

Q_z – kuro žemutinė šilumingumo vertė, TJ/t, pvz., dyzelinio kuro – 0,04286 TJ/t;

EF – ŠESD emisijų faktorius deginant dyzelinį kurą: CO₂ – 72800 kg/TJ, N₂O – 3,9 kg/TJ, CH₄ – 3,9 kg/TJ.

(3) Netiesioginių ŠESD (CO₂) emisijų dėl elektros energijos sąnaudų iš tinklų.

Šis vertinimas Lietuvoje įgyvendintiems projektams (nuo 2020 m.) atliekamas remiantis metodika, pateikta Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakyme „Dėl klimato kaitos specialiosios programos lėšų naudojimo tvarkos aprašo patvirtinimo“ – 4 formulė.

$$E_{CO_2} = 0,42 \text{ tCO}_2\text{e/MWh} \times X \text{ MWh/t} \times 1000 \quad (6)$$

čia

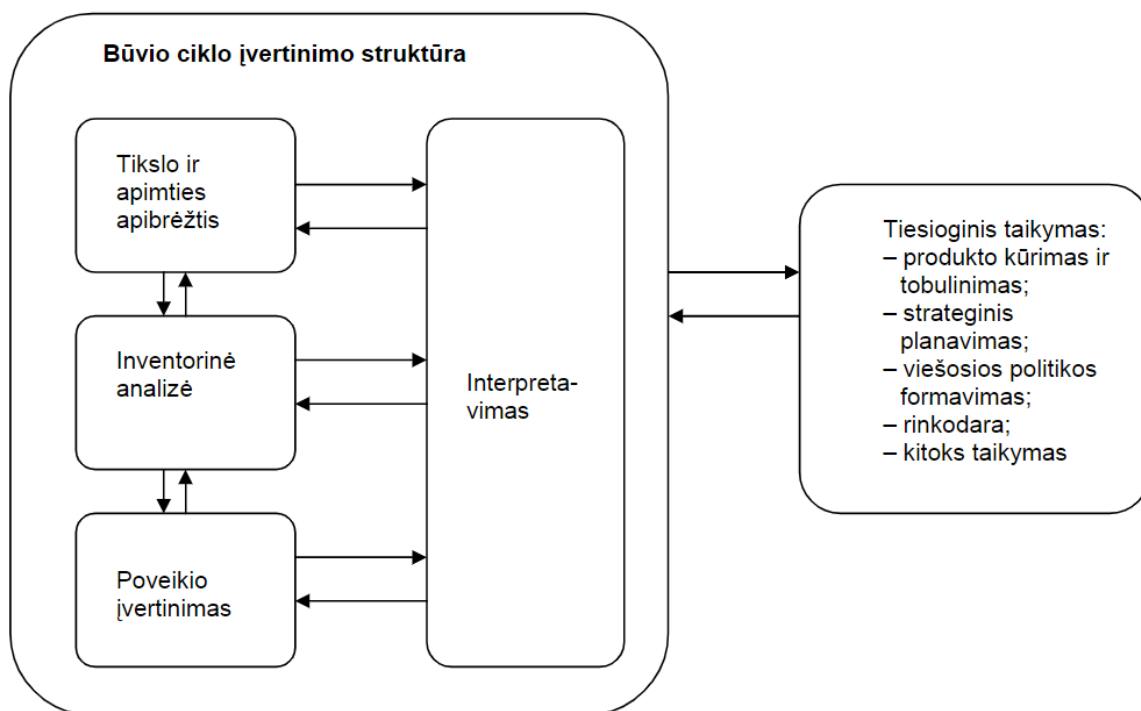
0,42 t CO_{2e}/MWh – elektros energijos taršos faktorius Lietuvoje;

X – elektros energijos sąnaudos, MWh/m.

2.2.4. Darbe taikoma metodika produkto būvio ciklo įvertinimui

Būvio ciklo įvertinimas – tai metodika, kuria siekiama nustatyti gaminio ar proceso poveikį aplinkai kiekviename jo gyvavimo ciklo etape. Pagrindiniai BCĮ principai ir sandara apibrėžiami tarptautiniame standarte – ISO 14040 [35]. Būvio ciklo įvertinimo struktūra pateikiama 13 paveiksle. Kaip matoma paveiksle, BCĮ yra sudarytas iš pagrindinių keturių etapų:

1. tikslo ir apimties apibrėžtis. Šiame etape nustatomas konkretus tyrimo tikslas, analizuojamos proceso ar produkto ribos. Nustatomas tiriamasis funkcinis vienetas.
2. inventorinė analizė. Čia yra pateikiami analizuojamojo proceso/produkto kiekybiniai duomenys apie įvedinius ir išvedinius. Šiame etape yra pateikiami visi privalomi duomenys, skirti apibrėžtam tyrimo tikslui pasiekti.
3. poveikio įvertinimas. Šiame etape gautieji BCĮ rezultatai yra analizuojami, siekiant geriau suprasti jų svarbą aplinkai.
4. rezultatų interpretavimas. Galutiniame etape yra atliekamas baigiamasis analizės metu gautųjų rezultatų apibendrinimas. Taip pat remiantis šiais rezultatais yra pateikiamos išvados, rekomendacijos ir sprendimai, pagal pradiniame etape nustatytą tikslo ir apimties apibrėžtį.



13 pav. Būvio ciklo įvertinimo struktūra [35]

Taigi, apibendrinant, ISO 14040 standarte teigiama, kad BCĮ nagrinėja visą produkto (proces) būvio ciklą nuo žaliavų išgavimo ir įsigyjimo per energijos ir medžiagų gamybą iki panaudojimo ir perdirbimo būvio pabaigoje ir galutinio pašalinimo. BCĮ analizė padeda efektyviai nustatyti produkto/proceso daromą aplinkosauginę įtaką viso būvio ciklo metu [35].

Šiame darbe BCĮ atliekamas naudojant specialią programinę įrangą – SimaPro (8 versija).

SimaPro – tai programinė įranga, leidžianti rinkti, analizuoti ir stebėti produktų ir paslaugų tvarumo duomenis. Naudojant šią programinę įrangą galima įvesti norimus duomenis (apie tam tikrą produktą, procesą) arba juos pasirinkti iš jau esamų duomenų bazių. Atlikus produkto (-ų)/procesą (-ų) BCĮ, gautus rezultatus galima analizuoti skaitinėmis išraiškomis arba įvairaus tipo diagramose. Detalesniai duomenų analizei galima pasirinkti duomenų interpretavimą naudojant skirtingus metodus.

3. Tyrimų rezultatai – žiedinės ekonomikos principų įgyvendinimas eksperimentui parinktoje padangų perdirbimo įmonėje

3.1. UAB „Torgita“ aplinkosaugos problemų nustatymas ir jų priežasčių identifikavimas

Remiantis UAB „Torgita“ (toliau – Įmonė) Taršos leidimu Nr. TZ(2)-23/TL-U.6-23/2019 [61], naudoti nebetinkamos padangos (atliekų kodas – 16 01 03 [62]) (toliau – NNP) įmonėje surenkamos arba priimamos iš visos Lietuvos fizinių ir juridinių asmenų (taip pat gali būti importuojamos). Projektiniai perdirbimo pajėgumai – 10 000 t per metus. Įmonėje vykdomos NNP tvarkymo, įsk. naudojimą/perdirbimą mechaniniu būdu veiklos:

- S1 – surinkimas; S2 – vežimas; S3- įvežimas (importas); S4 – išvežimas (eksportas);
- R13 – R1–R12 veiklomis naudoti skirtų atliekų laikymas (*iki 1 000 t*);
- R12 – atliekų būsenos ar sudėties pakeitimas, prieš vykdant su jomis bet kurią iš R1-R11 veiklų;
- R3 – organinių medžiagų, nenaudojamų kaip tirpikliai, perdirbimas ir (arba) atnaujinimas.

Surinktos NNP iki perdirbimo sandėliuojamos uždareme ir atvirame sandėlyje (vienu metu - iki 900 t).

Remiantis UAB „Torgita“ atliekų tvarkymo veiklos techniniu reglamentu [57], įmonės veiklos paskirtis - perdirbti nebetinkamas naudoti padangas (pajėgumas – iki 10 000 t/m.) ir gaminti produktus arba antrines žaliavas:

- **gumos ir tekstilės produkciją** (nuo 7 500 iki 10 000 t per metus, priklausomai nuo gaminamo produkto):
 - granules ir miltelius (≤ 30 mm); padangų juostas; padangų protektorius; padangų blokus;
 - kitus gumos ir tekstilės produktus, pvz., padangų cilindrus

(visi produktai turi prekių kodus pagal Kombinuotosios nomenklatūros reikalavimus; kiekvienam produktui pagaminti sukurtas įmonės standartas (pagal šio produkto naudojimo paskirtį).

arba

- **antrinę žaliavą** (iki 7500 t per metus):
 - padangų atraižas (nuo < 70 iki > 30 mm) – kietąjį atgautąjį kurą deginimui (*Angl. – SRF*), pvz., cemento gamybos įmonėse (atliekų kodas – 19 12 04);
- **juodųjų metalų laužą** (iki 2000 t/m.):
 - teigiamą vartę turinti atlieka (atliekų kodas – 19 12 02).

Atliekant aplinkosaugos auditą, nustatyta, kad nuo 2021 m. analizuojamoje įmonėje vykdomos dvi atliekų perdirbimo veiklos:

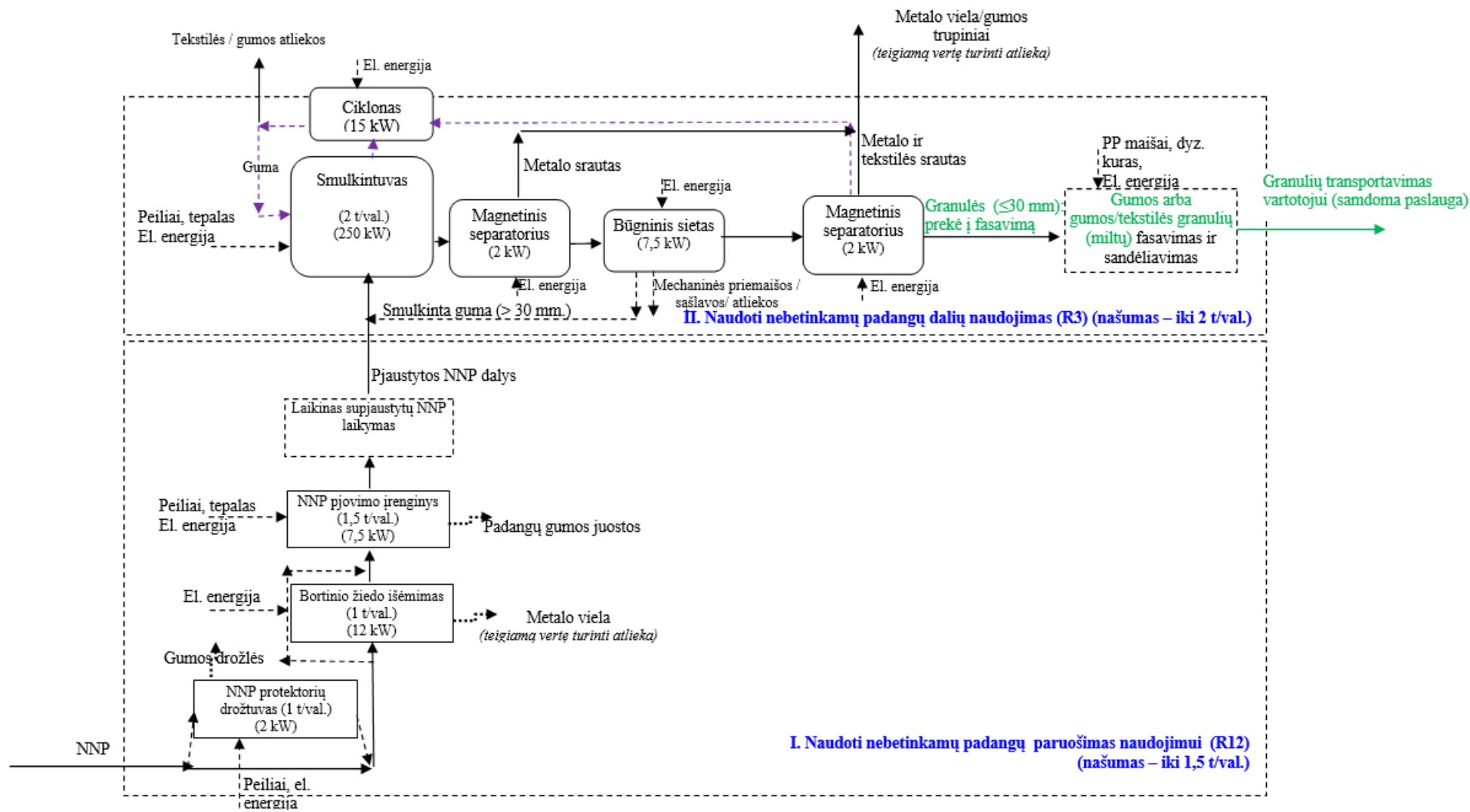
- R12 (našumas – iki 1,5 t/val.) (šioje veikloje NNP paruošiamos tolimesniam naudojimui R3 būdu) ir

- R3 (našumas – iki 2 t/val.) (NNP perdirbimas mechaniniu būdu, pagrinde gaminant gumos granules (≤ 30 mm frakcijos)).

NNP iš tvarkingai sandėliuojamų padangų rietuvių dyzeliniu krautuvu yra gabenamos link gamybos patalpų ir išverčiamos technologinės linijos pradžioje. Tuomet darbuotojai rankiniu būdu NNP paduoda į protektorių drožtuvą ir/arba į bortinio žiedo išėmimo įrenginį. Jei vizualiai yra nustatoma, jog padangos protektorinė dalis nusidėvėjusi pakankamai mažai, guma nuo protektoriaus nudrožiama (vėliau ši guma paduodama tiesiai į galutinį gumos granulių srautą), jei NNP protektorius nusidėvėjęs, padangai iš karto atliekama bortinio žiedo ištraukimo procedūra. Bortinis žiedas, t.y. metalo viela (teigiamos vertės atlieka), paprastai sudaro nuo 4 iki 9% bendros padangų masės.

Vėliau apdorota padanga paduodama į NNP pjaustymo įrenginį, kur atliekamas jos pjaustymas specialiai numatytomis kryptimis (dažniausiai atskiriant NNP šoninę dalį nuo viršutinės dalies). Dėl skirtingų technologinių pajėgumų perdirbimo linijos R12 ir R3 dalyse, padangos prieš R3 atliekų tvarkymo procesus laikinai yra kaupiamos (siekiant išvengti NNP trūkumo tolimesnio perdirbimo metu).

Toliau iš anksto supjaustytos NNP dyzeliniu krautuvu yra suverčiamos į smulkinimo įrenginį (modelis – GFM20, našumas – 2 t/val.). Smulkintuvas NNP galutinai susmulkina iki ≤ 30 mm dydžio gumos granulių. Smulkintuvas sujungtas su ciklono sistema, kuri atskiria tekstilės/gumos srautus. Toliau smulkinta guma nukreipiama ant lovinio konvejerio. Tokiu būdu susmulkinta įkrova transportuojama per magnetinį separatorių (vyksta metalo atliekų srauto atskyrimas) ir paduodama į būgninio sieto įrenginį, kuris užtikrina pakankamą gumos granulių susmulkinimą (didesnės nei 30 mm dydžio gumos atraižos yra gražinamos į smulkinimo procesą pakartotiniam perdirbimui). Būgniniame sietė vykdomas smulkintos gumos įkrovos vartymas leidžia iš bendro srauto pašalinti ir kitus įvairius mechaninius nešvarumus ir priemaišas. Toliau smulkinta ≤ 30 mm gumos frakcija konvejeriu yra perleidžiama per papildomą magnetinį separatorių su oro valymo sistema, kur užtikrinamas visiškas metalo ir/ar tekstilės srauto pašalinimas iš smulkintos gumos srauto. Galiausiai smulkintos gumos granulės (≤ 30 mm produkcija) yra suberiamos į antrinius polipropileno didmaišius, sandariai užfasuojamos. Produkcija pakrauti didmaišiai dyzeliniais autokrautuvais yra nuvežami į laikino sandėliavimo vietas.



14 pav. Įmonės medžiagų ir energijos srautų diagrama

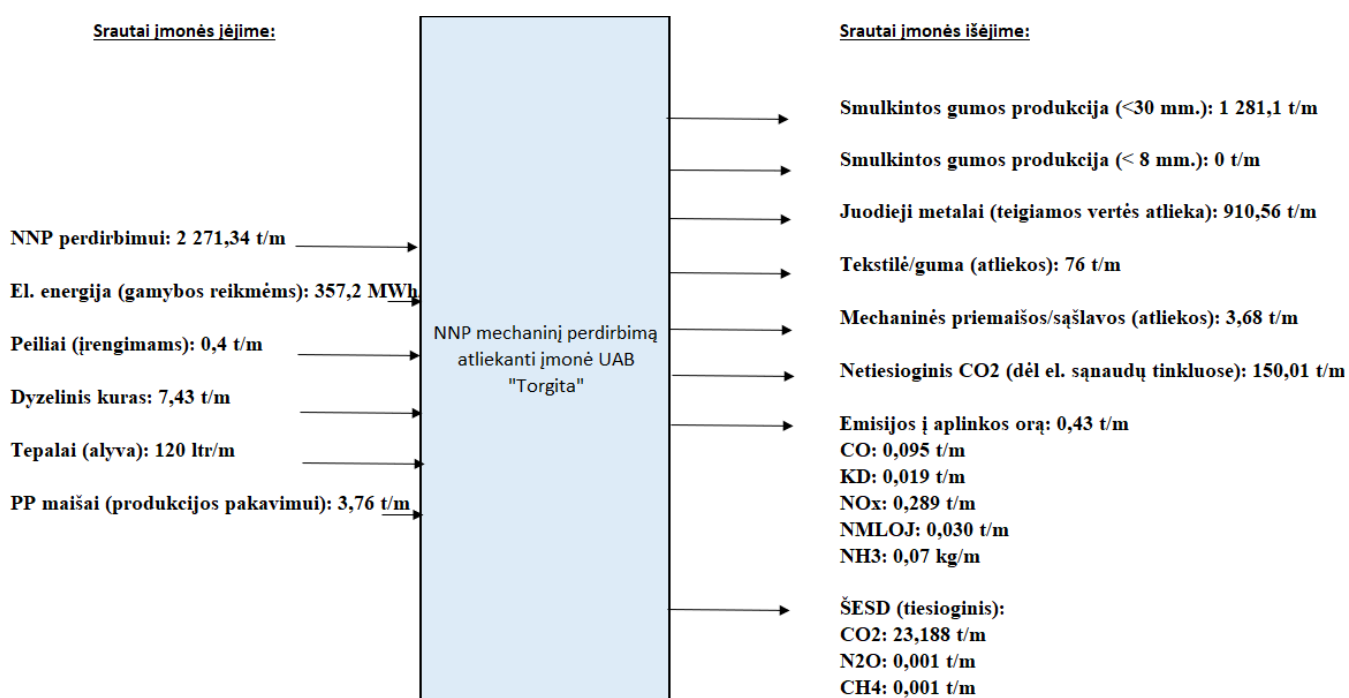
Aplinkosauginio audito metu surinkti duomenys apie pagrindinius įmonės įvedinius ir išvedinius 2020 metais (įmonė veikė nuo sausio ir lapkričio mėnesio) pateikti 15 paveiksle ir 27 lentelės 3 stulpelyje.

Įvediniai: analizuojamu laikotarpiu įmonė perdirbimui priėmė (t.y. sutvarkė atliekų) 2271,34 t NNP. Šiam tikslui tik gamybinėms reikmėms buvo sunaudota 357,2 MWh elektros energijos. Technologinės linijos įrenginių (NNP pjovimo įrenginio, smulkintuvo) aptarnavimo metu buvo pakeista/sunaudota 0,4 t plieninių peilių. Krovos tikslams krautuvuose sunaudota 8847 litrų (apie 7,43 t/m.) dyzelinio kuro. Technologinės įrangos ir mobiliosios technikos periodinei priežiūrai sunaudota 120 litrų MGE-46V, L-MM46 tipų alyvų. Gaminamos produkcijos pakavimui buvo naudojami antrinio naudojimo PP didmaišiai. Per analizuojamuosius metus jų buvo sunaudota 3,76 t.

Išvediniai: per metus buvo pagaminta 1281,1 t gumos granulių (frakcijos dydis ≤ 30 mm). Technologiniu požiūriu smulkesnės nei 8-10 mm gumos frakcijos gamyba buvo negalima, todėl analizuojamu laikotarpiu NNP buvo perdirbamos tik į 8-30 mm gumos granules. Teigiamos vertės atliekos (plieno laužo) susidarė 910,56 t, tekstilės/gumos atliekų – 76 t, įvairių mechaninių priemaišų/sąšlavų susidarė iki 3,68 t. Tiesioginė oro tarša susidarė iš mobilių taršos šaltinių dėl dyzelinio kuro deginimo vidaus degimo varikliuose ir siekė 0,43 t/m. (vertinimui naudota 4 formulė).

ŠESD dėl analizuojamos veiklos:

- tiesioginis poveikis – dėl dyzelinio kuro deginimo: CO₂ – 23,188 t/m, N₂O – 0,001 t/m, CH₄ – 0,001 t/m (vertinimui naudota 5 formulė);
- netiesioginis – naudojant elektros energiją iš tinklo - iki 150,01 t CO_{2e}/m. (vertinimui naudota 6 formulė).



15 pav. Įmonės medžiagų ir energijos srautai

Siekiant atlikti lyginamąją analizę su literatūros šaltiniuose pateiktais duomenimis dėl energijos sąnaudų perdirbant NNP, buvo įvertinti AAI_s (žr. 27 lentelės 4 stulpelį).

27 lentelė. UAB „Torgita“ pagrindiniai aplinkos apsaugos indikatoriai, 2020

Proceso įėjimo ir išėjimo srautai	Vnt.	Absoliutūs AAI, vnt./m.	Santykiniai AAI, vnt./m.
1	2	3	4
Įėjimo srautai			
NNP perdirbimui	t	2 271,34	1,77
El. sąnaudos (gamybos reikmėms)	MWh	357,2	278,80
Peiliai (įrengimams)	t	0,4	0,31
Dyzelinis kuras (autokrautuvams)	l	8 847	6,91
Tepalai (alyva)	l	120	0,09
PP maišai (antriniai, produkcijos pakavimui)	t	3,76	2,94
Išėjimo srautai			
Smulkintos gumos produkcija (≤ 30 mm)	t	1 281,1	1,00
² Juodieji metalai (teigiamos vertės atlieka)	t	910,56	0,71
Gumos/tekstilės atliekos	t	76,0	0,06
Atliekos (sąšlavos ir k.t.)	t	3,68	0,06
Emisijos į aplinkos orą	t	0,43	0,003
ŠESD (dėl dyzelinio kuro sąnaudų)	t	23,19	0,02
Netiesioginis CO ₂ (dėl el. energijos sąnaudų tinkluose)	t CO _{2e}	150,01	0,12

Pastabos:

¹AAI_s vertinimui naudota 2 formulė, kur $G_{2020} = 1281,1$ t/m. smulkintos gumos produkcijos (≤ 30 mm).

²Juodųjų metalų sraute yra aptinkama gumos priemaišų (iki 20% pagal masę), todėl grynasis metalo kiekis yra mažesnis.

UAB „Torgita“ pirminio aplinkosaugos vertinimo metu identifikuotos pagrindinės aplinkosauginės ir kitos problemos ir jų galimos priežastys susistemintos ir pateiktos 28 lentelėje.

28 lentelė. UAB „Torgita“ pagrindinės aplinkosauginės problemos ir priežastys

Problema	Vieta (produktas, įrenginys, linijos dalis)	Priežastis	Galimi sprendimo būdai
Bendras technologinės linijos našumo sumažėjimas	Visa linija	Technologinės linijos pradžioje neefektyviai veikiantys NNP protektorių drožimo, bortinio žiedo išėmimo ir pjaustymo įrenginiai mažina likusios linijos našumą (pajėgumus)	Pašalinti protektorių drožtuvą, bortinio žiedo išėmimo ir pjaustymo įrenginius ir/arba juos modernizuoti
El. energijos sąnaudų padidėjimas ir našumo sumažėjimas	Smulkintuvas	Per didelė apkrova tenkanti smulkintuvui dėl prieš smulkintuvą esančioje technologinės linijos dalyje pakankamai nesusmulkinamų NNP	Optimizuoti NNP smulkinimo procesą (prieš smulkintuvą)
Metalo srautas užterštas gumos/tekstilės dalimi	Metalo viela/trupiniai (teigiamą vertę turinti atlieka)	Dėl atliekamo NNP, iš kurių nėra tinkamai pašalintas metalas, mechaninio smulkinimo, dalis metalo vielų susimaišo su likusia guma/tekstile	Efektyviai optimizuoti metalo, tekstilės ir gumos srautų atskyrimus
Santykinai žema gumos granulių išeiga ir aukštos el. energijos sąnaudos	Visa linija	Dėl neefektyviai veikiančios ir tarpusavyje nesuderintos įrangos, didėja bendrosios el. energijos sąnaudos ir mažėja perdirbamos gumos išeiga	Optimizuoti technologinės linijos procesus

Visos aplinkosauginės problemos susijusios su santykinai didelėmis elektros energijos sąnaudomis ir nedideliu technologinės linijos našumu, kas daro neigiamą įtaką visam analizuojamam NNP perdirbimo procesui.

Taip pat gaminamas produktas (8-30 mm frakcijos gumos granulės) neturi labai didelės paklausos Lietuvos rinkoje (šiuo metu didžioji dalis produkcijos parduodama Lenkijai, Latvijai ir Baltarusijai).

Atlikus esamos situacijos aplinkosauginį įvertinimą, reikia pabrėžti žiedinės ekonomikos svarbą NNP perdirbimui. Labai svarbu tinkamai ir efektyviai (mažiausiomis energijos sąnaudomis, sudarant minimalų kiekį papildomų atliekų) perdirbti NNP – iš šių atliekų srauto gaminant didesnės pridėtinės vertės produktus, kurie būtų panaudojami kaip tolimesnės žaliavos (pvz., gumos granulės – dangų, paviršių, guminių gaminių gamyboje; metalo laužas – plieno pramonėje). Vertinant darnų atliekų panaudojimą labai svarbu išvengti linijinės ekonomikos logikos ir principų. Pvz., perdirbamų padangų panaudojimas energetiniais tikslais deginimo procese, arba mažos pridėtinės vertės produkto (≤ 30 mm gumos granuliu išgavimas esant didelėms energijos sąnaudoms) gamyba yra priešingas veiksnys žiedinei ekonomikai. Todėl prieš priimant įvairias alternatyvas esamos situacijos tobulinimui, svarbu įvertinti siūlomų alternatyvų potencialą žiediškumo sukūrimui.

3.2. Siūlomos alternatyvos ir jų įvykdomumo analizė

Remiantis 3.1. poskyryje išanalizuotais duomenimis nustatytos konkrečios pagrindinės esamos technologinės linijos problemos, kurias siūloma spręsti žemiau pateiktais būdais:

1. Technologinės linijos pradžioje esančios įrangos – protektorių drožtuvo, bortinio žiedo ištraukimo, padangų pjaustyklės – techniniai pajėgumai yra nepakankami – atitinkamai 1; 1; 1,5 t. Taip pat, kaip buvo nustatyta aplinkosauginio audito metu, įranga veikia netinkamai, t.y. bortinio žiedo ištraukimas atliekamas nepilnai, paliekant dalį plieno vielos, NNP drožtuvas nesuderintas. Visa tai lemia bendrą našumo sumažėjimą tolimesnėje technologinėje linijoje, kadangi jau pačioje linijos pradžioje nesugebama užtikrinti pakankamo apdoroto NNP kiekio tolimesniems procesams.

2. Įvairaus dydžio dalimis (apie 100 – 1000 mm) supjaustytos NNP paduodamos į smulkinimo įrenginį yra netinkamo dydžio įkrova. Atliekant smulkintuvo techninių parametrų analizę buvo nustatyta, jog optimalus NNP įkrovos į įrenginį dydis yra 50 – 200 mm, o suprojektuotas įrenginio našumas – iki 3 t/val., vardinė galia – 250 W. Analizuojant esamos situacijos medžiagų ir energijos srautų diagramą nustatyta, jog dėl į smulkinimo įrenginį paduodamos per didelių matmenų įkrovos (100 – 1000 mm vietoje 50 – 200 mm), smulkintuvo faktinis našumas sumažėja iki 2 t/val. (1 t/val. mažesnis nei projektinis įrenginio našumas), o elektros sąnaudos išlieka panašios vardinei 250 W galiai. Tai reiškia, jog dėl netinkamo įkrovos į smulkintuvą dydžio parinkimo el. energijos sąnaudos turėtų būti panašios, tačiau bendras įrenginio našumas apytiksliai sumažėja iki 33 %.

3. Esamoje technologinėje linijoje būgninis sietas leidžia užtikrinti tinkamą gumos susmulkinimą (t.y. didesnės kaip 30 mm dydžio gumos granulės yra gražinamos pakartotiniam smulkinimui). Kadangi NNP sraute esančios pašalinės priemaišos (kaip akmenukai, mechaniniai nešvarumai, sąslava) po smulkinimo proceso bendrame NNP yra sutraiskomos, jų vėlesnis pašalinimas būgniniame sietė tampa ypač neefektyvus (t.y. kartu gali būti pašalinama ir dalis smulkintos gumos).

Naudojantis švaresnės gamybos ir pramoninės ekologijos principais toliau yra pateikiami trys pasiūlymai esamos situacijos optimizavimui – 3.2.1 – 3.2.3 skyreliai.

3.2.1. Esamos technologinės linijos optimizavimo įvykdymo analizės rezultatai

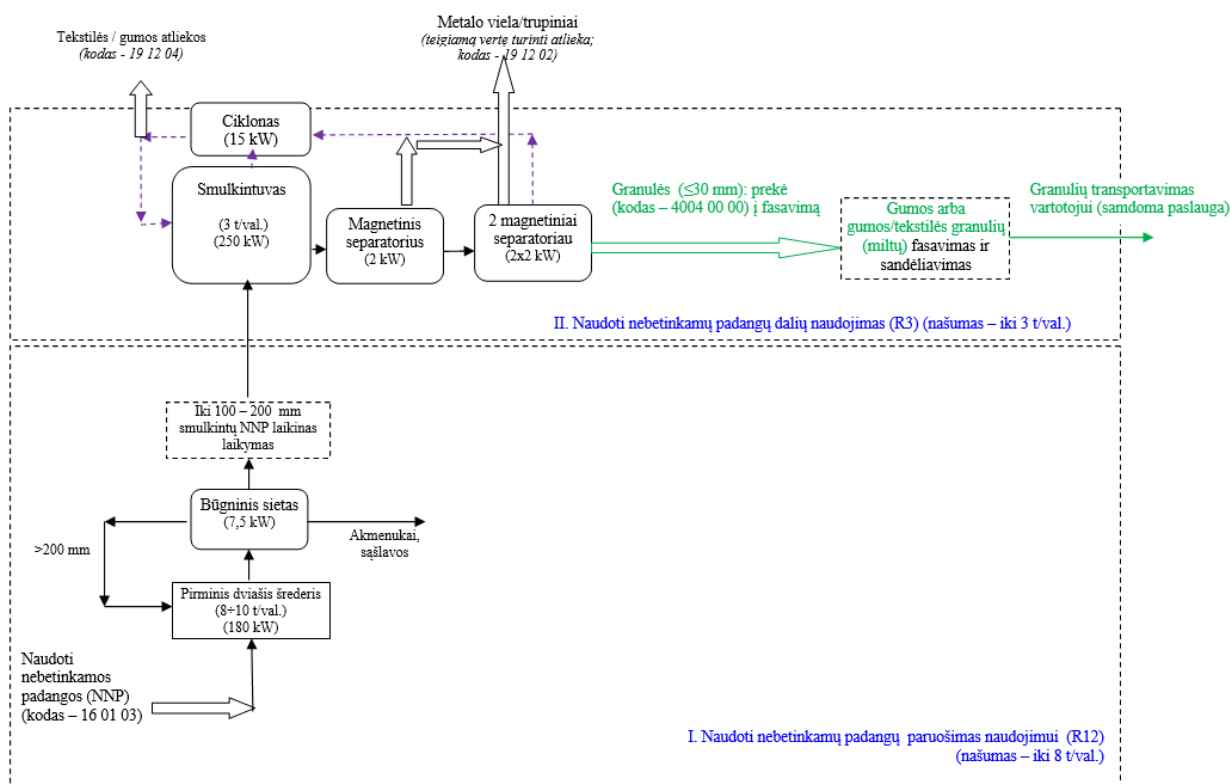
Pasiūlymo tikslas – sumažinti elektros energijos sąnaudas gaminamos produkcijos vienetui optimizuojant esamą technologinę liniją.

Techninio įvertinimo rezultatai

Atsižvelgiant į prieš tai nustatytas problemas, pirmojo pasiūlymo techninio įvertinimo metu buvo priimti šie optimizavimo etapai:

- ✓ technologinėje linijoje pašalinti NNP protektorių drožtuvą, bortinio žiedo išėmimo ir pjovimo įrenginius;
- ✓ technologinės linijos pradžioje (vietoje pašalintų įrenginių) įdiegti pirminį dviašį šrederį;
- ✓ pakeisti jau esamo būgninio sieto poziciją – perkelti į linijos pradžią (iš R3 į R12 veiklą);
- ✓ papildomo (trečiojo) magnetinio separatoriaus įdiegimas.

NNP perdirbimo technologinės linijos principinė schema po optimizavimo pateikiama 16 paveiksle.



16 pav. Technologinės linijos principinė schema po optimizavimo

Projekto įdiegimo metu technologinės linijos pradžioje pašalinti NNP protektorių drožimo, bortinio žiedo išėmimo ir NNP pjaustymo įrenginiai. Atsisakius neefektyviai veikiančių įrenginių, buvo padidintas bendras linijos našumas (R12 atveju – iki 8 t/val.), taip pat, atsisakius jų eksploatavimo technologinėje linijoje, sumažintos elektros energijos sąnaudos.

Įdiegtas pirminis dviašis šrederis „Siemens GD9“ leidžia lengvųjų automobilių NNP (iki 1200 mm dydžio) susmulkinti iki 50 – 200 mm dydžio gumos atraižų. Iš R3 į R12 poziciją perkeltas būgninis

sietas leidžia užtikrinti tinkamai nesusmulkintų NNP dalių kontrolę (t.y. atraižos, kurių dydis >200 mm yra gražinamos atgal į šrederį). Taip pat jau pačioje technologinės linijos dalyje iš NNP srauto pašalinamos įvairios mechaninės priemaišos (pvz., akmenukai, kitos sąšlavos).

Dėl į smulkinimo įrenginį paduodamos optimalaus dydžio įkrovos (50 – 200 mm) smulkinimo procesas tampa paprastesnis mechaninių procesų prasme (t.y. mažesnio dydžio įkrovos susmulkinimui reikalingas atitinkamai mažesnis energijos kiekis). Smulkinimo įrenginio našumas nuo 2 t/val. padidėja iki 3 t/val. išlaikant tą pačią įrenginio galią (250 W). Po smulkinimo proceso susidaro ≤ 30 mm dydžio gumos granulės.

Dėl technologinės linijos pradžioje pašalinto bortinio žiedo ištraukimo procedūros tolimesniame NNP sraute metalo kiekis lieka didesnis. Linijos pabaigoje optimaliam metalo pašalinimui iš smulkintos gumos srauto užtikrinti įdiegiamas papildomas magnetinis separatorius.

Aplinkosauginio ir ekonominio įvertinimų rezultatai

Pasiūlymo aplinkosauginės analizės ir sutaupomų lėšų įvertinimo rezultatai pateikti 29-oje lentelėje.

Įdiegus šį pasiūlymą, iki 0,07 t/m. padidėtų peilių sąnaudos (dėl stambesnių peilių naudojimo naujai diegiamame pirminiame šrederyje bei šiek tiek didesnio likutinio metalo kiekio NNP), taip pat periodiniams įrangos priežiūros darbams sunaudojamų tepalų kiekis (iki 20 kg/m). Esamos technologinės linijos pradžioje atsisakius neefektyviai veikiančių ir daug rankinio darbo reikalaujančių įrenginių (NNP protektorių drožtuvas, bortinio žiedo ištraukimas, NNP pjaustyklė) sumažėja darbo apimtis (tačiau pagerėja darbo sąlygos) prie perdirbimo linijos dirbantiems darbuotojams, todėl įdiegus siūlomą optimizavimo idėją būtų atsisakoma 1 darbuotojo etato.

Bendros elektros energijos sąnaudos sumažėtų beveik 100 MWh/m. (analizuojant tik perdirbamąją metinį NNP kiekį), dėl to sumažėtų netiesioginių ŠESD (CO_{2e}) kiekis. Apibendrinti duomenys apie elektros energijos sąnaudų ir ŠESD planuojamą pokytį pirmosios optimizavimo idėjos įdiegimo atveju pateikiami 17 paveiksle.

29 lentelė. Antrosios alternatyvos aplinkosauginis ir ekonominis įvertinimas

Proceso įvediniai	Sąnaudos prieš projekto įdiegimą			AAI ² (iki)	Sąnaudos po projekto įdiegimo			AAI ² (po)	Sutaupoma (+)/ sumažėja (-)		AAV ³
	Vnt./m.	EUR/vnt.	EUR/m.		Vnt./m.	EUR/vnt.	EUR/m.		Vnt./m.	EUR/m.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Proceso srautai pradžioje											
⁴ NNP (perdirbimui), t	2 271,34	-20	-45 426,8	1,77	2 271,34	-20	-45 426,8	1,77	0	0	0
⁵ El.sąnaudos, kWh	357 168	0,24	85 720,37	278,80	258 412	0,24	62 018,94	201,71	98 755,97	23 701,43	77,09
Peiliai (įrengimams), t	0,4	7 500	3 000	0,31	0,47	7 500	3 540	0,37	-72	-540	-0,06
Dyzelinis kuras, ltr	8 847	1,8	15 924,6	6,91	8 847	1,8	15 924,6	6,91	0	0	0
Tepalai (alyva), ltr	120	2,4	288	0,09	140	2,4	336	0,11	-20	-48	-0,02
PP didmaišiai (produkcijos pakavimui), t	4,28	800	3 420	3,34	4,28	800	3 420	3,34	0	0	0
Darbuotojų etatai, darbuotojų skaičius	4	10 800	43 200	-	3	11 000	33 000	-	1	10 200	0,0008
Proceso srautai pabaigoje											
Smulkintos gumos produkcija (≤ 30mm), t ¹	1 281,1	-10	-12 811	1	1 281,1	-10	-12 811	1,00	0	0	0
Smulkintos gumos produkcija (≤ 8mm), t	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Juodieji metalai – teigiamos vertės atlieka, t ¹	910,56	-150	-136 584	0,71	910,56	-150	-136 584	0,71	0	0	0
Tekstilės/gumos atliekos, t ¹	76,0	20	1 520	0,06	76,0	20	1 520	0,06	0	0	0
Kitos atliekos (sąslavos ir pan.), t	3,68	40	147,2	0,003	3,68	40	147,2	0,00	0	0	0
Emisijos į aplinkos orą, t	0,43	-	-	0,0003	0,43	-	-	0,00	0	-	0
ŠESD (CO _{2e}) tiesioginis, t	23,19	-	-	0,02	23,19	-	-	0,02	-	-	0
ŠESD (CO _{2e}) netiesioginis, t	150,01	-	-	0,12	108,53	-	-	0,08	41,48	-	0,03
									33 313,43		77,05

Pastabos:

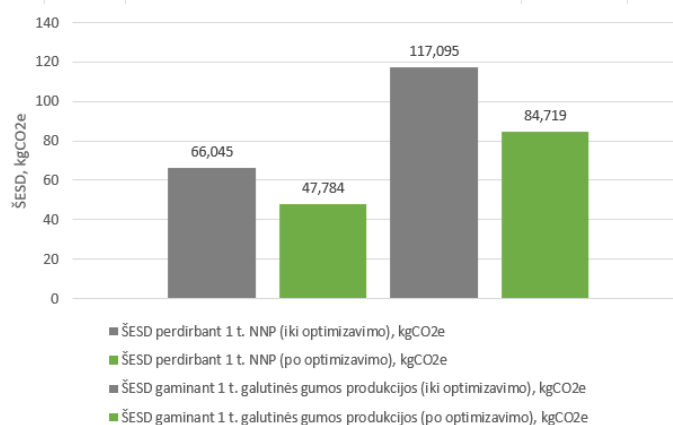
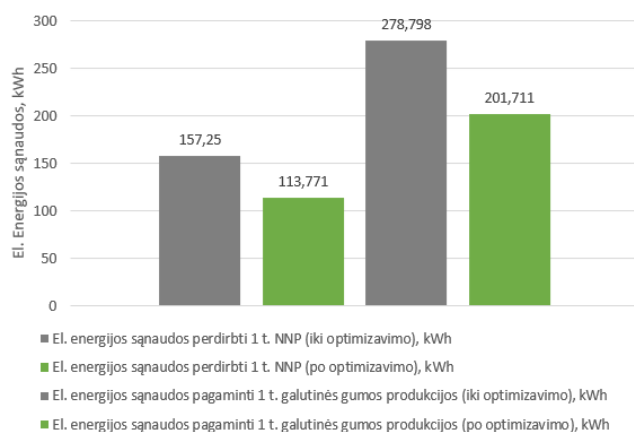
¹Vertinant šios alternatyvos aplinkosauginį veiksmingumą, buvo daroma prielaida, jog iš to paties perdirbamo NNP kiekio (2271,34 t) gumos, tekstilės ir metalo srautų išėiga yra vienoda tiek esamoje situacijoje, tiek planuojamoje situacijoje.

²AAI_s vertinimui naudota 2 metodikos formulė; smulkintos gumos produkcijos (≤ 30 mm) $G_{2020} = 1281,1$ t.

³AAV vertinimui naudota 3 metodikos formulė.

⁴Minuso ženklas prieš skaičių rodo, kad sąnaudos sumažėja.

⁵ Elektros energijos sąnaudos situacijai po alternatyvos įdiegimo įvertintos 1-me priede



17 pav. Elektros energijos ir ŠESD (netiesioginis poveikis) planuojamas pokytis įdiegus pirmąjį pasiūlymą

Prognozuojama, jog elektros energijos sąnaudos įdiegus siūlomą optimizavimo pasiūlymą sumažėtų iki 28 % – nuo 157,25 kWh/t NNP iki 113,77 kWh/t NNP bei nuo 278,8 kWh/ t iki 201,71 kWh/t gaminamoms antrinėms žaliavoms – gumos granulėms (frakcijos dydis ≤ 30 mm).

Analogiškai maždaug trečdaliu sumažėtų ir ŠESD kiekis: nuo 66,05 kgCO_{2e}/t iki 47,78 kgCO_{2e}/t NNP, bei nuo 117,1 kgCO_{2e}/t iki 84,72 kgCO_{2e}/t AŽ.

Apibendrinant gautuosius duomenis galima daryti išvadą, jog pirmoji alternatyva atitinka iškeltą tikslą – sumažinti elektros energijos sąnaudas (arba naudojimo intensyvumą) gaminamos produkcijos vienetui atliekant esamos technologinės linijos optimizavimą.

Siūlomai optimizavimo idėjai įdiegti reikalingos investicijos (išlaidos) pateikiamos 30-oje lentelėje.

30 lentelė. Sistemos optimizavimo investicijos, taikant pirmąją alternatyvą

Pavadinimas	Paskirtis	Vnt.	EUR/vnt.	EUR (viso)
Pirminis dviašis šrederis „Siemens GD9“	NNP mechaninis traiškymas/plėšimas prieš paduodant į smulkinimo įrenginį	1	177 424,91	177 424,91
Magnetinis separatorius „RCYD–10”	Metalo priemaišų atskyrimas ir pašalinimas iš bendro gumos granulių srauto	1	12 462,55	12 462,55
		2	189 887,46 Eur be PVM	

Remiantis ŠG metodika, atlikus techninį, aplinkosauginį ir ekonominį įvertinimą, yra atliekamas projekto atsipirkimo trukmės (AT) skaičiavimas (naudojant 1 metodikos formulę).

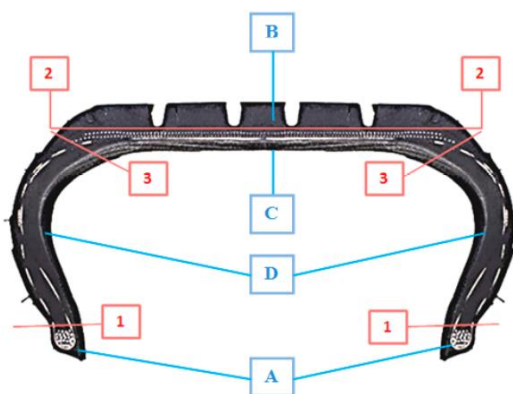
Įdiegus projektą planuojama sutaupyti (S) – 33 313,43 Eur/ m. (žr. 28 lentelę). Projekto bendros investicijos (I) – 189 887,46 Eur. Projekto atsipirkimo trukmė (AT) – 5,7 m. Ši alternatyva buvo vertinta, esant produkcijos gamybos apimčiai – 2271 t/m. Tačiau svarbu atkreipti dėmesį į tai, kad projekto įdiegimas leidžia padidinti perdirbimo apimtį iki 2900 t/m. Tokiu būdu, dėl padidėjusių produkcijos pardavimo apimčių, būtų gaunamas atitinkamai didesnis pelnas, ir projekto atsipirkimo trukmė sumažėtų iki 3 metų. Analizuojama pirmoji optimizavimo idėja 2021 m. III-IV ketvirtį realiai buvo įdiegta eksperimentui parinktame objekte.

3.2.2. Dalies technologinės linijos modernizavimo, gaminant didesnės pridėtinės vertės produktą, įvykdomumo analizės rezultatai

Projekto tikslas – sumažinti elektros energijos sąnaudas gaminamos didesnės pridėtinės vertės produkcijos vienetui atliekant dalies technologinės linijos modernizavimą.

Techninio įvertinimo rezultatai

Remiantis Rumunijos mokslininkų atliktų tyrimų rezultatais NNP apdirbimo srityje, nustatyta, kad padangų tam tikros dalys susideda iš skirtingų žaliavų (pavyzdžiui, vienoje dalyse gali būti ir guma, ir tekstilė ar metalas, kitose – tik guma), todėl atitinkamai atskiriant šias dalis pirminiame etape, net ir naudojant tą pačią technologiją, galima gauti skirtingų pridėtinių verčių produktus. Taip pat skirsis elektros energijos naudojimo intensyvumas [36]. Labai svarbu paminėti, kad elektros sąnaudos gaminant didesnės pridėtinės vertės produktą – gumos granules (praktiškai be priedų arba su leistinu jų kiekiu) – gali būti minimalios. Be to, atskiriant dalis, galima padidinti gamybos išeią [36]. Rekomenduojamos idėjos pateikimas schematiškai pavaizduotas 18 paveiksle.



18 pav. NNP perprojektavimo idėjų principinė schema jų perdirbimo metu [36]

Kaip matoma paveiksle, visumoje padangą galima suskirstyti į keturias skirtingas dalis, kuriose, atitinkamai, bus skirtinga sudėtinių dalių kompozicija:

A dalis – guma, tekstilė ir metalas (iki 10 % visos padangos masės)

B dalis – guma (iki 32 % visos padangos masės)

C dalis – guma, tekstilė, metalas (iki 20 % visos padangos masės)

D dalis – guma ir tekstilė (iki 38 % visos padangos masės).

Toliau raudonais skaitmenimis yra pažymėti siūlomų pjūvių atlikimo vietos:

Pjūvis 1 – leidžia atskirti A dalį nuo likusios padangos

Pjūvis 2 – leidžia atskirti B dalį (kuri yra sudaryta tik iš gumos) nuo likusios padangos

Pjūvis 3 – leidžia atskirti C dalį nuo D dalies.

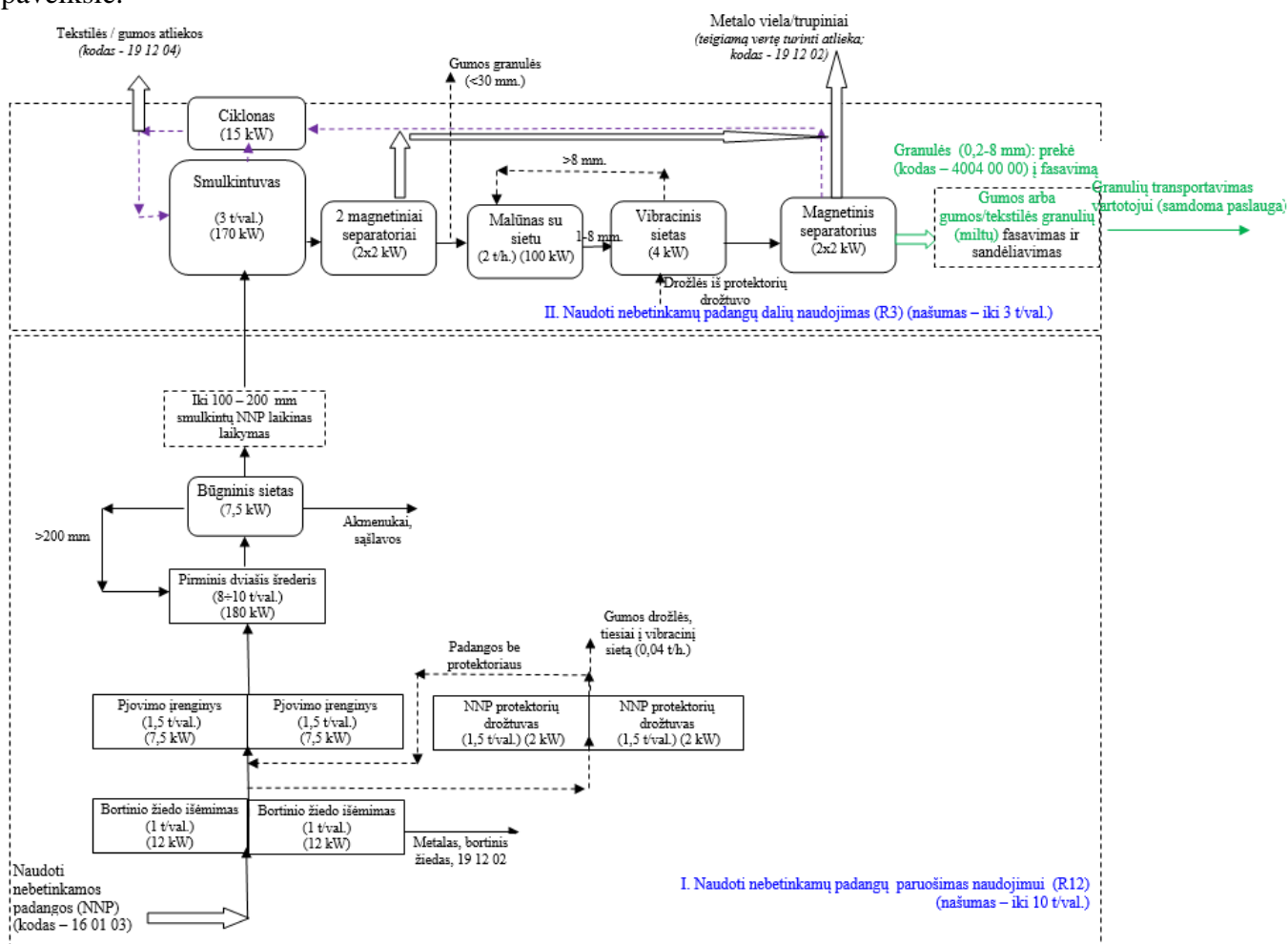
Kaip pateikiama straipsnyje [36], skirtingų pjūvių dėka atskirtos dalys vėliau yra perdirbamos skirtingai (pvz., B dalis, kuri yra sudaryta tik iš gumos, nėra maišoma ir perdirbama kartu su C dalimi, kuri savo sudėtyje turi visas tris medžiagas). Be to, vengiant skirtingų srautų (gumos,

tekstilės, metalo) tarpusavio maišymo perdirbimo metu, yra pasiekiamas didesnis galutinio produkto (gumos granulių) grynumo laipsnis (t.y. mažesnis užterštumas tekstile, metalu), ir net gi didesnė išeiga.

Šio projekto pagrindiniai etapai, modernizuojant esamą technologinę liniją:

- ✓ modernizuoti esamos technologinės linijos bortinio žiedo išėmimo, NNP protektorių drožimo ir pjovimo įrangą;
- ✓ bendram linijos našumui padidinti įdiegti papildomą bortinio žiedo išėmimo, NNP protektorių drožimo ir pjaustymo įrenginį;
- ✓ įdiegti pirminį dviašį šrederį;
- ✓ pakeisti jau esamo būgninio sieto poziciją – perkelti į linijos pradžių;
- ✓ smulkesnei gumos frakcijai išgauti technologinės linijos pabaigoje įdiegti papildomą smulkinimo įrenginį (malūną su sietu);
- ✓ smulkesnės gumos frakcijos papildomai kontrolei instaliuoti vibracinį sietą.
- ✓ papildomai įdiegti trečią magnetinį separatorių.

NNP perdirbimo technologinės linijos principinė schema po antrojo optimizavimo pateikiama 19 paveiksle.



19 pav. Technologinės linijos principinė schema įdiegus antrą alternatyvą

Linijos modernizavimas leistų dvigubai padidinti našumą, tačiau dėl papildomos įrangos nežymiai padidės elektros energijos sąnaudos.

Technologinės linijos pradžioje įdiegti įrenginiai (NNP protektorių drožtuvas, bortinio žiedo ištraukimo įrenginys, NNP pjaustyklė) leis atskirti skirtingas padangos dalis.

NNP pjovimas bus atliekamas sekančiai (pagal 18 pav.):

- bortinio žiedo ištraukimo įrenginys ištraukia metalo vielą (A dalis), todėl pjūvis „1“ nebus atliekamas (kadangi padangos A ir D dalyse bus likusi tik guma ir tekstilė);
- NNP protektorių drožtuvas pašalina protektorinę dalį (jeigu dėl padangos nusidėvėjimo tokia dar yra), todėl B dalis yra atskiriama nuo likusios padangos; kadangi šioje dalyje bus tik guma, be to NNP protektoriaus drožimo metu susidarys itin smulkios gumos dalelės ($\leq 5 - 10$ mm), jos iš karto bus nukreipiamos į pačią technologinės linijos pabaigą – vibracinį sietą;
- NNP pjaustymo įrenginyje bus atliekamas tik vienas pjūvis – „3“; tokiu būdu bus atskiriamos AD (guma, tekstilė) ir C (guma, tekstilė, metalas) dalys. AD ir C dalys toliau į sekančius procesus bus paduodamos vienu srautu, tačiau, nepaisant to, tai leis užtikrinti didesnę našumą bei efektyvesnę skirtingų medžiagų atskyrimą iš pjaustytų NNP dalių.

Kaip ir pirmosios optimizavimo alternatyvos atveju siūloma įdiegti pirminį dviašį šrederį „Siemens GD9“. Jis leistų lengvųjų automobilių NNP (iki 1200 mm dydžio) susmulkinti iki 50 – 200 mm dydžio gumos atraižų. Iš R3 į R12 poziciją perkeltas būgninis sietas leistų užtikrinti tinkamai nesumulktų NNP dalių kontrolę (t.y. atraižos, kurių dydis >200 mm bus gražinamos atgal į šrederį). Taip pat jau pačioje technologinės linijos dalyje iš NNP srauto bus pašalinamos įvairios mechaninės priemaišos (pvz., akmenukai, kitos sąšlavos).

Dėl į smulkinimo įrenginį paduodamos optimalaus dydžio įkrovos (50 – 200 mm) smulkinimo procesas taps „lengvesnis“ (mechaninio smulkinimo atžvilgiu), t.y. mažesnio dydžio įkrovos susmulkinimui bus reikalingas atitinkamai mažesnis energijos kiekis. Smulkinimo įrenginio našumas padidės nuo 2 iki 3 t/val. išlaikant tą pačią įrenginio galią (250 kW). Po smulkinimo proceso susidarys ≤ 30 mm dydžio gumos granulės.

Siekiant gaminti didesnės pridėtinės vertės gumos produktą, t.y. smulkesnes gumos granules, kurių dydis ≤ 8 mm, NNP apdorojimo dalyje (R3) būtina įdiegti papildomą technologiją (papildomam gumos granuliu smulkinimui). Dėl šios priežasties siūloma instaliuoti papildomą malūną su sietu (Shredwell RG-90).

Papildomai galutinės gumos kontrolei užtikrinti po malūno su sietu siūloma įdiegti papildomą reguliuojamąjį vibracinį sietą. Šiuo atveju sietas būtų parenkamas toks, jog su galutinės produkcijos srautu patektų tik mažesnės nei 8 mm gumos dalelės.

Didesnės gumos dalys bus gražinamos pakartotiniam apdorojimui į malūną su sietu.

Efektyviam metalo srauto pašalinimui iš galutinio gumos produkto užtikrinti, technologinės linijos pabaigoje, kaip ir pirmosios idėjos atveju, siūloma įdiegti papildomą magnetinį separatorių.

Aplinkosauginio ir ekonominio įvertinimų rezultatas

Pasiūlymo aplinkosauginės analizės ir sutaupomų lėšų įvertinimo rezultatai pateikti 31-oje lentelėje.

31 lentelė. Antrojo pasiūlymo aplinkosauginis ir ekonominis įvertinimas

Proceso įvediniai	Sąnaudos prieš projekto įdiegimą			AAIs (iki)	Sąnaudos po projekto įdiegimo			¹ AAIs (po)	Sutaupoma (+)/ sumažėja (-)		¹ AAV
	Vnt./m.	EUR/vnt.	EUR/m.		Vnt./m.	EUR/vnt.	EUR/m.		Vnt./m.	EUR/m.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Proceso srutai pradžioje											
² NNP (perdirbimui), t	2 271,34	-20	-45 426,8	1,77	2 271,34	-20	-4 5426,8	1,56	0	0	0,21
³ Elektros sąnaudos, kWh	357 168	0,24	85 720,37	278,80	392 800	0,24	94 272	269,46	-35631,6	-8 551,6	9,34
Peiliai (įrengimams), t	0,4	7 500	3 000	0,31	0,54	7 500	4 028	0,37	-0,14	-1 028,12	-0,06
Dyzelinis kuras, l	8 847	1,8	15 924,6	6,91	10 067	1,8	18 120,4	6,91	-1219,9	-2 195,8	0
Tepalai (alyva), l	120	2,4	288	0,09	159	2,4	382	0,11	-19,3044	-94	-0,02
PP didmaišiai (produkcijos pakavimui), t	4,28	800	3 420	3,34	4,86	800	3 892	3,34	-0,59	-472	0
Darbuotojų etatai, darbuotojų skaičius	4	10 800	43 200	-	6	10 800	64 800	0,004	-2	-21 600	-0,0001
Proceso srutai pabaigoje											
Smulkintos gumos produkcija (≤ 30 mm), t	1 281,1	-10	-12 811	1	0	-10	0	-	1 281,1	-12 811	-
^{4,5} Smulkintos gumos produkcija (≤ 8 mm), t	-	-	-	-	1 457,75	-140	-204 085	1	-1 457,75	204 085	-
^{6,7} Atliekos (juodieji metalai), t	910,56	-150	-136 584	0,71	728,45	-190	-138 405	0,5	182,11	1 821,12	0,21
⁵ Atliekos (tekstilė/guma), t	76,0	20	1 520	0,06	81,46	20	1 629	0,06	-5,46	-109	0,003
Atliekos (sąšlavos ir kt.), t	3,68	40	147,2	0,003	3,68	40	147,2	0,002	0	0	0,0003
Emisijos į aplinkos orą, t	0,43	-	-	0,0003	0,49	-	-	0,0003	-0,06	-	0
ŠESD (t CO _{2e}) (tiesioginis)	23,19	-	-	0,02	26,39	-	-	0,02	-3,2	-	0
ŠESD (t CO _{2e}) (netiesioginis)	150,01	-	-	0,12	164,98	-	-	0,11	-14,97	-	0,004
										159 153,5	

Pastabos:

¹AAI_s vertinimui naudota 2 formulė, kur $G = 1457,75$ t smulkintos gumos produkcijos (≤ 8 mm); AAV vertinimui naudota 3 formulė.

²Minuso ženklas prieš skaičių rodo, kad sąnaudos sumažėja.

³Elektros energijos sąnaudos įvertintos 1-me priede.

⁴Daroma prielaida, jog po projekto įdiegimo bus gaminama tik iki ≤ 8 mm smulkinta guma.

⁵Dėl įdiegtos antrosios alternatyvos planuojamas išgaunamos gumos kiekio padidėjimas (iki 64 % nuo perdirbamo NNP kiekio).

⁶Iš to paties perdirbamo NNP kiekio (2271,34 t) planuojama išgauti mažiau metalo, jame bus iki 20 % mažiau gumos/tekstilės priemaišų.

⁷Iki 20 % sumažėjusių priemaišų, metalo pardavimo kaina rinkoje padidėtų iki 190 Eur/t.

Įdiegus projektą, iki 0,14 t/m padidės peilių sąnaudos (dėl stambesnių peilių naudojimo naujai diegiamame pirminiame šrederyje, peilių naudojimo pjaustyklėse, drožtuvuose), taip pat periodiniams įrangos priežiūros darbams bus reikalingas didesnis tepalų kiekis (iki 39 kg/m). Taip pat planuojamas dyzelinio kuro padidėjimas - iki 1220 l/m Atitinkamai, dėl didesnio gaminamos galutinės gumos produkcijos kiekio, padidėtų PP didmaišių, skirtų produkcijos pakavimui, sąnaudos (iki 0,6 t/m). Dėl technologinės linijos pradžioje padidinto įrenginių skaičiaus, siekiant efektyviai paskirstyti papildomai atsiradusį darbo krūvį, būtina didinti darbuotojų skaičių – nuo 4 iki 6.

Planuojamas didesnės pridėtinės vertės produkto (gumos granulių ≤ 8 mm) kiekio padidėjimas iki 176,65 t/m. Tuo tarpu išgaunamo plieno laužo kiekis teoriškai sumažėtų apie 20 %, lyginant su esama situacija, kadangi plieno laužo sraute susidarys iki 20 % mažesnis gumos priemaišų kiekis. Tekstilės atliekų srautas, lyginant su esama situacija, turėtų padidėti nežymiai – iki 9 %.

Prognozuojama, jog įdiegus siūlomą projektą, elektros energijos sąnaudos padidėtų iki 10 % – nuo 157,25 iki 172,94 kWh/t NNP. Tokie rezultatai gaunami dėl to, jog antrosios modernizavimo alternatyvos atveju yra gaminamas didesnės pridėtinės vertės produktas (≤ 8 mm guma). Smulkesnei gumos frakcijai išgauti yra modernizuojama technologinė linija (įdiegiant papildomus procesus), todėl sunaudojama atitinkamai daugiau elektros energijos. Tačiau šiuo atveju svarbesniu rodikliu tampa elektros energijos sąnaudos produkcijos (gumos granulių) vienetui, kurios sumažėja nuo 278,8 kWh/t iki 269,46 kWh/t, t.y. apie 3,35 %. Analogiškai ŠESD kiekis sumažėtų gaminamos produkcijos vienetui: nuo 117,1 kgCO_{2e}/t iki 113,17 kgCO_{2e}/t gaminamos produkcijos.

Apibendrinant gautuosius duomenis matoma, jog antroji modernizavimo idėja taip pat atitinka iškeltą tikslą – sumažinti elektros energijos sąnaudas gaminamos didesnės pridėtinės vertės produkcijos vienetui atliekant dalies technologinės linijos modernizavimą. Taip pat šios alternatyvos įdiegimo atveju padidėtų antrinių žaliavų išgavimas gaminant didesnės pridėtinės vertės produktą, kuris gali būti naudojamas kelių statyboje, guminių pagrindų, kilimėlių, perdangų, atitvarų gamyboje ir kt.

Siūlomam projektui įdiegti reikalingos investicijos pateikiamos 32-oje lentelėje.

32 lentelė. Dalies technologinės linijos modernizavimo investicijos, taikant antrąją alternatyvą

Pavadinimas	Paskirtis	Vnt.	EUR/vnt.	EUR (viso)
Pjovimo įrenginys	NNP pjaustymas atskiriant skirtingas padangos dalis	1	24 800	24 800
Seno pjovimo įrenginio modernizacija	NNP pjaustymas atskiriant skirtingas padangos dalis	1	10 000	10 000
NNP protektorių drožtuvas	Nudrožti likusį protektorių nuo NNP	1	12 500	12 500
Bortinio žiedo išėmimo įrenginys „GDT 1200“	Metalo vielų išplėšimas iš NNP	1	23 510	23 510
Pirminis dviašis šrederys „Siemens GD9“	NNP mechaninis traiškymas/plėšimas prieš paduodant į smulkinimo įrenginį	1	177 424,91	177 424,91
Malūnas su sietu „Shredwell RG-90“	≤ 30 mm dydžio gumos dalelių smulkinimas iki ≤ 8 mm gumos granulių	1	84 900	84 900
Vibracinis sietas „GZF 100“	Didesnių gumos granulių atskyrimas (kokybės kontrolė)	1	8 600	8 600
Magnetinis separatorius „RCYD-10“	Metalo priemaišų atskyrimas ir pašalinimas iš bendro gumos granulių srauto	1	12 462,55	12 462,55
		8	354 197,46 Eur be PVM	

Įdiegus projektą planuojama sutaupyti (S) – 159 135,5 Eur/m. (žr. 31 lentelę). Projekto bendros investicijos (I) – 354 197,46 Eur (žr. 32 lentelę). Projekto atsipirkimo trukmė (AT) – 2,23 m.

3.2.3. Perdirbimo technologijos pakeitimo įvykdymo analizės rezultatas

Pasiūlytos inovacijos tikslas – sumažinti elektros energijos sąnaudas gaminamos didesnės pridėtinės vertės produkcijos vienetui atliekant NNP perdirbimo technologijos keitimą.

Trečiosios inovacijos metu siūloma pereiti nuo tradicinio mechaninio NNP smulkinimo prie inovatyvios perdirbimo technologijos, paremtos NNP smulkinimu aukšto slėgio vandens srove (*angl. - Water Jet technologies*) [37] (žr. 1.3.3. skyrelį).

Toliau pateikiami esminiai kriterijai siūlant tradicinę NNP mechaninio smulkinimo technologiją keisti į inovatyvią aukšto slėgio vandens srovės technologiją:

1. dėl mechaninio smulkinimo metu veikiančių trinties jėgų guma įkaista, pasiekus maždaug 100 °C temperatūrą vyksta savotiška gumos oksidacija, kas gali nulemti tolimesnių gumos fizikocheminių savybių suprastėjimą. Naudojant aukšto slėgio vandens technologiją, smulkinamos gumos dalys savaime yra aušinamos vandenyje, todėl taip yra išvengiama neigiamų gumos matricos pakitimų.

2. vykdant mechaninį NNP smulkinimą dideliu iššūkiu tampa efektyvus metalo srauto atskyrimas iš smulkintos gumos srauto (kadangi padangose esančios plieninės vielos yra susmulkinamos į daugybę gabalėlių, kurie pasklinda po visą srautą). Siūloma aukšto slėgio vandens technologija leidžia išvengti metalo smulkinimo, todėl proceso pabaigoje yra gaunama itin aukštos kokybės, didelio grynumo (metalo priemaišų gumoje tik iki 2%), gumos miltų produkcija.

3. mechaninio smulkinimo metu maksimaliai susmulkinti gumą galima iki 5 – 0,5 mm, tuo tarpu naudojant smulkinimą aukšto slėgio vandens srove, gumą galima susmulkinti iki maždaug 800 μm dydžio frakcijos [27].

4. dėl padangų gamybos metu atliekamos gumos vulkanizacijos, net ir perdirbta guma savo sudėtyje išlaiko cheminius sieros ryšius. Savo ruožtu šie ryšiai gumos molekulėse neleidžia perdirbtą gumą pakartotinai panaudoti kaip alternatyvą žaliavinei kaučiuko medžiagai [21]. Remiantis mokslinėje literatūroje pateiktais duomenimis [37, 44] matoma, jog naudojant aukšto slėgio vandens technologiją NNP smulkinimui, didelė vandens srovės energija padaro žalą gumos molekulėje egzistuojantiems sieros ryšiams (iki 55 – 70% visų ryšių), todėl proceso pabaigoje perdirbta guma gali būti panaudojama kaip artima alternatyva žaliavinei kaučiuko medžiagai.

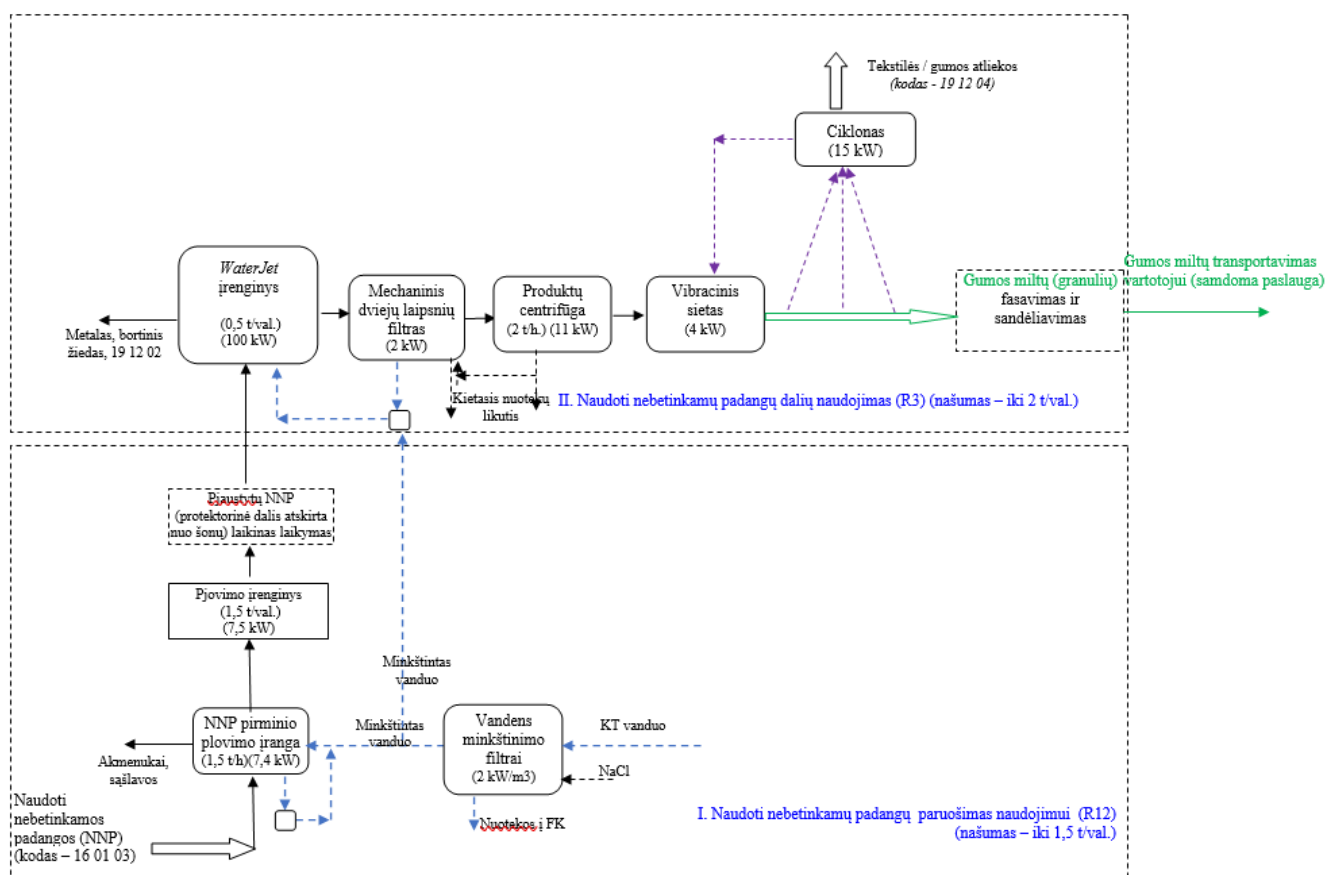
Techninio įvertinimo rezultatai

Šios inovacijos pagrindiniai etapai, pereinant prie naujos technologijos:

- ✓ atlikti senos nereikalingos įrangos demontavimą ir perdavimą atliekų tvarkytojams.
- ✓ modernizuoti seną NNP pjovimo įrangą.
- ✓ technologinės linijos pradžioje įdiegti NNP pirminio plovimo įrenginį (siekiant išvengti galimų mechaninių nešvarumų patekimui į liniją).

- ✓ instaliuoti technologinei linijai reikalingo padavimo vandens minkštinimo įrangą (minkštinimo filtrai).
- ✓ įdiegiamas naujas NNP perdirbimo aukšto slėgio vandens srove įrenginys (Water Jet technologija).
- ✓ nuotekų valymui nuo galimų kietųjų dalelių užtikrinti, įdiegiamas dvipakopis mechaninis valymo filtras.
- ✓ siekiant atskirti kietąsias daleles (guma, tekstilė) iš bendro vandens srauto, įdiegiamas centrifūgos įrenginys.
- ✓ papildomai smulkesnės gumos frakcijos kontrolei instaliuojamas vibracinis sietas.

NNP perdirbimo technologinės linijos principinė schema po trečiojo optimizavimo pateikiama 20 paveiksle.



20 pav. Technologinės linijos principinė schema įdiegus trečią alternatyvą

Atlikus trečiąjį optimizavimą, technologinės linijos bendras našumas išlieka panašus esamai situacijai – iki 1,5 t/val. NNP perdirbimo R12 dalyje ir iki 2 t/val. NNP perdirbimo R3 dalyje. Proceso pradžioje įdiegiama nauja procedūra – NNP pirminis plovimas – kurios metu perdirbimui pristatomos NNP vandeniu mechaniškai apvalomos nuo galimų pašalinių nešvarumų. NNP pirminio plovimo įrangoje bus vykdomas vandens reciklas, todėl panaudotas vanduo bus apdorojamas mechaniniuose filtruose ir toliau naudojamas tuose pačiuose technologiniuose procesuose keletą kartų.

Visoje technologinėje linijoje bus naudojamas tik specialiai paruoštas minkštintas vanduo, todėl vandentiekio vandeniui turi būti atliekamas papildomas apdorojimas. Tam tikslui sklandžiam

vandens minkštinimo filtrų veikimui (filtrų įkrovos regeneracijos atlikimui) yra būtinas pastovus NaCl papildymas.

Toliau R12 veikloje yra paliekamas esamas NNP pjaustymo įrenginys, kuris padangas perpjauna į tris dalis – dvi šoninės NNP sienelės ir viena viršutinė protektorinė dalis. Pjaustymo procedūra yra reikalinga, kadangi aukšto slėgio vandens srovės įrenginyje gali būti apdorojamos tik NNP dalys supjaustytos plokštumomis.

Dėl itin didelio gumos frakcijos susmulkinimo laipsnio (iki 800 μm) visoje technologinėje linijoje mažiausią našumą turi aukšto slėgio vandens srovės (*Water Jet*) įrenginys – iki 0,5 t/val. Šio įrenginio techninių parametrų parinkimas siūlomai inovacijai pateikiamas 2-ame priede. Šiame įrenginyje aukšto slėgio (200 MPa) vandens srovė dėl didelės savo energijos suskaido gumos daleles, kurios kartu su vandens srautu yra nukreipiamos į įrenginio apačioje esantį surinkimo rezervuarą, vėliau iš jo vandens srautas nukreipiamas į dviejų pakopų mechaninį filtrą visiškam vandens ir gumos dalelių atskyrimui. Išvalytas vanduo dėl reciklo yra pakartotinai gražinamas į aukšto vandens slėgio įrenginį, o drėgna gumos frakcija yra paduodama į tolimesnį centrifūgavimo procesą (produktų centrifūgoje).

Naujai įdiegta produktų centrifūga drėgną gumos įkrova centrifūgavimo būdų turėtų išdžiovinti visiškai, todėl sekančiame technologinės linijos procese, išdžiovintai gumos frakcijai yra atliekamas mechaninis purtymas vibraciniame siete (kokybės kontrolė). Toliau smulkintos gumos miltai yra siunčiami konvejeriu virš kurio yra įrengtos trys tekstilės nutraukimo sistemos. Oro ir tekstilės/gumos srautas yra atskiriamas ciklono įrenginyje. Toliau susmulkinta itin aukštos pridėtinės vertės gumos miltų produkcija yra paduodama į PP didmaišius ir fasuojama.

Aplinkosauginio ir ekonominio įvertinimo rezultatas

Pasiūlymo aplinkosauginės analizės ir sutaupomų lėšų įvertinimo rezultatai pateikti 33-oje lentelėje.

33 lentelė. Trečiosios alternatyvos aplinkosauginis ir ekonominis įvertinimas

Proceso įvediniai	Sąnaudos prieš projekto įdiegimą			AAIs (iki)	Sąnaudos po projekto įdiegimo			⁵ AAIs (po)	Sutaupoma (+)/ sumažėja (-)		⁷ AAV
	Vnt./m.	EUR/vnt.	EUR/m.		Vnt./m.	EUR/vnt.	EUR/m.		Vnt./m.	EUR/m.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Proceso srutai pradžioje											
^{8 10} NNP (perdirbimui), t	2 271,34	-20	-45 426,8	1,77	2 000	-20	-40 000	1,56	271,34	-5 426,8	0,21
⁹ El.sąnaudos, kWh	357 168	0,24	85 720,37	278,80	355 866	0,24	85 408	277,24	1 302	312,37	1,56
Peiliai (įrengimams), t	0,4	7 500	3 000	0,31	0,047	7 500	352,5	0,04	0,353	2 647,5	0,28
Dyzelinis kuras, ltr.	8 847	1,8	15 924,6	6,90	5 898	1,8	10 616,4	4,59	2 949	5 308,2	2,31
Tepalai (alyva), ltr.	120	2,4	288	0,09	14	2,4	33,6	0,01	106	254,4	0,08
PP didmaišiai (produkcijos pakavimui), t	4,28	800	3 420	3,34	4,28	800	3 427	3,34	-0,008	-6,68	0
NaCl (druska vandens minkštinimui), t	0	0	0	0	0,4	280	112	0,0003	-0,4	-112	-0,0003
Vanduo, m ³	0	0	0	0	1 136,6	3,17	3 603	0,89	-1 136,6	-3 603	-0,89
Darbuotojų etatai, darbuotojų skaičius	4	10 800	43 200	-	6	10 800	64 800	0,005	-2	-21 600	-0,002
Proceso srutai pabaigoje											
¹ Smulkintos gumos produkcija (≤ 30mm) ,t	1 281,1	-10	-12 811	1	0	-	0	-	-1 281,1	-12 811	-
^{2 6} Smulkintos gumos produkcija (≤ 8mm) ,t	-	-	-	-	1 283,6	-190	-243 884	1	1 283,6	243 884	-
^{3 4} Atliekos (juodieji metalai), t	910,56	-150	-136 584	0,71	641,43	-190	-121 871	0,5	269,13	-14 713	0,21
Atliekos (tekstilė/guma), t	76,0	20	1 520	0,06	71,73	20	1 434,6	0,06	4,27	85,4	0,003
Atliekos (sąšlavos ir k.t.), t	3,68	40	147,2	0,003	3,24	40	129,6	0,002	0,44	17,6	0,0003
Kietasis nuotekų likutis, t	0	0	0	0	1	50	50	0,0008	-1	-50	-0,0008
Emisijos į aplinkos orą, t	0,43	-	-	0,0003	0,24	-	-	0,0002	0,19	-	0,0002
ŠESD (t CO _{2e}) (tiesioginis)	23,19	-	-	0,02	15,46	-	-	0,01	7,73	-	0,01
ŠESD (t CO _{2e}) (netiesioginis)	150,01	-	-	0,12	149,5	-	-	0,12	0,55	-	0,0007
									194 187,33		

Pastabos:

¹ daroma prielaida, kad po inovacijos įdiegimo bus gaminama tik ≤ 8 mm guma – realiai ≈ 800 μm.

² dėl įdiegtos inovacijos planuojamas išgaunamos gumos kiekio padidėjimas (iki 64 % nuo perdirbamo NNP kiekio).

³ iš to paties perdirbamo NNP kiekio (2000 t) planuojama išgauti mažiau metalo, jame bus iki 20 % mažiau gumos/tekstilės priemaišų.

⁴ iki 20 % sumažėjus priemaišų, metalo pardavimo kaina rinkoje padidėtų iki 190 Eur/t.

⁵ *AAI_s vertinimui naudota 2 formulė, kur $G = 1283,6$ t smulkintos gumos produkcijos (≤ 8 mm).*

⁶ *trečiosios inovacijos įdiegimo atveju būtų gaminamas didžiausios pridėtinės vertės produktas, todėl rinkos kaina padidėtų nuo iki 190 Eur/t*

⁷ *AAV vertinimui naudota 3 formulė.*

⁸ *minuso ženklas prieš skaičių rodo, kad sąnaudos sumažėja.*

⁹ *el. energijos sąnaudos įvertintos 1-mame priede.*

¹⁰ *per metus perdirbamų NNP kiekis sumažėtų iki 2000 t (dėl sumažintų metinių perdirbimo pajėgumų)*

Įdiegus projektą iki 0,353 t/m. sumažės peilių sąnaudos (dėl panaikintų mechaninio smulkinimo įrenginių – šrederis, smulkintuvas, drožtuvas ir kt.), taip pat periodiniams įrangos priežiūros darbams bus reikalingas mažesnis tepalų kiekis (apie 106 kg/m). Taip pat planuojamas dyzelinio kuro sumažėjimas apie 2949 ltr. per metus. PP didmaišių, skirtų produkcijos pakavimui, sąnaudos išliks nepakitusios ir sudarys apie 4,28 t/m. Esamą mechaninio smulkinimo technologiją pakeitus į inovatyvią aukšto slėgio vandens srovės technologiją, atsiranda iki tol nebuvę papildomi įvediniai – vandentiekio vanduo (apie 1136,6 m³) ir druska vandens minkštinimo filtrams (apie 0,4 t/m.). Dėl technologinėje linijoje padidėjusių mechaninių darbų skaičiaus, siekiant efektyviai paskirstyti papildomai atsiradusį darbo krūvį, būtina didinti darbuotojų skaičių – nuo 4 iki 6.

Planuojamas didesnės pridėtinės vertės produkto (gumos granulių ≤ 8 mm) kiekio padidėjimas iki 2,5 t/m., t.y. nuo 1281,1 t iki 1283,6 t. Tuo tarpu išgaunamo plieno laužo kiekis teoriškai sumažėtų apie 20 %, lyginant su esama situacija. Taip yra dėl to, jog plieno laužo sraute susidarys iki 20 % mažesnis gumos priemaišų kiekis. Tekstilės atliekų srautas turėtų padidėti neįžymiai – iki 9 %, lyginant su esama situacija. Kitų atliekų kiekis (sąslavų, mechaninių priemaišų) pasikeis neįžymiai – sumažės apie 0,44 t/m. NNP perdirbimui taikant naujo pobūdžio technologijas, dėl jose naudojamo vandens, planuojama, kad susidarys nauja tarša – kietasis nuotekų likutis (t.y. procesų metu iš vandens srauto nusodintos sušlapusios mechaninės priemaišos, kitos kietosios dalelės, galimi tekstilės/metalų likučiai, akmenukai, smėlis). Tokio tipo atliekų per metus susidarys iki 1 t.

Prognozuojama, kad įdiegus siūlomą inovaciją el. energijos sąnaudos padidėtų apie 13 % – nuo 157,25 kWh/t NNP iki 177,93 kWh/t NNP. Tokie rezultatai yra gaunami, kadangi trečiosios inovacijos atveju yra gaminamas didžiausią pridėtinę vertę turintis produktas (≈ 800 μ m guma). Smulkesnei gumos frakcijai išgauti yra keičiama visa NNP perdirbimo technologija. Nauja aukšto slėgio vandens srovės technologija turi mažesnę technologinę našumą, todėl tam pačiam santykiniam vienetui tenka didesnis el. energijos kiekis nei esamoje situacijoje. Tačiau svarbesniu rodikliu tampa elektros energijos sąnaudos produkcijos (gumos granulių) vienetui, kurios sumažėja nuo 278,8 kWh/ t AG (gumos granulės, ≤ 8 mm) iki 277,24 kWh/t AG (≈ 800 μ m gumos miltai), t.y. apie 1,56 kWh arba 0,56 %. Analogiškai ŠESD kiekis gaminamos produkcijos vienetui sumažėtų nuo 117,1 kgCO_{2e}/t AG (gumos granulės, ≤ 8 mm) iki 116,44 kgCO_{2e}/t AG (≈ 800 μ m gumos miltai).

Apibendrinant gautuosius duomenis matoma, jog trečioji inovacija turėtų atitikti iškeltą tikslą – sumažinti elektros energijos sąnaudas gaminamos didžiausios pridėtinės vertės produkcijos vienetui atliekant NNP perdirbimo technologijos keitimą. Taip pat inovacijos įdiegimo atveju padidėtų antrinių žaliavų išgavimas gaminant itin aukšto grynumo ir smulkumo gumos miltų produktą, kuris gali būti naudojami kaip alternatyva žaliaviniam kaučiukui, kelių statyboje, guminių pagrindų, kilimėlių, perdangų, atitvarų gamyboje, vaikų žaidimo aikštelių paviršių dengimui ir k.t. Siūlomai inovacijai įdiegti reikalingos investicijos (išlaidos) pateikiamos 34-oje lentelėje.

34 lentelė. Sistemos optimizavimo investicijos, taikant trečiąją inovaciją

Pavadinimas	Paskirtis	Vnt.	EUR/vnt.	EUR (viso)
Vandens minkštinimo įranga "Aqua Soft"	Į technologinę liniją paduodamo vandens minkštinimas	1	10 150	10 150
NNP pirminio plovimo įranga "Karcher"	Pirminis NNP apiplovimas aukšto slėgio vandens srove	1	999	999
Papildoma įv. įranga technologinei linijai	Papildoma įranga (slėginiai indai, rezervuarai, mechaniniai filtrai ir k.t.) naujai technologinei linijai	1	9 999	9 999
Senos įrangos utilizavimas	Užsakoma paslauga: senos įrangos utilizavimas ir atsiskaitymas už pridutą metalo laužą	1	-10 000	-10 000
Seno pjovimo įrenginio modernizacija	NNP pjaustymas atskiriant skirtingas padangos dalis	1	10 000	10 000
<i>WaterJet</i> įrenginys „Rubber Jet“	NNP smulkinimas aukšto slėgio vandens srove	1	389 000	389 000
Pramoninė centrifūga	Skysčių ir kietų medžiagų atskyrimas centrifūgavimo būdu	1	25 800	25 800
Vandens/nuotekų infrastruktūros sistema	Trūkstamos vandens/nuotekų sistemos įrengimas	1	75 000	75 000
PAV dokumentų atranka	PAV dokumentų atranka dėl technologinių pasikeitimų	1	5 000	5 000
PVSV	PVSV dėl technologinių pasikeitimų įmonės viduje	1	5 000	5 000
			10	520 948,00 Eur be PVM

Įdiegus projektą planuojama sutaupyti (S) – 194 187,33 Eur/ m. (žr. 33 lentelę). Projekto bendros investicijos (I) – 530 948,00 Eur (žr. 24 lentelę). Projekto atsipirkimo trukmė (AT) – 2,68 m.

3.3. Didesnę pridėtinę vertę turinčio produkto panaudojimo kelių tiesimo pramonėje galimybės: analizė taikant būvio ciklo įvertinimą

Atlikus trijų siūlomų projektų įdiegimo galimybių įvertinimą, tolimesniam būvio ciklo vertinimui pasirinkta situacija, kai įdiegta antroji modernizavimo alternatyva – didesnės pridėtinės vertės produkto (≤ 8 mm gumos granulės) gamyba, optimizavus esamą technologiją.

Remiantis darbe atlikta mokslinės literatūros analize buvo nustatyta, jog NNP perdirbimo metu atgauta guma turi didelį pakartotinio panaudojimo potencialą **kelių tiesimo pramonėje**.

Toliau bus analizuojama galimybė kelių tiesimo pramonėje panaudoti iš NNP pagamintas ≤ 8 mm gumos granules, gaminant modifikuotą asfaltą ir jį tiesiant. Šiuo atveju siūloma su asfaltu maišyti iki 18 % gumos granulių (pagal bitumo masę) [38]. Šiame poskyryje pateikiamas šio produkto (modifikuoto asfalto) būvio ciklo įvertinimas (BCĮ), jį lyginant su standartiniu asfaltu.

Atliekant BCĮ toliau standartiškai pateikiama: tikslo ir apimties apibrėžtis, inventorinė analizė, poveikio įvertinimas ir rezultatų interpretavimas.

Tikslo ir apimties apibrėžtis

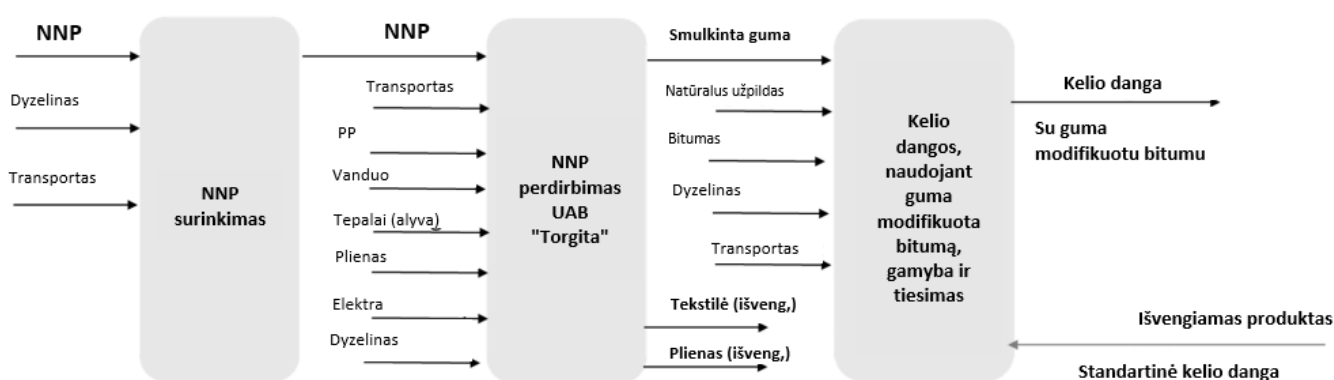
BCĮ taikymo tikslas – nustatyti didesnę pridėtinę vertę turinčio produkto, pagaminto iš NNP (≤ 8 mm gumos granuliu), panaudojimo galimybes ir jo naudojimo poveikį aplinkai, taikant būvio ciklo įvertinimo požiūrį.

Funkcija – nutiestas kelias (produktas).

Funkcinis vienetas – 8 m pločio 1 km ilgio kelio dangą per visą jo gyvavimo trukmę.

Etaloninis srautas – standartinio (8 m pločio 1 km ilgio) kelio dangą per 18 metų gyvavimo trukmę ir guma modifikuoto bitumo (8 m pločio 1 km ilgio) kelio dangą per 20 metų gyvavimo trukmę.

Tyrimui nustatyta produkto sistema ir jos ribos pateiktos 21-mame paveiksle.



21 pav. BCĮ sistemos ribos [45]

Laiko ir geografinės ribos: atliekant BCĮ buvo daroma prielaida, jog tiek NNP surinkimas, tiek jų perdirbimas, tiek kelio dangos gamyba bei tiesimas bus vykdomi Lietuvoje. Laikas svarbios įtakos tyrimui neturi.

Prielaidos ir apribojimai: detalesniam analizuojamo produkto BCĮ atlikti, į tyrimą buvo įtraukti duomenys apie skirtingų kelio dangų gyvavimo trukmę ir jų priežiūrą [38, 45]. Buvo daroma tokia prielaida:

- ✓ standartinės kelio dangos gyvavimo trukmė – 18 metų, o priežiūra tokiam keliui atliekama 1 kartą per 5 metus.
- ✓ guma modifikuoto bitumo kelio dangos gyvavimo trukmė – 20 metų, priežiūros dažnumas – 1 kartas per 7 metus.

Inventorinė analizė

Šio tyrimo duomenų inventorius pateikiamas 34-oje lentelėje.

35 lentelė. Analizuoto scenarijaus BCĮ inventorius

Duomenų rinkinys	Kiekis	Matavimo vienetai
1	2	3
<i>Surenkamos NNP</i>	1	t
Transportas, krovininis, sunkvežimiai 7.5-16 metrinės tonos, EURO5 {RER}	30	tkm
Dyzelinas, degimas pramoninėse mašinose {GLO} rinka	28,2	MJ
<i>I perdirbimą transportuojamos NNP</i>	1	t
Transportas, krovininis, sunkvežimiai 16-32 metrinės tonos, EURO5 {RER}	180	tkm
<i>Gumos granulės iš 1 t NNP</i>	641,8	kg
Išvengtas produktas: plienas, nelydytas {RER} plieno produktas	320,7	kg
Išvengtas produktas: tekstilės pluoštas {GLO} tekstilės produktas	35,9	kg
<i>NNP smulkinimas</i>	1	t
Polipropilenas, granulės {RER} produktas	1,667	kg
Pakavimo plėvelė, žemo tankio polietilenas {RER} produktas	0,185	kg
Tepimo alyva {RER} produktas	0,04	kg
Polimerų gamyba {RER} produktas	0,185	kg
Plienas, nelydytas {RER} plieno produktas	0,03	kg
Karštas valcavimas, plienas {RER} procesas	0,03	kg
Lakštų valcavimas, plienas {RER} procesas	0,03	kg
Elektros energija, vidutinis voltažas {LTU} rinka	172,9375	kWh
Dyzelinas, degimas pramoninėse mašinose {GLO} rinka	141	MJ
<i>Guma modifikuota kelio dangą</i>	1	m ²
Natūralus užpildas (žvyras)	79,65	kg
Bitumo klijų mišinys, karštas {RER} produktas	2,41	kg
Gumos granulės	0,43	kg
Dyzelinas, degimas pramoninėse mašinose {GLO} rinka	2,09	MJ
Transportas, krovininis, sunkvežimiai 16-32 metrinės tonos, EURO5 {RER}	8,249	tkm
<i>Išvengtas produktas: standartinė kelio dangą</i>	1	m ²
Natūralus užpildas (žvyras)	104,1	kg
Bitumo klijų mišinys, karštas {RER} produktas	2,54	kg
Dyzelinas, degimas pramoninėse mašinose {GLO} rinka	2,7	MJ
Transportas, krovininis, sunkvežimiai 16-32 metrinės tonos, EURO5 {RER}	10,664	tkm

Poveikio įvertinimas

22 paveiksle pateikti BCĮ metu SimaPro programine įranga gauti analizuojamojo funkcinio vieneto srautų diagramos rezultatai. Originali BCĮ srautų diagrama pateikta 4-ame priede.

Rezultatų interpretavimas

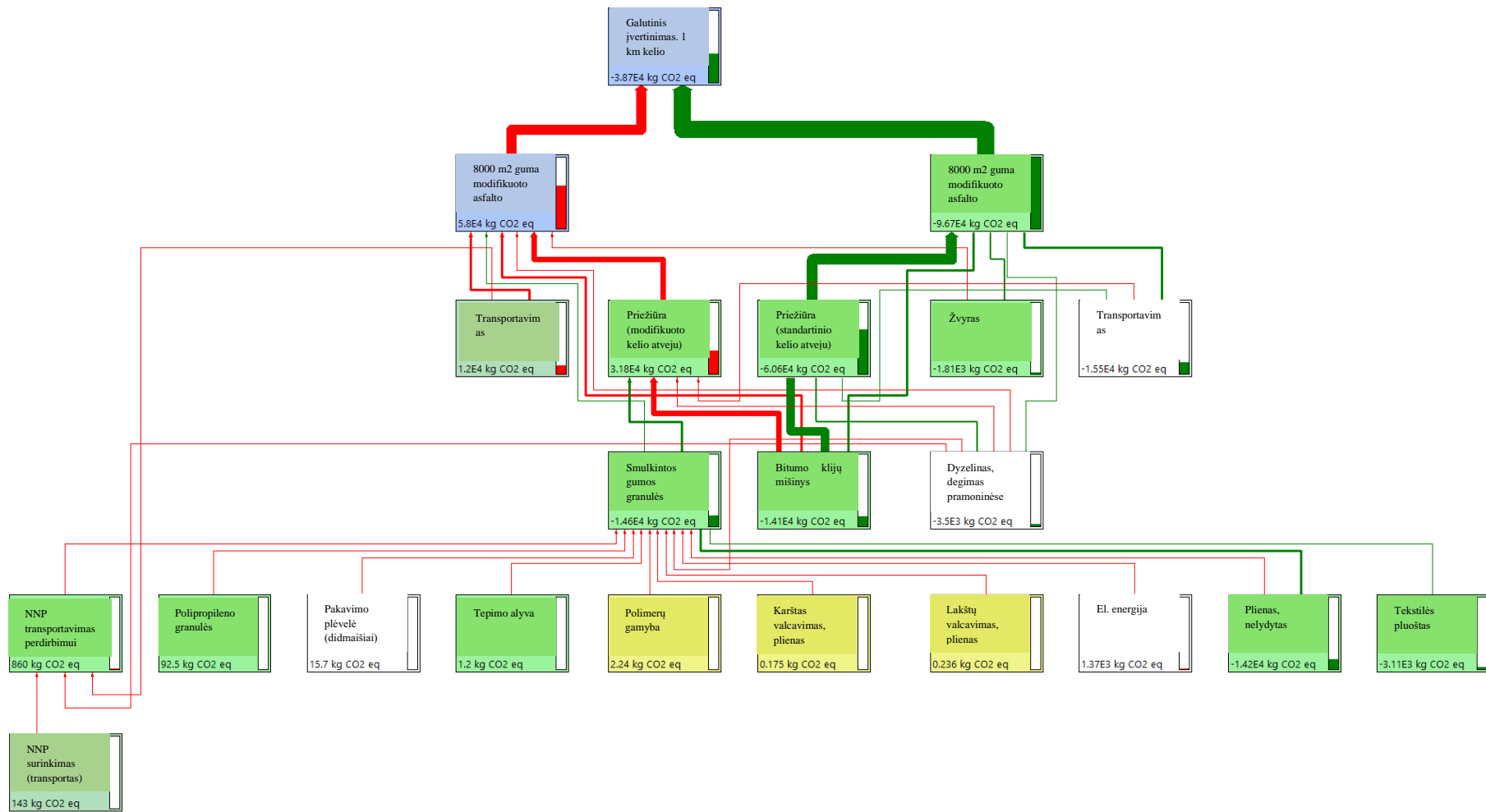
Remiantis gautais BCĮ rezultatais (žr. 22 pav.) matoma, jog per visą nagrinėjamo funkcinio vieneto būvio ciklą, mažesnis aplinkosauginis poveikis yra daromas kelio su guma modifikuotu asfaltu. Toks vieno km 8 m pločio kelias per visą būvio ciklą leidžia išvengti iki 38 700 kg CO_{2e} susidarymo, t.y. iki 40 % nuo standartinio kelio per visą jo būvio ciklą sukuriama CO₂ kiekio.

Išsamiau analizuojant BCĮ srautų diagramos rezultatus matoma, jog abiejų kelių (t.y. guma modifikuoto ir standartinio kelio) atvejais didžiausią neigiamą aplinkosauginį poveikį turėjo „kelio dangos priežiūros“ procesas. Būtina paminėti tai, kad beveik 50 % mažesnis neigiamas poveikis šio proceso metu teko keliui, su guma modifikuoto asfalto dangą. Taip pat vienas iš didesnių poveikių

turėjusių procesų – transportas (apie 28 500 kg CO₂ per visą analizuojamo produkto būvio ciklą). Lyginant transporto daromą neigiamą poveikį aplinkai, matoma, jog guma modifikuoto asfalto kelio atveju beveik iki 23 % aplinkosauginis poveikis yra mažesnis. Akivaizdu, kad kuo mažesnis bus aptarnaujančiojo sunkiasvorio transporto judėjimas per analizuojamojo funkcinio vieneto būvio ciklą, tuo mažesnis bus sukuriamas neigiamas poveikis aplinkai. Kitas diagramoje reikšmingas srautas – bitumas. Kadangi pats bitumas yra toksiška medžiaga, o jo gamyba itin prisideda prie neigiamos įtakos aplinkai sukūrimo, analizuojamo būvio ciklo atveju, aplinkosauginiu požiūriu kelių tiesimui geriau yra naudoti mažiau bitumo reikalaujantį guma modifikuotą asfaltą.

Analizuojant smulkintos gumos aplinkosauginę įtaką matoma, jog funkcinio vieneto būvio cikle smulkintai gumai tenka iki 14 600 kg CO_{2e}. Perdirbamų NNP atveju prie aplinkosauginės įtakos gerinimo ženkliai prisideda išvengiamų medžiagų – plieno ir tekstilės – srautai (atitinkamai atsiranda 14 200 kg CO_{2e} ir 3 110 kg CO_{2e} sumažėjimai).

Panašus tyrimas 2021 metais buvo atliktas Italijos mokslininkų [45], kurie savo darbe analizavo NNP perdirbimą, ir atgautosios gumos panaudojimą kelių tiesimui. Vertindami produkto būvio ciklą jie taip pat lygino standartinio kelio tiesimą su guma modifikuoto asfalto kelio tiesimu. Tiesa, funkcinio vienetu buvo laikoma 1 t NNP.



22 pav. Analizuojamo scenarijaus BCĮ srautų diagrama

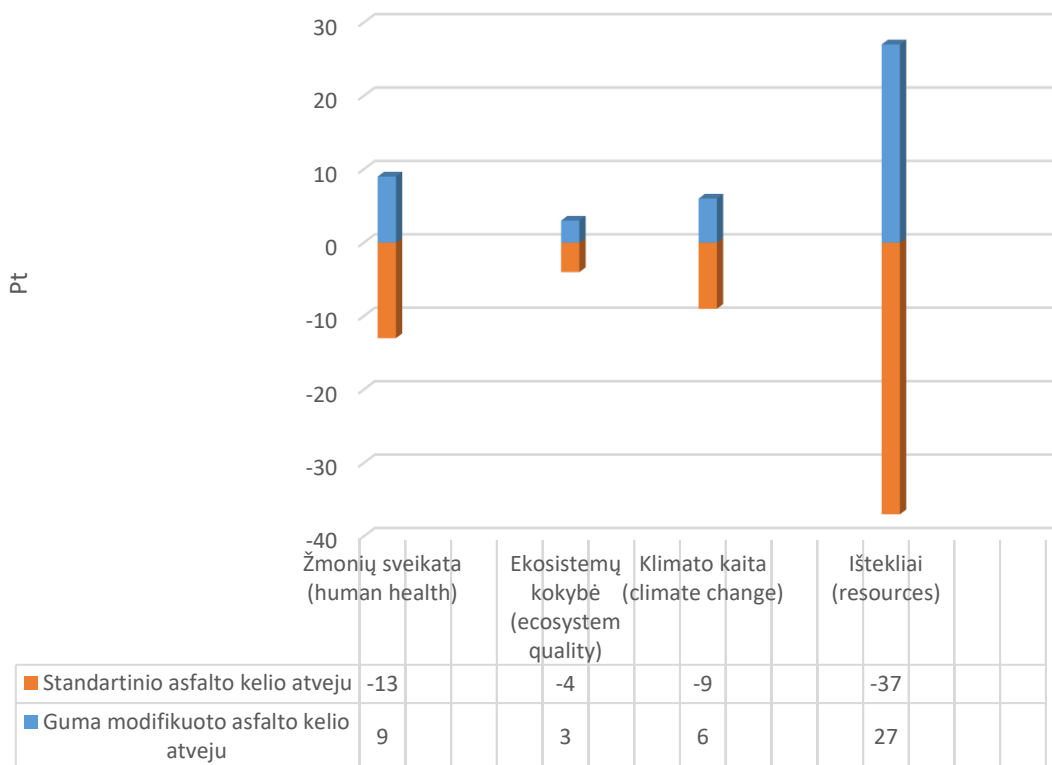
Lyginant šiame darbe gautuosius BCĮ rezultatus su minėtos publikacijos [45] rezultatais, matoma, kad smulkintos gumos naudojimas asfalto dangos sluoksnyje taip pat leidžia sumažinti pirminių žaliavų naudojimą, o tuo pačiu sumažinti daromą neigiamą poveikį aplinkai. Pateikti minėto tyrimo rezultatai rodo, jog guma modifikuoto asfalto kelio atveju, lyginant su standartiniu keliu, CO₂ emisijos turėtų sumažėti apie 32,3 % (šio tyrimo atveju – iki 40 %). Analizuojamas mokslinis tyrimas taip pat parodo, jog didžiausią aplinkosauginį poveikį turėjo „kelio dangos priežiūros“ procesas, taip pat „transporto“ procesas. Visgi lyginant šiame tyrime gautus rezultatus su mokslininkų rezultatais, yra gaunamas tam tikras rezultatų išsiskyrimas (pvz., transporto proceso sukuriama neigiamas poveikio aplinkai įvertinimas skiriasi iki 2 kartų, bendri CO₂ sutaupymai skiriasi daugiau nei 7 %).

Kai kurių interpretuojamų rezultatų išsiskyrimas yra gaunamas dėl to, kad analizuojamame moksliniame darbe BCĮ metu nedaroma prielaida ir neatsižvelgiama į skirtingas produktų gyvavimo trukmes. Tiek šiame darbe, tiek analizuojamame moksliniame straipsnyje, akivaizdžią neigiamą aplinkosauginę įtaką turi bitumas.

Nepaisant abiejų lyginamų tyrimų rezultatų skirtumų, yra gaunami panašūs esminiai rezultatai, parodantys, jog guma modifikuoto kelio danga per visą būvio ciklą daro iki kelių kartų mažesnę neigiamą poveikį aplinkai lyginant su standartine kelio danga.

Atlikto BCĮ rezultatai išsamiau interpretuojami SimaPro programinėje įrangoje pasirinkus IMPACT 2002+ metodą.

Rezultatai pateikiami 23 paveiksle.



23 pav. BCĮ rezultatų interpretavimas naudojant ILCD 2011+ metodą

Akivaizdžiausias rezultatų pokytis yra pastebimas išteklių kategorijoje. Guma modifikuoto asfalto kelio atveju gaunamas 27 % mažesnis rezultatas lyginant su standartinio asfalto kelio atveju. Kaip

jau minėta anksčiau, tai lemia mažesnis išteklių, tokių kaip natūralaus užpildo (žvyro), bitumo naudojimas. Didelę įtaką šioje kategorijoje turi kancerogeniškas ir pavojinga bitumo medžiaga. Bitumo naudojimas asfalte lemia didžiąją dalį šių rezultatų, natūralaus užpildo (pvz., žvyro) naudojimas didesnės įtakos neturi. Taip yra dėl skirtingos šių produktų gamybos/išgavimo [38]. Pvz., norint išgauti 1 t natūralaus užpildo (žvyro) yra sunaudojama 5,3 kWh el. energijos, 2,3 m³ vandens, 0,005 ltr. alyvos, 0,031 ltr. dyzelino ir kt. Tuo tarpu pagaminti 1 t bitumo yra sunaudojama 22,5 kg gamtinių dujų, 50,5 kg žaliavinės naftos, 10,9 kg anglies, 0,003 kg urano ir 1,24 m³ vandens. Taip pat svarbu paminėti, kad tam tikra dalimi prie rezultatų išteklių kategorijoje prisideda ir pačių NNP perdirbimas.

Ženklus pokytis (iki 30 % sumažėjimas) pastebimas žmonių sveikatos kategorijoje. Galima daryti prielaidą, jog taip yra dėl mažesnio bitumo sunaudojimo (mažesnis toksiškos medžiagos sunaudojimas), taip pat dėl mažesnių CO₂ emisijų į aplinkos orą transporto srityje. Ekosistemų kategorijoje teigiamas pokytis (sumažėjimas iki 25 %) guma modifikuoto asfalto kelio atveju turėtų būti stebimas dėl daugelio dalykų, tokių kaip mažesnis neigiamas poveikis transporto bei kelių priežiūros srityse, gamtinių išteklių srityje. Galiausiai, ekosistemų kategorijoje teigiamas aplinkosauginis pokytis taip pat turėtų būti pastebimas ir dėl pačių NNP perdirbimo ir atgautųjų medžiagų pakartotinio panaudojimo. Pokytis klimato kaitos kategorijoje yra susijęs su teigiamais aplinkosauginiais pokyčiais daugelyje sričių, kurios apima mažesnę kenksmingų medžiagų, iškastinio kuro, energetinių išteklių ir kitų išteklių naudojimą. Apibendrinant, matoma, jog visose kategorijose guma modifikuoto asfalto kelias per visą būvio ciklą daro mažesnę neigiamą poveikį aplinkai, tuo pačiu ir žmonėms, lyginant su standartinio asfalto keliu.

4. Rekomendacijos NNP perdirbimo ir perdirbtos antrinės žaliavos panaudojimo procesams

Siekiant sumažinti mechaninių NNP perdirbimo procesų energetinį intensyvumą ir tuo pačiu – ŠESD, rekomenduojama:

- Technologinės linijos pradžioje (R12 dalyje) kuo tinkamiau paruošti NNP jų tolimesniam perdirbimui. Iki tinkamo dydžio (50 – 200 mm) susmulkintos NNP nulemia našumo padidėjimą ir elektros energijos sąnaudų sumažėjimą tolimesniuose padangų apdirbimo procesuose (R3 dalyje). Tuo tikslu R12 dalyje būtina diegti, tinkamą smulkinimą užtikrinančią, reikiamų charakteristikų pirminį dviašį ar daugiaašį šrederį.
- Trečiosios alternatyvos įvykdymo rezultatų analizė parodė, jog taikant inovatyvią aukšto slėgio vandens srovės (angl. *Water Jet*) technologiją, galima išgauti didelės pridėtinės vertės produktą (apie 800 µm dydžio, >55 % devulkanizuotus gumos miltus), be kita ko dalinai padidinti proceso energetinį efektyvumą. Tačiau dėl siūlomos technologijos naujumo, šis perdirbimo metodas daugiausiai vis dar yra bandymų stadijoje, todėl ateityje, esant išsamesniems technologijos rezultatams, rekomenduojama atlikti pakartotinį šios inovacijos techninį, aplinkosauginį ir ekonominį įvertinimą, ypatingą dėmesį skiriant energijos ir vandens sąnaudoms.
- Taip pat siūloma planuoti vienu metu perdirbti kuo didesnius NNP kiekius, kadangi technologinės įrangos sustabdymas ir pakartotinis jos paleidimas didina elektros energijos sąnaudas.
- Mechaninio NNP smulkinimo procesų metu šalia mechaniškai intensyviausių procesų (šrederyje, smulkintuve, malūne) išsiskiria tam tikras šilumos kiekis; su tikslu apsaugoti gumą nuo oksidacijos, rekomenduojama įdiegti aušinimo sistemą (pvz. vandens pagrindu). Gautasis šiltas vanduo galėtų būti panaudojamas patalpų apšiltinimui ir karšto vandens paruošimui.

Rekomendacijos iš NNP perdirbtos antrinės žaliavos panaudojimui:

- Siekiant gauti dar tikslesnius NNP perdirbimo metu atgautosios gumos panaudojimo kelių tiesimo pramonėje BCĮ rezultatus, būtina bendraujant su kelių tiesimo technologais nustatyti tinkamą gumos naudojimo koeficientą Lietuvos sąlygomis (t.y. patikslinti naudotą šiame darbe koeficientą, kuris pagristas literatūros analizės rezultatais) ir pakartotinai atlikti būvio ciklo įvertinimą.
- Kadangi naudojant aukšto slėgio vandens srovės technologijos įdiegimo metu būtų išgaunama smulki (apie 0,8 mm), didelio grynumo (iki 98 %) ir devulkanizuota (> 55 % devulkanizacijos laipsnis) guma, būtina įvertinti šios išgaunamos antrinės žaliavos, žaliaviniam kaučiukui analogiškos medžiagos, panaudojimo potencialą naujų padangų bei aukštos kokybės gaminių gamyboje.

Išvados

1. Lietuvoje 2019 m. susidarė apie 28,3 tūkst. t naudoti nebetinkamų padangų (NNP), iš kurių 32,5 % buvo eksportuotos, 13,2 % panaudotos deginimui, 17 % apdorotos, o 33,8 % perdirbtos, atgaunant vertingusias medžiagas. Atsižvelgiant į taikomus teisinius reikalavimus ir žiedinės ekonomikos principus šio tipo atliekos sąvartynuose šalinamos nebuvo. Naudotų padangų tvarkymą reguliuoja tokios pagrindinės reglamentavimo sistemos: sąvartynų direktyva 1999/31/EB, Europos atliekų direktyva 2008/98/EB, išplėstinė gamintojo atsakomybė (taikoma ir Lietuvoje), laisvosios rinkos sistema, mokestinė sistema.

2. Remiantis praktine ir moksline literatūra, NNP perdirbimui ES ir Lietuvoje dažniausiai taikomi šie metodai: mechaninis smulkinimas, šlifavimas (aplinkos temperatūroje, šlapiaisiais, kriogeninis, ozono krekingo būdu, elastingos deformacijos būdu, plokščiosios formos granuliavimas), kriogeninis smulkinimas, padangų gumos devulkanizacija. Taip pat efektyvesniam padangų perdirbimui yra tyrinėjamos naujos technologijos: aukšto slėgio vandens srovės, greitai besisukančio frezavimo, patobulinto valcavimo.

3. Nustatyta, kad analizuojamame objekte – UAB „Torgita“ – mechaniniu būdu gali būti perdirbama iki 10 tūkst. t/m. NNP; faktiškai 2020 m. buvo perdirbta iki 2,27 tūkst. t/m. ir pagaminta 1,28 tūkst. t iki ≤ 30 mm smulkintos gumos (56,4 % nuo NNP), išskirta 911 t metalo (40,1 % nuo NNP), susidarė iki 80 t atliekų (gumos/tekstilės, sąšlavų ir kt.). Identifikuotos pagrindinės problemos: labai didelės elektros sąnaudos – iki 278,8 kWh/t gaminamos gumos arba iki 157 kWh/t perdirbamų NNP, o su tuo susijusios ŠESD – 117,1 kgCO_{2e}/t gaminamos produkcijos; naudojant esamą technologiją gaminama produkcija nėra pakankamai smulki ir turi didelę dalį priemaišų, todėl nepasižymi didele paklausa ES šalyse.

4. UAB „Torgita“ efektyviam NNP perdirbimui ir poveikio aplinkai mažinimui darbe įvertinti ir pasiūlyti diegimui šie projektai:

- *esamos technologinės linijos optimizavimas*, iš technologinės linijos pašalinus neefektyviai veikiančius įrenginius ir linijos pradžioje įdiegus papildomą pirminį dviašį šrederį, elektros energijos sąnaudos sumažėja 27,7 % (iki 201,7 kWh/t gaminamos gumos arba iki 113,7 kWh/t perdirbamų NNP); atitinkamai ŠESD – iki 84,7 kgCO_{2e}/t ir 47,8 kgCO_{2e}/t. Per metus būtų sutaupoma iki 33,3 tūkst. Eur.
- *technologinės linijos modernizavimas* (nuo NNP bortinio žiedo išėmimo, protektorių drožimo ir pjovimo įrangos modernizavimo iki papildomo sieto įrengimo) leistų pagaminti didesnės pridėtinės vertės produktą (iki 64 % nuo NNP masės) – su mažesniu gumos srauto užterštumu metalu ir tekstile bei didesniu susmulkinimu (iki ≤ 8 mm frakcija) bei 3 – 4 % mažesnėmis energijos sąnaudomis. Projekto investicijų (354 tūkst. Eur) atsipirkimo trukmė – 2,2 metai.
- *perdirbimo technologijos pakeitimas* į NNP smulkinimą aukšto slėgio vandens srove leistų gaminti smulkintą gumą iki 0,8 mm su mažiausiu užterštumu. Tokiu būdu 96 % NNP taptų labai aukštos kokybės antrine žaliava (guma, metalas), o tai nedidintų elektros sąnaudų ir poveikio aplinkai gamybos metu. Inovacijos investicijos (521 tūkst. Eur) atsipirktų per 2,7 metų.

5. Naudojant SimaPro programą, darbe atliktas būvio ciklo vertinimas, analizuojant galimybę gaminti ≤ 8 mm gumą ir ją naudoti kelių tiesimo reikmėms. Analizės rezultatai parodė, kad lyginant su standartiniu keliu, iš guma modifikuoto asfalto (su apyt. 18 % gumos pagal bitumą) pagamintas

kilometro kelio ruožas per visą būvio ciklą sukuriama neigiamą aplinkosauginį poveikį sumažina iki 40 % arba 38,7 t CO_{2e}. Tokiu būdu iš NNP atgautųjų vertę turinčių antrinių žaliavų pakartotinis panaudojimas prisideda prie žiedinės ekonomikos principų įgyvendinimo.

6. Magistro baigiamajame darbe pateikiamos rekomendacijos NNP perdirbimui ir perdirbtos antrinės žaliavos panaudojimui Lietuvoje. Sėkmingai įgyvendinti projektai ženkliai prisidėtų prie žiedinės ekonomikos principų įgyvendinimo perdirbant NNP: gaminant didesnės pridėtinės vertės produkciją ir ją efektyviau panaudojant, mažinant arba nedidinant neigiamą poveikį aplinkai.

Literatūros sąrašas

1. BAGDONAS, Audrius ir kt. (2004). Integruota atliekų vadyba: mokomoji knyga (p. 367). *Technologija*, 223-227 p.
2. PANAGIOTIS Grammelis, Nikolaos Margaritis, Petros Dallas, Dimitrios Rakopoulos and Georgios Mavrias. (2021). A Review on Management of End of Life Tires (ELTs) and Alternative Uses of Textile Fibers. *Energies* (Basel), 14(3), 571 [žiūrėta: 2022 m. gegužės 21 d.]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.3390/en14030571>
3. Europos padangų ir gumos gamintojų asociacijos (ETRMA) metinis pranešimas „Naudoti nebetinkamų padangų valdymas Europoje 2018 m.“ [interaktyvus] [žiūrėta: 2021 m. lapkričio 4 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.etrma.org/wp-content/uploads/2020/09/Copy-of-ELT-Data-2018-002.pdf>
4. Europos padangų ir gumos gamintojų asociacijos (ETRMA) metinis pranešimas „Naudoti nebetinkamų padangų valdymas Europoje 2019 m.“ [interaktyvus] [žiūrėta: 2021 m. lapkričio 5 d.]. Prieiga per internetą: https://www.etrma.org/wp-content/uploads/2021/05/20210520_ETRMA_PRESS-RELEASE_ELT-2019.pdf
5. SKORUPSKAITĖ, Karolina (2017). Atliekų tvarkymo politikos formavimas Lietuvoje taikant žiedinės ekonomikos modelį: baigiamasis magistro projektas, Kaunas [žiūrėta: 2021 m. lapkričio 7 d.]. Prieiga per internetą: <https://talpykla.elaba.lt/elaba-fedora/objects/elaba:19946070/datastreams/MAIN/content>
6. Extended Producer Responsibility in Sweden. (2020) [interaktyvus] [žiūrėta: 2021 m. lapkričio 7 d.]. Prieiga per internetą: <http://naturvardsverket.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1559368&dswid=6889>
7. WINTERNITZ, Kim; Heggie, Mark; Baird, Jim (2019). Extended producer responsibility for waste tyres in the EU: Lessons learnt from three case studies – Belgium, Italy and the Netherlands [žiūrėta: 2021 m. lapkričio 6 d.]. Prieiga per internetą: <https://core.ac.uk/download/pdf/293887019.pdf>
8. Europos padangų ir gumos gamintojų asociacijos (ETRMA) ataskaita „Naudoti nebetinkamos padangos 2015 m.“ [interaktyvus] [žiūrėta: 2021 m. lapkričio 6 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.etrma.org/wp-content/uploads/2019/09/elt-report-v9a-final.pdf>
9. The waste hierarchy. Recycler of end-of-life tyres [interaktyvus] [žiūrėta: 2021 m. lapkričio 7 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.genan.eu/sustainability/climate/>
10. NADAL, M., Rovira, J., Díaz-Ferrero, J., Schuhmacher, M., and Domingo, J. L. 2016. Human exposure to environmental pollutants after a tire landfill fire in Spain: Health risks. *Environment International*, 97, 37–44 [žiūrėta: 2021 m. lapkričio 7 d.]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.10.016>
11. SASIKUMAR, P., Kannan, G., and Haq, A. N. (2010). A multi-echelon reverse logistics network design for product recovery—a case of truck tire remanufacturing. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 49(9-12), 1223–1234 [žiūrėta: 2021 m. lapkričio 7 d.]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1007/s00170-009-2470-4>
12. RAMOS, G., Alguacil, F. J., and Lopez, F. A. (2011). The recycling of end-of-life tyres. *Technological review. Revista de Metalurgia* (Madrid), 47(3), 273–284 [žiūrėta: 2021 m. lapkričio 7 d.]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.3989/revmetalm.1052>
13. ORTÍZ-RODRÍGUEZ, O., Ocampo-Duque, W., and Duque-Salazar, L. (2017). Environmental Impact of End-of-Life Tires: Life Cycle Assessment Comparison of Three Scenarios from a

- Case Study in Valle Del Cauca, Colombia. *Energies* (Basel), 10(12), 2117 [žiūrėta: 2021 m. lapkričio 7 d.]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.3390/en10122117>
14. QIANG, W., Li, J., Yunlong, W., Guotian, W., and peng, Z. (2021). Life Cycle Energy Analysis and Evaluation of Retreaded Engineering Tires. *E3S Web of Conferences*, 271, 2012 [žiūrėta: 2021 m. lapkričio 7 d.]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127102012>
 15. MALIJONYTĖ, Vaida, Dace, Elina, Romagnoli, Francesco, Kliopova, Irina, and Gedrovics, Martins. (2016). A comparative life cycle assessment of energy recovery from end-of-life tires and selected solid waste. *Energy Procedia : International Scientific Conference “Environmental and Climate Technologies”, CONECT 2015, 14-16 October 2015, Riga, Latvia*, 95, 257–264 [žiūrėta: 2021 m. lapkričio 8 d.]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.09.064>
 16. Eco green – ambient vs. Cryogenic rubber grinding [interaktyvus] [žiūrėta: 2021 m. lapkričio 10 d.]. Prieiga per internetą: <https://ecogreenequipment.com/ambient-vs-cryogenic-rubber-grinding/>
 17. Genan – environmentally friendly end-of-life tyre recycling [interaktyvus] [žiūrėta: 2021 m. lapkričio 10 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.genan.eu/about/technology/>
 18. Medžiagos, gautos iš naudotų padangų. Kokybės kriterijai nuimtoms padangoms, kurios bus naudojamos kitais tikslais ir perdirbamos, atrinkti (2020–12–15. ed., p. 15). (2020). Lietuvos standartizacijos departamentas [interaktyvus] [žiūrėta: 2021 m. lapkričio 10 d.]. Prieiga per internetą: https://view.elaba.lt/standartai/view?search_from=primo&id=1379636
 19. Tire mixture. Continental [interaktyvus] [žiūrėta: 2021 m. lapkričio 10 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.continental-tires.com/car/tire-knowledge/tire-basics/tire-mixture>
 20. Tire rubber recycling with high performance ultrasound. Hielscher ultrasound technology [interaktyvus] [žiūrėta: 2021 m. lapkričio 10 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.hielscher.com/tire-rubber-recycling-with-high-performance-ultrasound.htm>
 21. DOBROTĀ, D. (n.d.). Vulcanization of Rubber Conveyor Belts with Metallic Insertion Using Ultrasounds. *Annals of DAAAM and Proceedings*, 25(1), 1160–1167 [žiūrėta: 2021 m. lapkričio 10 d.]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.01.479>
 22. Introduction to end-of-life rubber devulcanization. Weibold Academy [interaktyvus] [žiūrėta: 2021 m. lapkričio 10 d.]. Prieiga per internetą: <https://weibold.com/introduction-to-end-of-life-rubber-devulcanization>
 23. FUKUMORI, K. (2002). Recycling technology of tire rubber. *JSAE Review*, 23(2), 259–265 [žiūrėta: 2021 m. lapkričio 10 d.]. Prieiga per internetą: [https://doi.org/10.1016/S0389-4304\(02\)00173-X](https://doi.org/10.1016/S0389-4304(02)00173-X)
 24. SIENKIEWICZ M. (2012). Progress in used tyres management in the European Union: a review. In *Waste management* (New York, N.Y.) (Vol. 32, Issue 10) [žiūrėta: 2021 m. lapkričio 10 d.] <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.05.010>
 25. ADHIKARI, Jaideep et al. (2018). Grinding of waste rubber in *Rubber Recycling: Challenges and Developments*, 2018, pp. 1-23 DOI: 10.1039/9781788013482-00001 eISBN: 978-1-78801-348-2 [žiūrėta: 2021 m. lapkričio 13 d.]. Prieiga per internetą: <https://pubs.rsc.org/en/content/chapterhtml/2018/bk9781788010849-00001?isbn=978-1-78801-084-9>

26. HOLKA, H. (2017). Recycling of Car Tires by Means of Waterjet Technologies. AIP Conference Proceedings, 1822(1), 1–10 [žiūrėta: 2021 m. lapkričio 13 d.]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1063/1.4977682>
27. HOLKA, H. (2018). Selected structural issues of the waterjet method in industrial recycling of tires. Engineering mechanics 2018 Conference Proceedings [žiūrėta: 2021 m. lapkričio 13 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.engmech.cz/improc/2018/305.pdf>
28. HOLKA, H. (2016). Analysis of innovative methods for car tire comminution. Engineering mechanics 2016 Conference Proceedings [žiūrėta: 2021 m. lapkričio 13 d.]. Prieiga per internetą: https://www.engmech.cz/improc/2016/045bo_o_dyn.pdf
29. United Nations Environment Programme „Compendium of Technologies for the Recovery of Materials/Energy from End of Life (EoL) Tyres“ Final Report 2016. International Environmental Technology Centre [interaktyvus] [žiūrėta: 2021 m. lapkričio 13 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.unep.org/ietc/resources/report/compendium-technologies-recovery-materials-energy-end-life-eol-tyres>
30. GRAMMELIS, P. (2021). A Review on Management of End of Life Tires (ELTs) and Alternative Uses of Textile Fibers. Energies (19961073), 14(3), 571–572 [žiūrėta: 2021 m. lapkričio 13 d.]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.3390/en14030571>
31. LR AM užsakyta studija „Padangų atliekų panaudojimo statybos ir kitų produktų gamyboje, statyboje ar kitose veiklose studija“. Galutinė ataskaita 2021 [interaktyvus] [žiūrėta: 2021 m. lapkričio 13 d.]. Prieiga per internetą: https://drive.google.com/file/d/1wDCd6KnWiWS1nW8nq1X1jYzCeH5K_0e9/view
32. STANIŠKIS, Jurgis Kazimieras, Kliopova, Irina, and Stasiškienė, Žaneta, 2002. Švaresnė gamyba: sisteminis požiūris : monografija, Kaunas: Technologija. psl. 40
33. STANIŠKIS, Jurgis Kazimieras, Kliopova, Irina, and Stasiškienė, Žaneta. (2004). Subalansuotos pramonės plėtros strategija: teorija ir praktika: monografija (p. 504). Technologija.
34. CLIFT, and DRUCKMAN, A. (2016). Taking Stock of Industrial Ecology (1st ed. 2016., p. XXI). Springer International Publishing : Imprint: Springer [žiūrėta: 2022 m. gegužės 20 d.]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-20571-7>
35. Aplinkos apsaugos vadyba. Gyvavimo ciklo vertinimas. Principai ir sandara.(ISO 14040:2006) (2007-01-16.; Lietuviška versija: 2008-01-31., p. 22). (2008). Lietuvos standartizacijos departamentas.
36. DOBROTĀ, DOBROTĀ, G., Dobrescu, T., and Mohora, C. (2019). The Redesigning of Tires and the Recycling Process to Maintain an Efficient Circular Economy. Sustainability (Basel, Switzerland), 11(19), 5204 [žiūrėta: 2021 m. gruodžio 19 d.]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.3390/su11195204>
37. HU, KANG, Y., Wang, X.-C., Li, X.-H., Long, X.-P., Zhai, G.-Y., and Huang, M. (2014). Mechanism and experimental investigation of ultra high pressure water jet on rubber cutting. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 15(9), 1973–1978. [žiūrėta: 2022 m. gegužės 20 d.]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1007/s12541-014-0553-0>
38. FARINA, Zanetti, M. C., Santagata, E., and Blengini, G. A. (2017). Life cycle assessment applied to bituminous mixtures containing recycled materials: Crumb rubber and reclaimed asphalt pavement. Resources, Conservation and Recycling, 117, 204–212 [žiūrėta: 2022 m. gegužės 21 d.]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.10.015>

39. YANG, YOU, Z., Hasan, M. R. M., Diab, A., Shao, H., Chen, S., and Ge, D. (2017). Environmental and mechanical performance of crumb rubber modified warm mix asphalt using Evotherm. *Journal of Cleaner Production*, 159, 346–358 [žiūrėta: 2022 m. gegužės 21 d.]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.168>
40. GHABCHI, ARSHADI, A., Zaman, M., and March, F. (2021). Technical Challenges of Utilizing Ground Tire Rubber in Asphalt Pavements in the United States. *Materials*, 14(16), 4482 [žiūrėta: 2022 m. gegužės 21 d.]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.3390/ma14164482>
41. MAKOUNDOU, Johansson, K., Wallqvist, V., and Sangiorgi, C. (2021). Functionalization of Crumb Rubber Surface for the Incorporation into Asphalt Layers of Reduced Stiffness: An Overview of Existing Treatment Approaches. *Reaction Chemistry and Engineering*, 6(1), 19 [žiūrėta: 2022 m. gegužės 21 d.]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.3390/recycling6010019>
42. MAKOUNDOU, Sangiorgi, C., Johansson, K., and Wallqvist, V. (2021). Development of Functional Rubber-Based Impact-Absorbing Pavements for Cyclist and Pedestrian Injury Reduction. *Sustainability (Basel, Switzerland)*, 13(20), 11283 [žiūrėta: 2022 m. gegužės 21 d.]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.3390/su132011283>
43. WILLIAM G. Buttlar, Punyaslok Rath, Ph.D et al (2021). State of knowledge report on rubber modified asphalt. Final report. Department of Civil and Environmental Engineering University of Missouri-Columbia [žiūrėta: 2022 m. gegužės 21 d.]. Prieiga per internetą: https://www.ustires.org/sites/default/files/2021-06/Rubber-Modified-Asphalt_5-27-2021-FINAL.pdf
44. FIORE, Caro, S., D'Andrea, A., and Scarsella, M. (2017). Evaluation of bitumen modification with crumb rubber obtained through a high pressure water jet (HPWJ) process. *Construction and Building Materials*, 151, 682–691 [žiūrėta: 2022 m. gegužės 21 d.]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.06.100>
45. DEBORAH PANEPINTO, and Mariachiara Zanetti. (2021). End-of-Life Tyres: Comparative Life Cycle Assessment of Treatment Scenarios. *Applied Sciences*, 11(8), 3599 [žiūrėta: 2022 m. gegužės 21 d.]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.3390/app11083599>
46. KRISTIN Johansson „Life cycle assessment of two end-of-life tyre applications: artificial turfs and asphalt rubber“ (2018). Ragn-Sells Däckåtervinning AB [žiūrėta: 2022 m. gegužės 21 d.]. Prieiga per internetą: https://www.ragnsellstyrecycling.com/globalassets/tyre-company/dokument/lca-konstgrasplaner-gummiasfalt-version-1.4_2018_rs.pdf
47. SIENKIEWICZ, Borzędowska-Labuda, K., Zalewski, S., and Janik, H. (2017). The effect of tyre rubber grinding method on the rubber-asphalt binder properties. *Construction and Building Materials*, 154, 144–154 [žiūrėta: 2022 m. gegužės 21 d.]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.170>
48. GAMBOA, Ruiz, P. A. C., Kaloush, K. E., and Linares, J. P. L. (2021). Life cycle assessment including traffic noise: conventional vs. rubberized asphalt. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 26(12), 2375–2390 [žiūrėta: 2022 m. gegužės 21 d.]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1007/s11367-021-01992-0>
49. LR atliekų tvarkymo įstatymas 1998 m. birželio 16 d. Nr. VIII-787 (konsoliduota versija: 2021-11-01 – 2021-12-31) [interaktyvus] [žiūrėta: 2021 m. lapkričio 3 d.]. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.59267/asr>

50. Aplinkos apsaugos agentūros pateikiama naudoti nebetinkamų padangų apskaita 2019 m. [interaktyvus] [žiūrėta: 2021 m. lapkričio 6 d.]. Prieiga per internetą: <https://aaa.lrv.lt/lt/veiklos-sritys/atliekos/atlieku-apskaita/atlieku-apskaitos-duomenys/naudoti-nebetinkamu-padangu-atliekos>
51. Aplinkos apsaugos agentūros pateikiama suvestinė pagal atliekų kodus 2019 m. [interaktyvus] [žiūrėta: 2021 m. lapkričio 6 d.]. Prieiga per internetą: <https://aaa.lrv.lt/lt/veiklos-sritys/atliekos/atlieku-apskaita/atlieku-apskaitos-duomenys/suvestine-pagal-atlieku-kodus>
52. Tarybos direktyva 1999/31/EB 1999 m. balandžio 26 d. dėl atliekų sąvartynų (naujausia konsoliduota versija: 2018.07.04) [interaktyvus] [žiūrėta: 2021 m. lapkričio 6 d.]. Prieiga per internetą: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/?uri=CELEX%3A01999L0031-20180704>
53. Europos Parlamento ir Tarybos direktyva 2008/98/EB 2008 m. lapkričio 19 d. dėl atliekų ir panaikinanti kai kurias direktyvas (konsoliduota versija: 2018.07.05) [interaktyvus] [žiūrėta: 2021 m. lapkričio 6 d.]. Prieiga per internetą: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/?uri=CELEX%3A02008L0098-20180705>
54. Europos Parlamento ir Tarybos direktyva 2018/851/EB 2018 m. gegužės 30 d. kuria iš dalies keičiama Direktyva 2008/98/EB dėl atliekų [interaktyvus] [žiūrėta: 2021 m. lapkričio 6 d.]. Prieiga per internetą: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/?uri=CELEX%3A32018L0851>
55. LR aplinkos ministro įsakymas dėl perdirbtų naudoti netinkamų padangų atliekų nebelaikymo atliekomis kriterijų aprašo patvirtinimo [interaktyvus] [žiūrėta: 2022 m. gegužės 3 d.]. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/ede98f628dd511ec9e62f960e3ee1cb6?positionInSearchResults=0&searchModelUUID=9dd4a9e6-8052-429d-9d3f-ab5d333e7eb9>
56. Aplinkos apsaugos agentūros pateikiama informacija apie gamintojų ir importuotojų ir jų organizacijų užimamos padangų rinkos dalys (2021) [interaktyvus] [žiūrėta: 2021 m. lapkričio 13 d.]. Prieiga per internetą: <https://aaa.lrv.lt/lt/veiklos-sritys/atliekos/gamintoju-ir-importuotoju-uzimamos-rinkos-dalys/gamintoju-ir-importuotoju-bei-ju-organizaciju-uzimamos-padangu-rinkos-dalys>
57. Atliekų tvarkymo taisyklių 3 priedas. Įmonės UAB „Torgita“ atliekų tvarkymo veiklos techninis reglamentas, 2020, Torgita, Zarasai.
58. LR aplinkos ministro 2010-04-06 įsakymas Nr. D1-275 Dėl klimato kaitos specialiosios programos lėšų naudojimo tvarkos aprašo patvirtinimo [interaktyvus] [žiūrėta: 2022 m. gegužės 5 d.]. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.369461/asr>
59. EMEP/EEA/CORINAIR Oro teršalų inventorizacijos vadovas (Angl. - Air pollutant emission inventory guidebook) [interaktyvus] [žiūrėta: 2022 m. gegužės 5 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-pollution-sources-1/emep-eea-air-pollutant-emission-inventory-guidebook>
60. 2019 refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 2 Energy // 2006. IPCC [interaktyvus] [žiūrėta: 2022 m. gegužės 23 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html>
61. Aplinkos apsaugos agentūros išduotas UAB „Torgita“ Taršos leidimas Nr. TZ(2)-23/TL-U.6-23/2019 [interaktyvus] [žiūrėta: 2022 m. gegužės 24 d.]. Prieiga per internetą: <https://drive.google.com/file/d/1F46cEjRWWZ7Mqn9Zx3YatirRrgox7EzY/view>

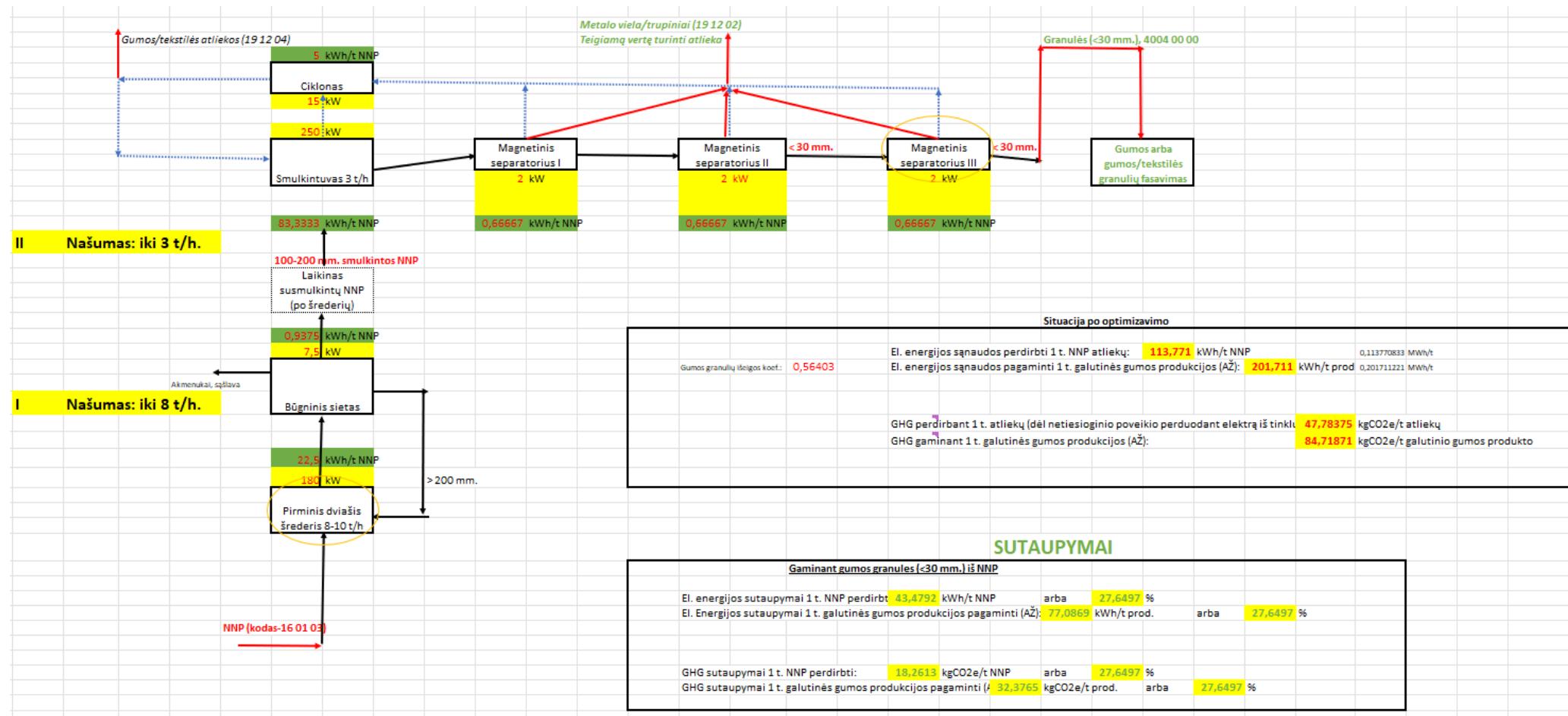
62. Lietuvos Respublikos muitinės pateikiamas Užsienio prekybos tarifinis reguliavimas. Kombinuotoji nomenklatūra [interaktyvus] [žiūrėta: 2022 m. gegužės 24 d.]. Prieiga per internetą:

<https://lrmuitine.lt/web/guest/verslui/tarifinisreguliavimas/prekiuklasifikavimas/nomenklatura>

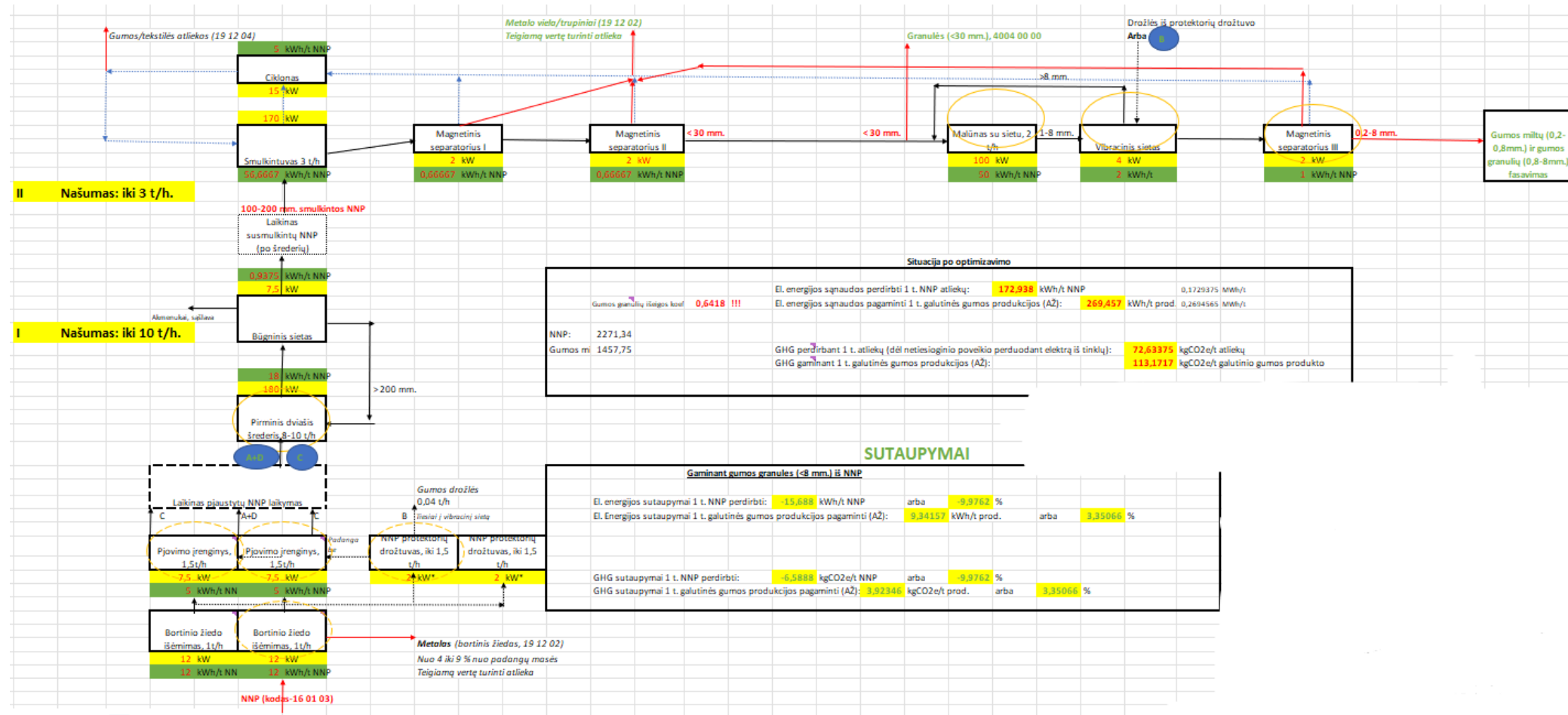
Priedai

1 priedas. Teoriškai įvertintos el. energijos sąnaudos

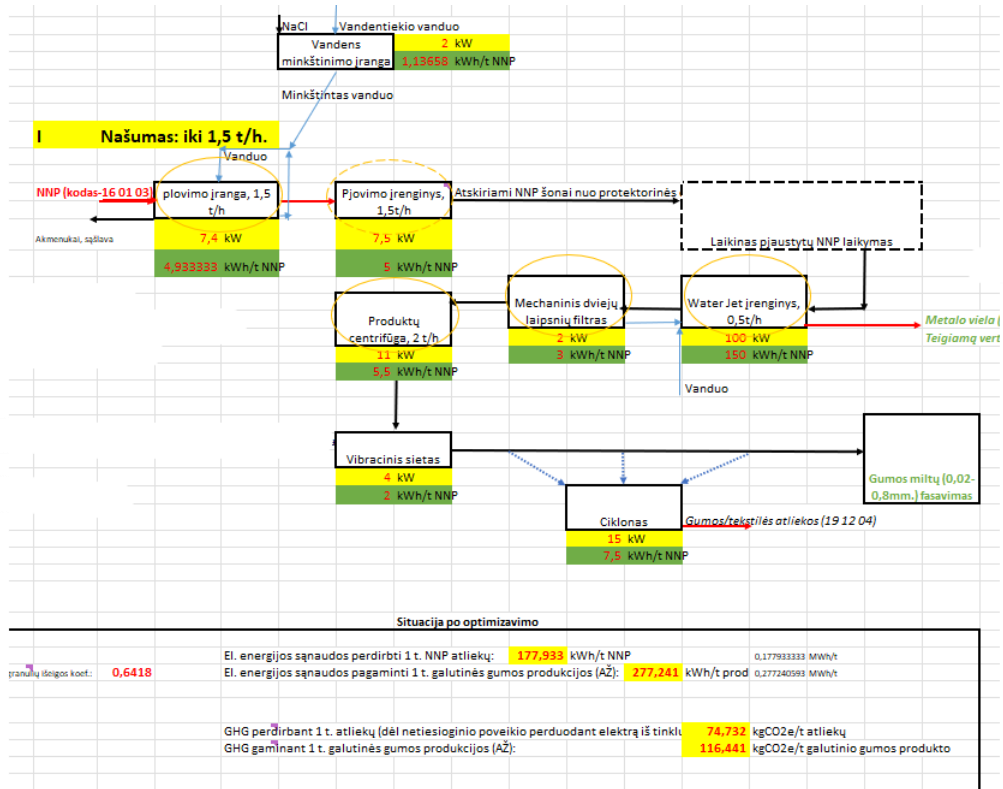
I alternatyva



II alternatyva



III alternatyva



SUTAUPYMAI

Gaminant gumos granules (<8 mm.) iš NNP				
El. energijos sutaupymai 1 t. NNP perdirbti:	-20,683 kWh/t NNP	arba	-13,153 %	
El. Energijos sutaupymai 1 t. galutinės gumos produkcijos pagaminti (AŽ):	1,55748 kWh/t prod.	arba	0,55864 %	
GHG sutaupymai 1 t. NNP perdirbti:	-8,687 kgCO ₂ e/t NNP	arba	-13,153 %	
GHG sutaupymai 1 t. galutinės gumos produkcijos pagaminti (AŽ):	0,65414 kgCO ₂ e/t prod.	arba	0,55864 %	

2 priedas. WaterJet įrenginio parametrų parinkimas ir apskaičiavimas

The power needed to drive a pump to supply water into spray nozzles is calculated from the following formula:

$$N = \frac{p \cdot \dot{V}}{\eta}$$

where: N – power needed to drive the pump [kW], p – water pressure generated by the pump [kPa], \dot{V} – water volumetric capacity [m³/s], η – general efficiency of the pump equal to the quotient of volumetric efficiency η_w and mechanical efficiency η_m .

$$\eta = \eta_w \cdot \eta_m.$$

$N = 200000 \text{ kPa} \cdot 0,0003755 / 0,75 = \mathbf{92,67 \text{ kW (iki 100 kW)}}$

purškiamo vandens kiekis: $\dot{m} = 20,85 \text{ kg/min} = 0,3475 \text{ kg/s}$

$0,0003475 \text{ m}^3/\text{s}$

TABLE 2. Demand for water for different pressures and different nozzle diameters.

Pressure [MPa]	Output [dm ³ /min]					
	Head with one nozzle diameter d [mm]			Heads with three nozzles with diameter d [mm]		
	1.0	0.6	0.4	1.0	0.6	0.4
100	14.74	5.31	2.36	44.22	15.93	7.10
150	18.06	6.50	2.89	54.18	19.50	8.67
200	20.85	7.51	3.33	62.55	22.53	10.0
250	23.31	8.39	3.73	69.93	25.17	11.19
300	25.54	9.19	4.08	76.62	27.57	12.24

3 priedas. Analizuojamo scenarijaus BCĮ srautų diagrama

