



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Pastato ventiliacinių sistemų būvio ciklo vertinimas

Baigiamasis magistro projektas

Greta Jacunskaitė

Projekto autorė

doc. dr. Inga Stasiulaitienė

Vadovė

Kaunas, 2024



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Pastato ventiliacinių sistemų būvio ciklo vertinimas

Baigiamasis magistro projektas

Aplinkosaugos inžinerija (6211EX003)

Greta Jacunskaitė

Projekto autorė

doc. dr. Inga Stasiulaitienė

Vadovė

doc. dr. Violeta Kaunelienė

Recenzentė

Kaunas, 2024



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Greta Jacunskaitė

Pastato ventiliacinių sistemų būvio ciklo vertinimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

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

Greta Jacunskaitė

Patvirtinta elektroniniu būdu

Greta Jacunskaitė. Pastato ventiliacinių sistemų būvio ciklo vertinimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovė doc. dr. Inga Stasiulaitienė; Kauno technologijos universitetas, Cheminės technologijos fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: būvio ciklo vertinimas, medžiaginiai ortakiai, metaliniai ortakiai, ventiliacinės sistemos, poveikis aplinkai.

Kaunas, 2024. 59 p.

Santrauka

Magistro baigiamajame darbe tiriamos alternatyvios ventiliacinės sistemos pagal būvio ciklo vertinimo metodiką. Vertinimas atliekamas trims ortakių sistemoms: pirmoji ortakių sistema yra tradicinė, pagaminta iš metalo – cinkuoto plieno, antroji ortakių sistema yra alternatyva metaliniams ortakiams – medžiaginė, pagaminta iš polietileno tereftalato, trečia – perdirbta medžiaginė, pagaminta iš perdirbtų polietileno tereftalato butelių. Medžiaginiai ortakiai yra naujausia ortakių technologija, kuri tirama kaip efektyvesnė alternatyva įprastoms ortakių sistemoms. Medžiaginiuose ortakiuose naudojamas izoliacinis audinys, skirtas orui transportuoti į norimas pastato vietas. Toks audinys apriboja energijos nuostolius nepageidautinose vietose ir pašalina papildomos dangos poreikį. Medžiaginiai ortakiai taip pat yra žymiai lengvesni nei įprasti lakštinio metalo ortakiai, todėl jiems nėra reikalingos papildomos atraminės dalys, dėl ko sumažėja sąnaudos. Magistro baigiamajame darbe yra aptariami vėdinimo sistemos ypatumai bei principai, metaliniai ir medžiaginiai ortakiai ventiliavimo sistemose, būvio ciklo vertinimas. Tyrimas yra atliekamas taikant būvio ciklo vertinimo metodologiją. Būvio ciklo vertinimas – tai sistemingas ir išsamus metodas, naudojamas produkto, paslaugos ar proceso poveikiui aplinkai įvertinti per visą jo gyvavimo ciklą – nuo žaliavos išgavimo iki šalinimo. Būvio ciklo vertinimas yra atliekamas pagal tarptautinius standartus ISO 14040:2006 ir ISO 14044:2006. Tyrimui atlikti buvo nustatytas funkcinis vienetas – 100 m² patalpos vėdinimas 20 metų laikotarpiui bei apibrėžtos sistemos ribos. Atlikus būvio ciklo vertinimą charakterizuoti poveikio rezultatai atskleidė, kad metalinis ortakis daro didžiausią poveikį aplinkai kvėpavimo neorganinių junginių, jonizuojančios spinduliuotės, ozono sluoksnio mažėjimo, žemės rūgštingumo, vandens rūgštėjimo, vandens eutrofikacijos, globalinio atšilimo, neatsinaujinančios energijos bei mineralų gavybos kategorijose. Medžiaginiai ortakiai pasižymėjo didžiausiu poveikiu kancerogenų, nekancerogenų, kvėpavimo takų organinių junginių, vandens ekotoksiškumo, žemės ekotoksiškumo bei žemės užimtumo kategorijose. Tuo tarpu perdirbti medžiaginiai ortakiai darė mažiausią poveikį aplinkai visose analizuotose būvio ciklo vertinimo kategorijose. Normalizuoti rezultatai taip pat atskleidė, kad perdirbti medžiaginiai ortakiai pasižymi mažiausiu poveikiu aplinkai. Metaliniai ortakiai pasižymėjo 9.7 karto didesniu už medžiaginio ortakio poveikiu žmogaus sveikatos kategorijoje bei 105 kartus didesniu poveikiu aplinkai klimato kaitos kategorijoje. Ekosistemos kokybės kategorijoje visi ortakiai lėmė nedidelį poveikį, tačiau didžiausią iš jų darė medžiaginis ortakis – jo poveikis buvo 1.25 karto didesnis nei perdirbto medžiaginio ortakio ir žymiai didesnis nei metalinio ortakio. Išteklių kategorijoje metaliniai ortakiai, taip pat pasižymėjo didžiausiu poveikiu. Šioje kategorijoje metalinis ortakis daro 27 kartus didesnę poveikį aplinkai nei medžiaginis. Medžiaginis perdirbtas ortakis, kaip ir klimato kaitos bei žmogaus sveikatos kategorijose, yra neigiamos vertės. Išanalizavus rezultatus nustatyta, kad perdirbto polietileno tereftalato ortakių sistema daro mažiausią poveikį aplinkai, lyginant su medžiaginių ir metalinių ortakių sistemomis.

Greta Jacunskaitė. Life cycle assessment of building ventilation systems. Master's Final Degree Project / supervisor Assoc. prof. Stasiulaitienė Inga; Faculty of Chemical Technology, Kaunas University of Technology.

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

Keywords: life cycle assessment, fabric ducts, metal ducts, ventilation systems, environmental impact.

Kaunas, 2024. 59 p.

Summary

In this master's thesis, an alternative ventilation system is investigated using the life cycle assessment methodology. The evaluation is performed for three types of duct systems: the first duct system is traditional, made of metal – galvanized steel; the second system offers an alternative to metal ducts – it is a fabric duct made from polyethylene terephthalate; the third is a recycled fabric system, produced from recycled polyethylene terephthalate bottles. Fabric ducts represent the newest technology in duct systems and are studied as a more efficient alternative to metal systems. These fabric ducts utilize an insulating fabric that facilitates air transport to desired areas of a building. This fabric limits energy losses in undesirable locations and removes the need for additional coating, reducing permeability. Fabric ducts are also significantly lighter than traditional sheet metal ducts, thus eliminating the need for additional support components, which leads to cost reduction. The thesis discusses the peculiarities and principles of ventilation systems, metal and fabric ducts in ventilation systems, and life cycle assessment. The study applies life cycle assessment methodology – a systematic and comprehensive method used to evaluate the environmental impact of a product, service, or process throughout its entire lifecycle – from raw material extraction to disposal. Life cycle assessment is conducted in accordance with international standards ISO 14040:2006 and ISO 14044:2006. A functional unit defined for the study was the ventilation of a 100 m² space over a 20-year period, and the system boundaries were defined. The life cycle assessment revealed that metal ducts have the greatest environmental impact in categories such as respiratory inorganics, ionizing radiation, ozone layer depletion, terrestrial acidity, aquatic acidification, aquatic eutrophication, global warming, non-renewable energy, and mineral extraction. Fabric ducts showed the greatest impact in categories related to carcinogens, non-carcinogens, respiratory organics, aquatic ecotoxicity, terrestrial ecotoxicity, and land occupation. Meanwhile, recycled fabric ducts had the least environmental impact across all analyzed life cycle assessment categories. Normalized results also revealed that recycled fabric ducts have the least environmental impact. Metal ducts exhibited a 9.7 times greater impact on human health and a 105 times greater environmental impact in the climate change category compared to fabric ducts. In the ecosystem quality category, all duct types had a minor impact, but the largest was caused by the fabric duct – its impact was 1.25 times greater than that of the recycled fabric duct and significantly greater than that of the metal duct. In the resource category, metal ducts also had the greatest impact. In this category, the metal duct had a 27 times greater environmental impact than the fabric duct. Recycled fabric ducts had negative values for climate change and human health categories. To sum up, it was determined that the recycled polyethylene terephthalate duct has the least environmental impact compared to fabric and metal ducts.

Turinys

Lentelių sąrašas	8
Paveikslų sąrašas	9
Santrumpų ir terminų sąrašas	10
Įvadas.....	11
1. Literatūros apžvalga	12
1.1. Vėdinimo sistemos	12
1.2. Pastatų vėdinimo svarba	12
1.3. Patalpų oro teršalai	13
1.4. Oro valymo technologijos	13
1.5. Pagrindiniai oro valymo įrenginių tipai.....	14
1.6. ŠVOK sistema	16
1.7. ŠVOK tipai	16
1.8. Projektavimas ir montavimas	16
1.9. Medžiaginiai ortakiai ventiliacinėse sistemoje.....	17
1.9.1. Medžiaginių ortakių tipai	17
1.9.2. Polietileno tereftalato tekstilinis pluoštas.....	17
1.9.3. Polietileno tereftalato perdirbtas tekstilinis pluoštas	18
1.9.4. Medžiaginių ortakių privalumai	19
1.9.5. Medžiaginių ortakių šalinimas	20
1.10. Metalinių ortakių medžiagos	21
1.11. Ortakių izoliacija	22
1.12. Cinkuoto plieno ortakiai	22
1.12.1. Plieno gamyba	22
1.12.2. Plieno laužo apdirbimas	23
1.13. Medžiaginių ir metalinių ortakių tarnavimo laikas	24
1.14. Ortakių poveikio aplinkai vertinimas	25
1.15. Teorinės darbo dalies aptarimas	26
2. Tyrimo metodika	27
2.1. Tyrimo tikslo, funkcinio vieneto ir ribų apibrėžimas.....	27
2.2. Būvio ciklo vertinimo inventorinė analizė	28
2.3. Būvio ciklo poveikio vertinimas	31
2.3.1. Rezultatų vertinimo vienetai.....	32
2.4. Rezultatų interpretavimas.....	32
2.5. Rezultatų charakterizavimas.....	32
2.6. Rezultatų normalizavimas	33
2.7. Jautrumo analizė.....	34
3. Tyrimo rezultatai ir jų aptarimas	35
3.1. Inventorinės analizės rezultatai	35
3.2. Būvio ciklo poveikio vertinimo rezultatai.....	40
3.2.1. Poveikio vertinimas charakterizuojant rezultatus medžiaginio ortakio ventiliacinei sistemai.....	40
3.2.2. Poveikio vertinimas charakterizuojant rezultatus perdirbto medžiaginio ortakio ventiliacinei sistemai.....	42
3.2.3. Poveikio vertinimas charakterizuojant rezultatus metalinio ortakio ventiliaciniai sistemai	43

3.2.4. Lyginamoji analizė, charakterizuojant medžiaginio ortakio, perdirbto medžiaginio ortakio ir metalinio ortakio ventiliacinių sistemų rezultatus	45
3.2.5. Lyginamoji analizė, normalizuojant medžiaginio ortakio, perdirbto medžiaginio ortakio ir metalinio ortakio ventiliacinių sistemų rezultatus	47
3.3. Rezultatų palyginimas su kitais darbais	48
3.4. Jautrumo analizės rezultatai	49
Išvados	52
Literatūros sąrašas	53
Priedai.....	60
1 priedas. Ventiliuojamos patalpos išplanavimas.....	60
2 priedas. Poveikio vertinimo charakterizuotų rezultatų lentelė	61
3 priedas. Poveikio vertinimo normalizuotų rezultatų lentelė.....	62

Lentelių sąrašas

1 lentelė. PET ir rPET palyginimas [32]	19
2 lentelė. Medžiaginių ortakių sistemos inventoriniai duomenys [51].....	28
3 lentelė. Medžiaginių ortakių sistemos inventoriniai duomenys (2 lentelės tęsinys) [51].....	29
4 lentelė. Perdirbtų medžiaginių ortakių sistemos inventoriniai duomenys [51]	29
5 lentelė. Perdirbtų medžiaginių ortakių sistemos inventoriniai duomenys (4 lentelės tęsinys) [51]	30
6 lentelė. Metalinių ortakių sistemos inventoriniai duomenys	30
7 lentelė. Metalinių ortakių sistemos inventoriniai duomenys (6 lentelės tęsinys).....	31
8 lentelė. Inventoriniai duomenys, skirti atlikti medžiaginių ortakių sistemos būvio ciklo vertinimą [51]	37
9 lentelė. Inventoriniai duomenys, skirti atlikti medžiaginių ortakių sistemos būvio ciklo vertinimą (8 lentelės tęsinys) [51].....	38
10 lentelė. Inventoriniai duomenys, skirti atlikti perdirbtų medžiaginių ortakių sistemos būvio ciklo vertinimą [51]	38
11 lentelė. Inventoriniai duomenys, skirti atlikti perdirbtų medžiaginių ortakių sistemos būvio ciklo vertinimą (10 lentelės tęsinys) [51]	39
12 lentelė. Inventoriniai duomenys, skirti atlikti metalinių ortakių sistemos būvio ciklo vertinimą [59] [60]	40
13 lentelė. Įvesties duomenys, skirti jautrumo analizei atlikti	50
14 lentelė. Charakterizuoti poveikio rezultatai palyginamajai ortakių analizei	61
15 lentelė. Normalizuoti jautrumo analizės rezultatai, pakeitus suvartojamo PET kiekį $\pm 5\%$	62
16 lentelė. Normalizuoti jautrumo analizės rezultatai, pakeitus suvartojamo aliuminio kiekį $\pm 5\%$	62
17 lentelė. Normalizuoti jautrumo analizės rezultatai, pakeitus suvartojamo metalo kiekį $\pm 5\%$...	62

Paveikslų sąrašas

1 pav. Krosnies filtras [14]	15
2 pav. Nešiojamas oro valymo įrenginys [14]	15
3 pav. PET butelių atliekų perdirbimas į tekstilinį pluoštą [31]	18
4 pav. Medžiaginiai ortakiai [8]	19
5 pav. Metalinis ortakis [8]	20
6 pav. Junginių struktūrinis palyginimas PET depolimerizacijos procese [36]	21
7 pav. Aukštakrosnės schema [42]	23
8 pav. LD veikimo žingsniai [42]	24
9 pav. Medžiaginio ortakio ventiliacinės sistemos charakterizuoti rezultatai	41
10 pav. Perdirbto medžiaginio ortakio ventiliacinės sistemos charakterizuoti rezultatai	43
11 pav. Metalinio ortakio ventiliacinės sistemos charakterizuoti rezultatai	44
12 pav. Lyginamosios analizės charakterizuoti rezultatai medžiaginio ortakio, perdirbto medžiaginio ortakio ir metalinio ortakio ventiliacinėms sistemoms	45
13 pav. Normalizuoti rezultatai medžiaginio ortakio, perdirbto medžiaginio ortakio ir metalinio ortakio atvejais	47
14 pav. Jautrumo analizė normalizuojant duomenis	51
15 pav. Ventiliuojamos patalpos ortakio išplanavimas	60

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

ASHRAE – Amerikos šildymo, šaldymo ir oro kondicionavimo inžinierių asociacija (angl. The American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers);

CFC – trichlorfluormetanas;

BCV – būvio ciklo vertinimas;

BHET – bis-(hidroksietil)tereftalatas;

DALY – negalios koreguotų gyvenimo metų matavimo vienetas (angl. disability-adjusted life years);

DMT – dimetilferftalatas;

DNR – deoksiribonukleorūgštis;

EPD – produkto poveikio aplinkai deklaracija (angl. Environmental Product Declaration);

EPA – aplinkos apsaugos agentūra (angl. Environmental Protection Agency);

GWP – visuotinio atšilimo potencialas (angl. global warming potential);

ISO – tarptautinė standartizacijos organizacija (angl. International Organization for Standardization);

LD – Linco-Donawitzo plieno gamybos procesas;

PET – polietileno tereftalatas;

rPET – perdirbtas polietileno tereftalatas;

PES – poliesteris;

PM – kietosios dalelės;

POM – polioksimetilenas;

PVC – polivinilchloridas;

RNR – ribonukleino rūgštis;

ŠVOK – pastato šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo sistema;

TEG – trietilenglikolis;

TPA – tereftalio rūgštis;

UV – ultravioletiniai spinduliai;

WHO – pasaulio sveikatos organizacija (angl. World Health Organization).

Įvadas

Šiais laikais žmonės vis didesnę laiko dalį praleidžia patalpose – darbas ofisuose, buvimas mokyklose, universitetuose, įvairiuose uždaruose renginiuose, restoranuose, ar tiesiog namuose. Praleidžiant tiek laiko pastatų viduje vėdinimas yra gyvybiškai svarbus. Nuo oro esančio patalpų viduje priklauso ne tik žmogaus sveikata, bet ir komforto lygis – temperatūra turi būti nei per aukšta, nei per žema, palaikomas atitinkamas drėgmės kiekis. Taip pat, taikant tinkamą ventiliacinę sistemą galima sutaupyti – suregulius oro srautą, galima sumažinti šildymo arba vėsinimo išlaidas [1]. Šiuo metu žinomiausia patalpų vėdinimo sistema yra ŠVOK (šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo sistema). Ją sudaro šilumos siurblys, oro kondicionierius, ortakiai, vėdinimo įrenginys, termostatas, vėdinimo angos bei išmetimo ventiliatoriai [2] [3]. Ortakiai yra pagrindinė ŠVOK sistemos sudedamoji dalis. Ortakiai naudojami šildomam arba vėsiam orui transportuoti visame pastate ir būna įvairių dydžių ir formų, priklausomai nuo pastato išplanavimo. Ilgą laiką ortakiai buvo gaminami iš lakštinio metalo, kuris yra sunkus, brangus ir sunkiai montuojamas, dėl šios priežasties buvo sukurti medžiaginiai ortakiai, kurie dėl savo lankstumo, efektyvumo bei energijos vartojimo efektyvumo greitai išpopuliarėjo. Vis dėlto, nors ši technologija yra plačiai taikoma pramonėje, iki galo nėra išsiaiškinta, kokį poveikį aplinkai daro medžiaginiai ortakiai. Padėti įvertinti ortakių įtaką aplinkai gali būvio ciklo vertinimas [2] [3] [4].

Baigiamojo projekto tikslas – palyginti medžiaginių, perdirbtų medžiaginių ir metalinių ortakių poveikį aplinkai, remiantis būvio ciklo vertinimo metodu.

Uždaviniai:

1. Atlikti vėdinimo sistemų literatūros apžvalgą (apžvelgti vėdinimo sistemas, šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo sistemą, medžiaginius ortakius, perdirbtus medžiaginius ortakius, metalinius ortakius, būvio ciklo vertinimo sistemą, ISO 14040:2006/ISO 14044:2006 standartus);
2. Surinkti inventorinius duomenis apie pasirinktus ventiliacinių sistemų elementus, įskaitant jų medžiagas, gamybos procesus, transportavimą, montavimą ir eksploatacines charakteristikas;
3. Atlikti pasirinktų ventiliacinės sistemos elementų poveikio aplinkai vertinimą būvio ciklo metodu;
4. Atlikti jautrumo analizę išbandant skirtingų prielaidų ar kintamųjų įtaką būvio ciklo modeliavimo rezultatams;
5. Pateikti vertinimo išvadas ir praktines rekomendacijas.

1. Literatūros apžvalga

1.1. Vėdinimo sistemos

Gyventojų skaičiaus didėjimas, šiuolaikinės technologijos ir gyvenimo būdas yra viena iš priežasčių, kodėl reikia įrengti šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo (ŠVOK) sistemas įvairių tipų pastatuose. Šios sistemos sudaro 40–60 % pastatuose sunaudojamos energijos arba 15 % viso pasaulio energijos suvartojimo [5]. Šie faktai pabrėžia svarbą, kad mokslininkai bei pramonės šakos turi atidžiai apsvarstyti ŠVOK tvarumo plėtrą. Dėmesys tvarumui ir naujovės ŠVOK sistemose yra būtinos, siekiant užtikrinti sveiką ir tvarią aplinką gyventojams bei mažinti energijos suvartojimą ir sąnaudas. Patalpų vėdinimas aplinkos oru yra seniai žinoma efektyvi priemonė, skirta mažinti vidaus oro teršalus ir jų keliamą pavojų žmogaus sveikatai. Anksčiau vidaus patalpų vėdinimas rėmėsi tiktais atsitiktine ventiliacija per atidaromus langus ar lauko duris. Vis dėlto, šiandien yra paplitusios specialiai patalpų vėdinimui sukurtos mechaninės sistemos. Teigiamas vėdinimas lauko oru gali būti tik tuo atveju, jei lauko oras yra švaresnis nei patalpose esantis oras. Kaip bebūtų patalpų vėdinimas be tinkamo filtravimo ir oro valymo gali padidinti ligų skaičių, kurias sukelia lauke esantis užterštas oras. Dėl šios priežasties, būtina užtikrinti, kad į patalpą būtų tiekiamas švarus oras [2] [5] [6].

Vėdinimo sistemomis siekiama tiekti gryną orą į patalpas, kad būtų pagerinta oro kokybė ir pasiektas energijos vartojimo efektyvumas. Oro mainai patalpose priklauso nuo įvairių veiksnių, tokių kaip pastato tipas, gyventojų skaičius, veiklos pobūdis ar klimatas [6]. Vėdinimas yra ne tik techninis dalykas, bet ir svarbus kriterijus gerai žmogaus savijautai – prastai vėdinamose patalpose gali pradėti skaudėti galvą, jaustis nuovargis ar net svaigimas [6]. Šiuo metu yra išskiriami trys pagrindiniai vėdinimo sistemų tipai: natūralus vėdinimas, mechaninis vėdinimas ir hibridinės vėdinimo sistemos, kurios sujungia natūralius ir mechaninius komponentus, kad užtikrintų tinkamus oro mainus ir atitinkamą patalpų oro kokybę [7]. Pastatų vėdinimui įvertinti naudojamos išmaniosios jutiklių programos ir pažangūs oro srauto matavimo metodai [2] [8].

Šiluminis komfortas pastatuose yra tiesiogiai susijęs su termoskysčių parametrais, tokiais kaip greitis, turbulencija, temperatūra ir drėgmė. Patalpų oro kokybei įtakos turi oro sudėtis, dalelių kiekis ir įvairūs kvapai. Norint užtikrinti gerą patalpų oro kokybę, būtinos efektyvios ventiliacinės sistemos [9].

1.2. Pastatų vėdinimo svarba

Pastato vėdinimas yra labai svarbus dėl kelių priežasčių: oro kokybės palaikymo, tinkamos temperatūros užtikrinimo ir šilumos pertekliaus bei teršalų pašalinimo iš įvairių šaltinių, tokių kaip darbo patalpos, ligoninės, gamyklos [10]. Nepakankamas vėdinimas gali sukelti tvankumą, nepakankamą gryno oro kiekį patalpose. Anglies dvideginio pripildytas oras ir oro teršalai patalpose gali sukelti įvairius padarinius žmogaus sveikatai – nuo nepageidaujamo aplinkos kvapo iki įvairių ligų [11]. Neigiamas poveikis sveikatai gali priklausyti nuo ore plintančių virusų ar bakterijų, mikroorganizmų kiekio [11]. Be to, patalpų oro taršos poveikis yra susijęs su kvėpavimo takų ligomis, alergijomis ir gleivinių dirginimu [11]. Žinoma, kad daugelis cheminių medžiagų, sutinkamų vidaus patalpų ore, didelėmis koncentracijomis sukelia jutiminį dirginimą, o tai daro neigiamą poveikį jutimo sistemoms, aplinkos suvokimui ir sukelia padidėjusio jautrumo reakcijas [7]. Jutimo poveikis nebūtinai yra susijęs su toksiškumu, o suvokiama oro kokybė nėra universalus neigiamo poveikio matas [7].

1.3. Patalpų oro teršalai

Oro tarša ir prastos kokybės oras yra viena iš svarbiausių aplinkosaugos grėsmių visame pasaulyje, pagal 2016 metų pasaulio sveikatos organizaciją (angl. World Health Organization) [12]. Naujausi straipsniai rodo, kad globaliai, vienas iš dešimties mirties atvejų yra susijęs su oro tarša [12]. Vidaus patalpų oro tarša dažnai yra mažiau vertinama nei lauko tarša, nors viduje esančių teršalų lygis paprastai yra dvigubai aukštesnis [12]. Šiaurės Amerikoje atlikti tyrimai parodė, kad suaugusieji 87 % savo laiko praleidžia pastatuose, 6 % laiko praleidžia transporto priemonėse ir tik 7 % lauke [13]. Kasmet daugiau nei 5 milijonai žmonių miršta anksčiau dėl ligų, kurių priežastis yra susijusi su nepakankama vidaus oro kokybe [12]. Vidaus patalpų oro taršos teršalai apima įvairias medžiagas, įskaitant daleles, biologinius teršalus ir daugiau nei 400 skirtingų organinių ir neorganinių cheminių junginių [13]. Yra dvi pagrindinės patalpų oro teršalų klasifikacijos, kurios gali turėti įtakos oro kokybei namuose. Tai yra dujiniai teršalai ir kietos dalelės [14]. Šiuos teršalus gali sudaryti ore suspenduotos kietos dalelės, skystos dalelės arba abiejų medžiagų derinys. Yra įvairių kietų dalelių komponentų, tokių kaip dulkės, dūmai, biologiniai teršalai ar kitos aplinkos oro dalelės, kurios gali prasiskverbti į patalpas. Šios dalelės būna skirtingų dydžių – smulkios dalelės, kurių skersmuo 2.5 µm ar mažesnis, kelia didžiausią susirūpinimą, nes įkvėptos gali sukelti ūmų ar lėtinį poveikį sveikatai [15]. Dujinius teršalus paprastai sudaro neorganinės dujos, tokios kaip anglies monoksidas ir azoto dioksidas, ozonas ir organinės cheminės medžiagos. Patalpose yra daug dujinių teršalų šaltinių [14].

Nepakankamas vėdinimas gali padidinti patalpų oro taršą, nes nėra paduodama pakankamai švaraus oro, kad sumažėtų išmetamųjų teršalų kiekis patalpose. Be to, aukšta temperatūra bei drėgmė padidina kai kurių teršalų koncentraciją. Pagrindiniai vidaus oro taršos šaltiniai yra šie [14] [16]:

- kietosios dalelės (PM);
- organiniai lakieji junginiai;
- anglies monoksidas (CO);
- anglies dioksidas (CO₂);
- ozonas (O₃);
- radonas (Rn);
- sunkieji metalai;
- aerozoliai;
- pesticidai;
- biologiniai alergenai;
- mikroorganizmai;
- lauko oro tarša/pesticidai [14] [16].

Kiekvieno taršos šaltinio kenksmingumas priklauso nuo konkretaus teršalo kiekio, ir nuo to, koks pavojingas teršalas. Tam tikri taršos šaltiniai, tokie kaip baldai, oro gaivikliai, statybinės medžiagos gali nuolat išskirti teršalus, o kiti, pavyzdžiui, rūkyimas arba namų valymas teršalus išskiria periodiškai. Be to, dėl neventiliuojamų ar netinkamai veikiančių prietaisų naudojamų vidaus patalpose gali išsiskirti didesnis, o kartais ir pavojingas teršalų kiekis, o po tam tikrų veiklų (statybinės medžiagos, degimo įrenginiai) teršalų koncentracija ore gali išlikti ilgą laiką [13] [14] [16].

1.4. Oro valymo technologijos

Pagal aplinkos apsaugos agentūrą (angl. Environmental Protection Agency) yra išskiriamos 9 dažniausiai naudojamos skirtingos oro valymo technologijos, kurios yra skirtos naudoti po vieną arba

sujungiant su kitomis technologijomis [14]. Šios technologijos skiriasi pagal tai, kokius teršalus šalina iš aplinkos ir savo veikimo mechanizmu:

- Pluoštinė filtravimo medžiaga – tikslas sulaikyti daleles. Būna dviejų tipų elektrostatiniai ir mechaniniai filtrai. Gali šalinti įvairių dydžių daleles [14];
- Elektrostatinis nusodinimas – naudoja elektrinio lauko jėgas įkrautoms dalelėms, kad atskirtų daleles nuo dujų srauto. Nereikalauja daug priežiūros ir gali būti lengvai įkomponuojami ŠVOK sistemose [17] [14];
- Jonizavimas – panašus mechanizmas į elektrostatinį nusodinimą, jonizavimui yra naudojami aukštos įtampos laidai, kad įkrautų oro molekules, taip sudarant neigiamus jonus, kurie prisitvirtina prie ore esančių dalelių, kurios vėliau surenkamos ant neigiamai įkrautų plokščių oro valytuve [14];
- Ultravioletinis švitinimas – naikina ore esančius mikrobus, naudojant ultravioletinę šviesą. Šis būdas yra veiksmingas norint dezinfekuoti orą ir įvairius paviršius, nes sukelia žalą mikroorganizmų DNR ir RNR, dėl ko jie nebegali daugintis ir galiausiai išnyksta [14];
- Absorbuojančios medžiagos – įvairūs dujų teršalai pašalinami absorbuojant juos ant didelio paviršiaus ploto terpės, kuri gali būti aktyvuota anglis, silikagelis, įvairūs metalų oksidai, ceolitai [14];
- Chemisorbentinė terpė – šiame procese dujos chemiškai pritraukiamos prie medžiagos, kuri yra padengta arba impregnuota reaktyviais junginiais. Reaktyvūs junginiai gali būti įvairių tipų chemikalai, tokie kaip aktyvuota anglis, ceolitai arba metalų oksidai. Kai dujos praeina per terpę, jos chemiškai reaguoja su reaktyviais junginiais ir adsorbuojasi ant terpės paviršiaus [14];
- Katalizinė oksidacija – dažniausiai pritaikoma fotokatalizinė oksidacija, kai didelio paviršiaus ploto terpė yra padengta titano dioksidu kaip katalizatoriumi [14];
- Plazma – įeinančios dujos praleidžiamos per elektros lauką, kur yra jonizuojamos ir taip nutraukiami jų molekuliniai ryšiai. Tai veda prie dujinių teršalų cheminės transformacijos į mažiau kenksmingas formas. Gauti produktai gali būti kietos dalelės ar kitos dujos, kurias lengviau sugauti ir pašalinti iš oro [14];
- Ozono generavimas – tyčinis ozono generavimas yra naudojant vainikinę iškrovą, UV spindulius ar dujų oksidavimo būdus [14] [18].

1.5. Pagrindiniai oro valymo įrenginių tipai

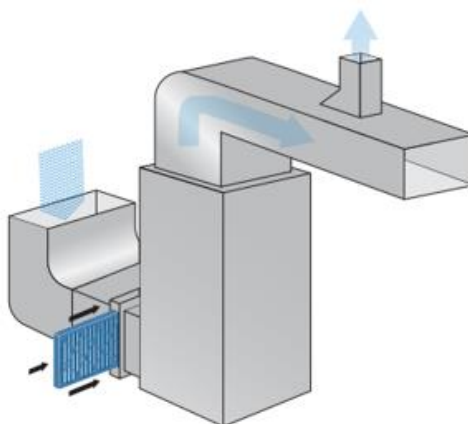
Yra du pagrindiniai oro valymo įrenginių tipai:

1. ŠVOK/krosnių filtrai/ortakiuose montuojami oro valymo įrenginiai;
2. Nešiojami oro valymo įrenginiai [19].

Nešiojami oro valymo įrenginiai skirti filtruoti arba valyti orą vienoje patalpoje ar zonoje, o krosnių filtrai ir kiti ortakiuose montuojami oro valytuvai montuojami centrinėje namų ŠVOK sistemoje ir gali tiekti filtruotą arba išvalytą orą į daugelį namo dalių, bet tik tada, kai veikia ŠVOK sistemos ventilatorius [19].

Krosnies filtrai ir kiti ortakiuose montuojami oro valymo įrenginiai paprastai įrengiami ŠVOK sistemų grįžtamuosiuose kanaluose, prie vėdinimo įrenginio pagrindo arba prieš srovę grįžtamuosiose grotelėse, kaip parodyta 1 paveiksle [14]. Žemo efektyvumo krosnies oro filtrai yra pagrindiniai oro valymo įrenginiai, kurie sulaiko daleles oro sraute ir taip apsaugo ventilatoriaus variklius, ortakius nuo nešvarumų bei šilumokaičių. Jie neskirti pagerinti patalpų oro kokybę, tačiau naudojant

efektyvesnius oro filtrus galima apsaugoti ŠVOK sistema, pašalinant papildomas daleles. Kiti oro valymo įrenginiai, tokie kaip elektrostatinis nusodintuvas, jonizavimas arba ultravioletinės lempos su katalizatoriais, skirti dujinių teršalų fotokataliziniam konvertavimui ir kartais naudojami namų ŠVOK sistemų ortakiuose [14] [18] [19].



1 pav. Krosnies filtras [14]

Nešiojami oro valymo įrenginiai, dar žinomi kaip oro dezinfekavimo įrenginiai, paprastai naudojami orui valyti vienoje patalpoje, kaip parodyta 2 paveiksle [14]. Jie idealiai tinka lokalizuotam nuolatiniam naudojimui – oro valymas gali būti lengvai perkeltas į skirtingas vietas, kur reikia. Namuose, kuriuose nėra oro šildymo ir (arba) oro kondicionavimo sistemų, gali būti naudingi didesni nešiojami oro valymo įrenginiai. Nešiojami oro valymo įrenginiai yra veiksmingi įrankiai patalpų oro kokybei gerinti, juos sudaro filtras ir oro valymo technologija bei ventiliatorius, kuris varo orą per filtrą [14].

Siekiant pagerinti teršalų pašalinimą, kai kuriuose įrenginiuose gali būti papildomų technologijų, tokių kaip elektrostatinis nusodinimas, jonizavimas arba ultravioletinės lempos su katalizatoriais, skirtomis dujinių teršalų fotokataliziniam konvertavimui [14] [19]. Kai kuriuose nešiojamuosiuose oro valytuvuose taip pat gali būti skydinis filtras su aktyvuota anglimi ar kitais sorbentų mišiniais, kad pašalintų dujas ir kvapus. Įrenginiai be ventiliatoriaus paprastai yra daug mažiau veiksmingi nei su ventiliatoriumi [19].



2 pav. Nešiojamas oro valymo įrenginys [14]

1.6. ŠVOK sistema

Pastaraisiais metais didėjantis energijos suvartojimas sukėlė aplinkos ir ekonominių iššūkių visame pasaulyje, įskaitant didėjantį užterštumą ir visuotinį atšilimą. Pastatai yra viena iš daugiausiai energijos suvartojančių pramonės šakų, sudaranti apie 40 % viso energijos poreikio ir 30 % šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų [2]. Dėl šios priežasties stengiamasi didinti pastatų energijos vartojimo efektyvumą diegiant efektyvias ŠVOK sistemas, kurios gali žymiai sumažinti energijos suvartojimą ir anglies dvideginio išmetimą. ŠVOK sistemos vis labiau plinta gyvenamuosiuose, komerciniuose ir pramonės sektoriuose, todėl mažėja tarša [2].

ŠVOK sistemos modelių tobulinimas ir tinkamų valdymo strategijų naudojimas gali būti efektyvesnis energijos taupymo ir šiluminio komforto lygio išsaugojimo būdas [8].

Siekiant užtikrinti tinkamą patalpų oro kokybę ir šiluminį komfortą, inžinieriai įgyvendina įvairius sprendimus, skirtus sukurti kokybišką ŠVOK sistemą, kuri būtų ekonomiškai, palyginti su įprastomis vėdinimo konstrukcijomis [20]. ŠVOK sistemos užima svarbų vaidmenį pastatuose, nes jos suteikia norimas komforto sąlygas gyventojams. ŠVOK sistemos yra vienas didžiausių energijos vartotojų, o ŠVOK sistemos pasirinkimas ir konfigūracija gali turėti įtakos įvairiems kitiems didelio našumo suvartojimams [20].

1.7. ŠVOK tipai

Yra trys pagrindiniai modeliavimo metodai, naudojami šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo sistemose: duomenimis pagrįstas metodas (empirinis), fizika pagrįstas metodas (matematinis) ir mišrus metodas (hibridinis) [21] [22]. Duomenimis pagrįstas metodas apima ryšių tarp įvesties ir išvesties kintamųjų nustatymą naudojant statistinės regresijos ir dirbtinio neuroninio tinklo metodus. Fizika pagrįstas metodas sukuria modelius, naudojančius fizikos dėsnius ir išsamias žinias apie pagrindinį procesą. Mišrus metodas sujungia pagrindinę fizikos modelių struktūrą su duomenimis pagrįstais parametru įvertinimo algoritmais. Modeliai naudojami energijos suvartojimui ir patalpų aplinkos kokybei tirti ir reguliuoti [21] [22]. Matematinis modelis susideda iš dviejų potipių – sugrupuotų ir paskirstytų parametru modelių. Mišrus (hibridinis) modelis yra išskirtinis, nes apima ypatybes, kurios tiksliai atspindi tikrąjį ŠVOK sistemų elgesį. Hibridiniai modeliai sujungia tiek duomenimis pagrįstų, tiek fizika pagrįstų modelių pranašumus, taip suteikdami geras apibendrinimo galimybes ir didesnę tikslumą [21] [22].

1.8. Projektavimas ir montavimas

Pagrindinis tikslas projektuojant ŠVOK turėtų būti sukurti oro paskirstymo sistemą, kuri skatintų subalansuotą ir stabilų oro srautą, strategiškai išdėstant ortakius, parenkant ir išdėstant komponentus bei reguliuojant oro cirkuliaciją. Projektavimo etape įrengiant patalpos oro įleidimo angas reikia atsižvelgti į komforto veiksnius, tokius kaip skersvėjis. Projektuojant ortakius reikėtų vengti staigių, aštrių lenkimų, ploto sumažinimo, nes tai gali sukelti balansavimo problemų. Prieigos durys ir dangčiai turi būti lengvai atidaromi, atitikti izoliacijos tipą ir vietą, išdėstyti pagal tiekiamo ir šalinamo oro kokybę bei nustatytą arba prieinamą valymo būdą. Prireikus ortakių izoliacija turi būti naudojama siekiant sumažinti energijos suvartojimą ir išvengti kondensacijos [2] [7] [23].

Nauji ventiliatorių varikliai turi didesnio efektyvumo modelius, kurie gali sutaupyti energijos sąnaudas be papildomų kapitalo išlaidų [7] [23]. Kintamo greičio ventiliatoriai gali būti

užprogramuoti sulėtėti, kai sumažėja vėdinimo poreikiai, todėl sumažėja elektros energijos ir šildymo/vėsinimo išlaidos. Svarbu užtikrinti, kad ventiliatoriai veiktų tik tada, kai to reikia, kad būtų išvengta energijos švaistymo ir šilumos pašalinimo iš pastato [2] [7] [23].

1.9. Medžiaginiai ortakiai ventiliacinėse sistemoje

Medžiaginiai ortakiai yra naujausia ortakių technologija, kuri tiriama kaip efektyvesnė alternatyva įprastoms metalinių ortakių sistemoms [8]. Medžiaginiuose ortakiuose naudojamas tekstilinis audinys, skirtas orui transportuoti į norimas pastato vietas, apribojant energijos nuostolius nepageidautinose vietose ir pašalinant papildomos dangos poreikį. Medžiaginiai ortakiai taip pat yra žymiai lengvesni nei įprasti lakštinio metalo ortakiai, todėl nėra reikalingos papildomos atraminės dalys, dėl ko sumažėja sąnaudos. Medžiaginių ortakių sistema sukurta taip, kad oras būtų tolygiai paskirstytas norimoje erdvėje, naudojant strategiškai išdėstytas angas išilgai kanalo ilgio. Medžiaginių ortakių sistemos yra pranašesnės už įprastas sistemas, nes efektyviau, greičiau bei tolygiau šildo patalpas, taip pat yra lengviau montuojamos [8].

Medžiaginių ortakių tipai

Medžiaginių ortakių tipas priklauso nuo ventiliuojamos patalpos dydžio, paskirties bei išplanavimo. Šiuo metu egzistuoja šie ortakių tipai:

- Apvalūs medžiaginiai ortakiai: tai yra labiausiai paplitęs medžiaginių ortakių tipas ir naudojamas įvairioms reikmėms. Jis gali būti pagamintas iš įvairių medžiagų, įskaitant poliesterį, nailoną ir kitus sintetinius audinius. Apvalūs medžiaginiai ortakiai dažniausiai naudojami vėsinimui ir šildymui didelėse komercinėse ir pramoninėse patalpose [24];
- Pralaidūs medžiaginiai ortakiai: šio tipo medžiaginiai ortakiai yra pagaminti iš specialaus audinio, kuris leidžia pro jį praeiti orui. Jis paprastai naudojamas tais atvejais, kai kaupiasi kondensatas, nes jis leidžia drėgmei pasišalinti ir neleidžia susidaryti pelėsiui [25];
- Nepralaidūs medžiaginiai ortakiai: šio tipo medžiaginiai ortakiai yra pagaminti iš medžiagų, kurios nepralaidžia oro. Paprastai jis naudojamas tais atvejais, kai drėgmė nesikaupia, pvz., sausose patalpose arba dulkių kontrolei [26];
- Pusiau standūs medžiaginiai ortakiai: šio tipo medžiaginiai ortakiai yra pagaminti iš audinio ir standžių medžiagų, tokių kaip plastikas arba metalas, derinio. Jie dažnai naudojami tais atvejais, kai reikalingas tam tikras standumas, tačiau medžiaginių ortakių lankstumas vis tiek yra reikalingas [27];
- Individualios formos medžiaginiai ortakiai: šio tipo medžiaginiai ortakiai gali būti pagaminti taip, kad atitiktų bet kokią formą ar dydį.

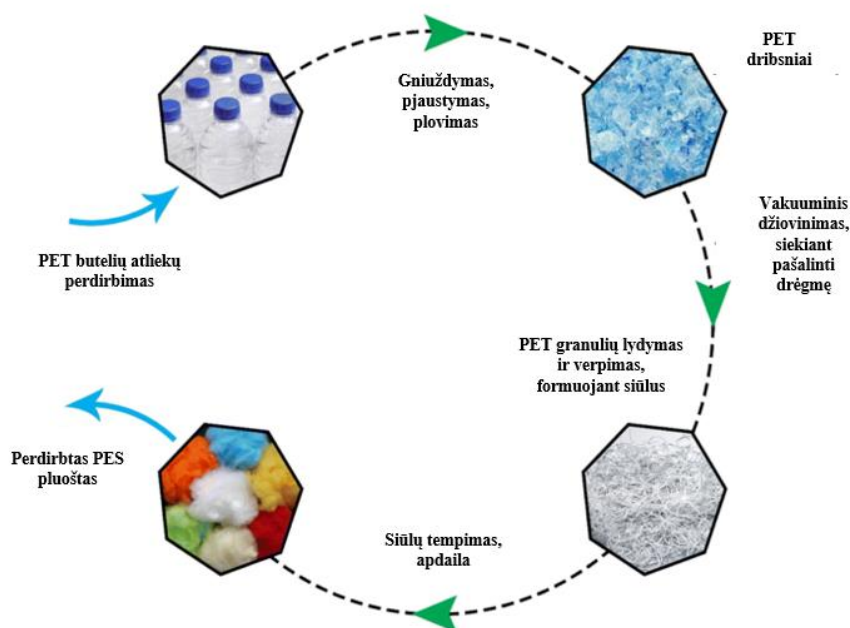
1.9.1. Polietileno tereftalato tekstilinis pluoštas

Baigiamajame darbe medžiaginis ortakis modeliuojamas iš polietileno tereftalato tekstilinio pluošto. Kuomet PET naudojamas kaip pluoštas, jis yra priskiriamas poliesterio pluošto (PES) kategorijai. Polietileno tereftalatas (PET) yra linijinio poliesterio tipas, sudarytas iš pasikartojančių esterio grupių (–COO–) [28] [29]. PET naujovės atsirado, kai tereftalato rūgštis buvo integruota į polimero molekulės kartotinių bloką, ši pažanga leido plačiai pritaikyti PET tekstilę įvairioms reikmėms, išplečiant sintetinių pluoštų panaudojimą [28] [29]. Polietileno tereftalato pluoštai pasižymi išskirtinėmis fizikinėmis ir cheminėmis savybėmis, palyginti su natūraliais ir sintetiniais pluoštais [28]. Šis pluoštas pasižymi stabilumu, tvirtumu, dideliu atsparumu glamžymuisi bei turi geras elastingumo savybes. Dėl stiprios pluošto struktūros ir pailgėjimo PET pluoštai pasižymi puikiai

termoreaktingumu, taip pat dideliu atsparumu šviesai, karščiui ir nusidėvėjimui [29]. Polietileno tekstilę taip pat lengva prižiūrėti, nes ji mažai sugeria vandenį, greitai džiušta yra atspari plovimui ir mikroorganizmams. Masinė PET pluošto gamyba labai prisidėjo prie sintetinio pluošto gamybos pažangos [29].

1.9.2. Polietileno tereftalato perdirbtas tekstilinis pluoštas

Baigiamajame darbe perdirbtas medžiaginis ortakis modeliuojamas iš perdirbtų PET butelių. Perdirbtas polietileno tereftalatas (rPET) yra dažnai naudojamas pramonėje dėl savo lengvumo, stiprumo ir perdirbamumo. Nors šis plastikas yra plačiai perdirbamas, jo cheminis perdirbimas yra daug energijos reikalaujantis procesas, o mechaninis perdirbimas – ekonomiškai naudingesnis, nes jis mažiau teršia aplinką ir vartoja mažiau išteklių [30]. Mechaninis PET butelių perdirbimas yra procesas, kai plastiko atliekos perdirbamos į antrines žaliavas arba produktus fizikiniais būdais. PET butelių atliekų perdirbimo į perdirbtus poliesterio pluoštus procesas vaizduojamas 3 paveiksle, pradedant nuo PET butelių atliekų surinkimo, kurios yra susmulkinamos, supjaustomos ir plaunamos, kad būtų pašalintos priemaišos [31]. Išvalyti gabalai apdorojami į maždaug 20 mm dydžio PET dribsnius, kurie vėliau džiovinami vakuume, kad būtų pašalinta drėgmė [31]. Šie sausi dribsniai išlydomi ir susukami į gijas – paverčiant juos pluoštine forma, tinkama tekstilės gamybai. Siūlai tempiami, apdailinami ir gofruojami, kad būtų pagerintos jų savybės ir suteikta tekstūra [31]. Šis efektyvus perdirbimo būdas ne tik taupo išteklius, nes sumažina pirminių medžiagų poreikį, bet ir sumažina poveikį aplinkai, nes mažėja atliekų [31].



3 pav. PET butelių atliekų perdirbimas į tekstilinį pluoštą [31]

Yra pastebėta, kad perdirbti PET siūlai ir audiniai, palyginti su naujais PET produktais, pasižymi geresnėmis fizikinėmis savybėmis, pavyzdžiui, didesniu standumu ir antibakterinėmis savybėmis [30]. Moksliniai tyrimai rodo, kad PET perdirbimas ne tik mažina šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimą, bet ir suteikia ekonominių privalumų, generuojant mažesnes gamybos išlaidas [30]. 1 lentelėje vaizduojama, kad perdirbtos PET tekstilės savybės yra geresnės nei neperdirbtos PET [32]. Taip pat, rPET technologija yra paprastesnis procesas palyginti su neperdirbto poliesterio gamyba.

rPET tekstilės gamyba sunaudoja 85% mažiau energijos ir 90% mažiau vandens, taip pat išskiria 50%-65% mažiau anglies ir sieros dioksido [32].

1 lentelė. PET ir rPET palyginimas [32]

	PET	rPET
Drėgmės sugėrimas	Drėgmės sugėrimas neperdirbto PET yra mažesnis	Drėgmės sugėrimas rPET yra didesnis
Standumas	Neperdirbto PET standumas yra didesnis	Perdirbtas PET yra lankstesnis ir geriau krenta
Glamžymasis	Neperdirbto PET glamžymasis yra šiek tiek mažesnis	Perdirbto PET glamžymasis yra šiek tiek didesnis
Plyšimo stiprumas	Beveik tas pats abiem audiniams	Beveik tas pats abiem audiniams
Spalvų atsparumas	Panašus abiejuose audiniuose	Panašus abiejuose audiniuose
Atsparumas trinčiai	Panašus abiejuose audiniuose	Panašus abiejuose audiniuose
Susitraukimas	Didesnis susitraukimas neperdirbto PET	Mažesnis susitraukimas perdirbto poliesterio

1.9.3. Medžiaginių ortakių privalumai

Medžiaginiai ortakiai (4 pav.) suteikia daug privalumų paskirstant orą didelėse erdvėse, pavyzdžiui, pramonėje, daugiafunkcinėse salėse, viešosiose erdvėse ir net namuose. Visų pirma, medžiaginiai ortakiai suteikia daug privalumų didelėms erdvėms:

- lankstumą renkantis dydį;
- norimą išdėstymą;
- spalvos ir medžiagos, atitinkančios pastato architektūrą ir estetinius reikalavimus [33].

Medžiaginiai ortakiai taip pat:

- efektyviai paskirsto orą laminariniu srautu;
- sumažina vibraciją ir triukšmą;
- užtikrina tolygesnį kondicionuoto oro paskirstymą, nereikalaujant oro balansavimo;
- medžiagos, naudojamos medžiaginiuose ortakiuose, yra atsparios ugniai ir nesudaro kondensato, todėl jie yra saugesni ir sveikesni žmonėms [33].



4 pav. Medžiaginiai ortakiai [8]

Medžiaginius ortakius taip pat lengva montuoti ir prižiūrėti, jie yra higieniški, gali būti pagaminti iš perdirbtų medžiagų, todėl sumažėja anglies dvideginio išmetimas. Skirtingai nei metaliniai ortakiai

(5 pav.), medžiaginius ortakius galima lengvai nuimti ir išplauti, o kai kurie gamintojai netgi siūlo aktyvią antimikrobinę priemonę, užtikrinančią bakterijų, tiesiogiai besiliečiančių su medžiaga, pašalinimą. Apskritai, medžiaginiai ortakiai yra tvarus ir efektyvus įvairių patalpų vėdinimo sprendimas [33] [8].



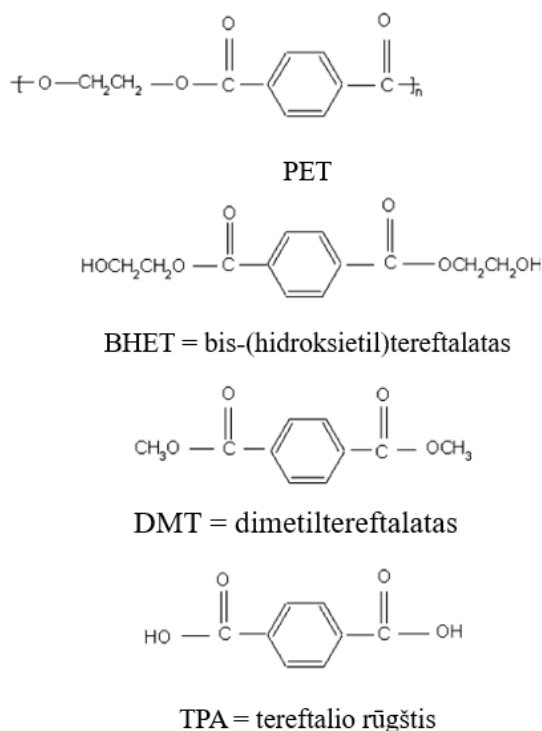
5 pav. Metalinis ortakis [8]

1.9.4. Medžiaginių ortakių šalinimas

Pagrindinė medžiaginių ortakių sudedamoji medžiaga yra polietileno tereftalato tekstilinis pluoštas. 2019 m. PET buvo pagaminta 30.5 mln. tonų, iš kurių 60 % buvo panaudota pluošto gamybai tekstilės pramonėje ir 30 % – butelių pramonėje, o iki 2024 m. ji turėtų išaugti iki 35.3 mln [34]. Paprasti PET audiniai (100 % PET) perdirbami trimis būdais: mechaniniu, cheminiu ir termomechaniniu.

Mechaninis metodas siūlo paprasčiausią ir efektyviausią būdą, įskaitant audinio surinkimą, rūšiavimą, pjaustymą ir smulkinimą iki pluošto [34]. Šis susmulkintas pluoštas naudojamas neaustinei tekstilei arba izoliacijai. Kita šio susmulkinto pluošto dalis gali būti tiekiamą į verpimo procesą, kad būtų gauti šiurkštūs siūlai [34]. Tačiau net ir naudojant švarias PET atliekas, mechaninio perdirbimo metodas vis tiek lemia trumpesnę pluošto gyvavimo laiką, o perdirbtas pluoštas dažnai maišomas su pirminiais pluoštais, skirtais drabužiams gaminti. Mechaninis metodas yra paprasčiausias ir populiariausias [34].

Cheminiai metodai yra plačiai naudojami perdirbant PET pluošto gamybos atliekas, įskaitant PET butelių atliekas. Du paplitę depolimerizacijos metodai yra glikolizė ir metanolizė [30]. Cheminio perdirbimo metodai sukelia destruktivius mechaninius, šilumos ir elektros laidumo pokyčius PET savybėse [30] [35]. Cheminis perdirbimas gali būti taikomas polietilentereftalato tekstiliniam pluoštui perdirbti. Cheminis perdirbimas yra pasiekiamas visiškai depolimerizuojant į pluoštą į monomeras arba daline depolimerizacija į oligomeras [35]. Cheminės medžiagos, naudojamos PET depolimerizacijai, yra vanduo (hidrolizės procesui), metanolis (metanolizės procesui) ir etilenglikolis (glikolizės procesui) [35]. Junginių, susidarančių depolimerizuojant PET struktūras palyginimas su PET struktūra vaizduojamas 6 pav. Pagrindinis PET chemolizės trūkumas yra didelė kaina [35]. Cheminio metodo procesai yra sudėtingi ir brangūs, tačiau galutinio produkto ekonominė vertė taip pat yra didelė [34] [36].



6 pav. Junginių struktūrinis palyginimas PET depolimerizacijos procese [36]

Termomechaninis metodas pagrįstas PET atliekų perlydymu, siekiant gauti pakartotines granules, kurios gali būti naudojamos kuokštelinio pluošto gamyboje arba plastiko pramonėje [35]. Dauguma termomechaninių metodų yra pakartotiniai ekstruzijos procesai, susidedantys iš kelių pjovimo, sutankinimo/džiovinimo ir padavimo į ekstruderį etapų [35]. Termomechaniniai metodai yra paprastesni nei cheminiai metodai, o produktų ekonominė vertė paprastai yra didesnė nei gaunama naudojant mechaninius metodus [35].

1.10. Metalinių ortakių medžiagos

Metalinių ortakių medžiagos yra svarbios ventiliavimo sistemose. Skirtingi metalai naudojami ortakių gamybai gali būti cinkuotas plienas, stiklo pluošto cinkuotas plienas, anglinis plienas, aliuminis bei nerūdijantis plienas [37] [38]. Cinkuotas plienas bei stiklo pluošto cinkuotas plienas pasižymi ekonominiu efektyvumu, ilga tarnavimo trukme ir tinkamumu daugeliui oro ventiliavimo sistemų [37] [38].

- Cinkuoto plieno ortakiai, tradicinis pasirinkimas, pasižymi savo ilgaamžiškumu, todėl yra puikus pasirinkimas įvairioms oro paskirstymo sistemoms. Vis dėl to, jų gamybos ir surinkimo sąnaudos yra santykinai didelės. Cinkuotas plienas susideda iš plieno lakšto, padengto cinku, formuojant apsauginį sluoksnį, kuris užkerta kelią korozijai, užtikrindamas ilgalaikį tarnavimą [38];
- Metaliniai ortakiai taip pat gali būti cinkuoto plieno su stiklo pluošto izoliaciniu sluoksniu. Dažniausiai šis sluoksnis naudojamas kaip išorinė izoliacija komercinėse ir gyvenamosiose šildymo, oro kondicionavimo ir dvigubų temperatūrų ortakių sistemose [38];
- Anglinis plienas (juoda geležis) – naudojami dūmtakiuose, kaminuose, gaubtuose ir kituose aukštos temperatūros ortakių sistemose, kuriems reikia specialios dangos. Privalumai yra

- didelis stiprumas, standumas, ilgaamžiškumas, prieinamumas, suvirinamumas. Trūkumai yra blogas atsparumas korozijai ir didelis svoris [38];
- Aliuminis – aliuminio ortakiai dažniausiai naudojami švarioms patalpoms. Jie taip pat yra pritaikomi drėgnam orui, specialioms išmetimo sistemoms ar dekoratyvinėms sistemoms. Privalumai yra mažas svoris ir atsparumas korozijai. Trūkumai mažas stiprumas, aukšta medžiagų kaina, prastas suvirinamumas [38];
 - Nerūdijantis plienas – naudojamas virtuvės išmetimo, drėgmės pripildyto oro ir dūmų kanalų ortakių sistemose. Privalumai yra didelis atsparumas korozijai ir daugumai cheminių medžiagų. Trūkumai aukšta medžiagų kaina, medžiagų prieinamumas [38].

1.11. Ortakių izoliacija

Baigiamajame darbe modeliuojamas cinkuoto plieno ortakis bus izoliuotas stiklo pluoštu. Stiklo pluoštas yra vienas populiariausių būdų užtikrinti garso valdymą, kondensato prevenciją, oro kokybę bei energijos vartojimo efektyvumą šildymo, šaldymo bei ventiliavimo sistemose [39]. Vertinant garso kontrolę yra žinoma, kad metaliniai ortakiai gali generuoti ir perduoti triukšmą iš oro srauto ir pačios ŠVOK sistemos veikimo. Ortakių izoliacija slopina šį triukšmą, todėl aplinka bus tylesnė. Kondensato prevencija yra svarbi, nes vandeniui kaupiantis ortakio konstrukcijoje gali pradėti daugintis bakterijos bei augti pelėsis [39]. Šie veiksniai turėtų neigiamą poveikį oro kokybei, nes paduodamas oras į patalpas nebebūtų švarus. Energijos vartojimo efektyvumai izoliavus ortakį padėtų palaikyti šildomo ar šaldomo oro temperatūrą [39].

1.12. Cinkuoto plieno ortakiai

Metalinis ortakis modeliuojamas iš cinkuoto plieno. Daugelį metų cinkuotas plienas buvo naudojamas ortakiuose. Vis dėlto jį brangu pagaminti ir montuoti. Cinkuotas plienas yra naudojamas įvairiose oro paskirstymo srityse, tokiose kaip karšto oro sistema, šalto oro sistema ir dviguba sistema. Tai yra plieno lakštas, kuris yra apdorotas cinku, kad metalo paviršiuje susidarytų danga [40]. Ši cinkuoto plieno danga veikia kaip barjerinis anodo sluoksnis, apsaugantis plieno paviršių nuo teršalų ir mechaninių pažeidimų [41]. Antikorozinė cinkuoto plieno danga gali sumažinti metinius nuostolius dėl plieno korozijos sumažinimo 20–30 % [41]. Cinkuotas plienas taip pat yra plačiausiai naudojamas dengtas plienas statybų, automobilių ir elektronikos gamybos pramonėje dėl mažos kainos, ilgaamžiškumo ir lengvos priežiūros [41].

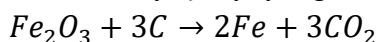
1.12.1. Plieno gamyba

Plienas yra plačiausiai naudojamas metalų (t. y. geležies) lydinys, o jo gamyba pasaulyje daugiau nei penkiasdešimt kartų viršija bendrą visų kitų metalų gamybą, dėl šios priežasties geležis ir plienas sudaro vieną grupę (t. y. juodieji metalai), o kiti metalų deriniai (išskyrus geležį) sudaro kitą grupę (t. y. spalvotieji metalai) [42].

Aukštakrosnių procesas (7 pav.) yra labai svarbus geležies ir plieno gamybos etapas, atliekantis esminį vaidmenį paverčiant žaliavas išlydyta geležimi, vadinama karštuoju metalu arba ketumi. Aukštakrosnės procesas susideda iš šių žingsnių [42]:

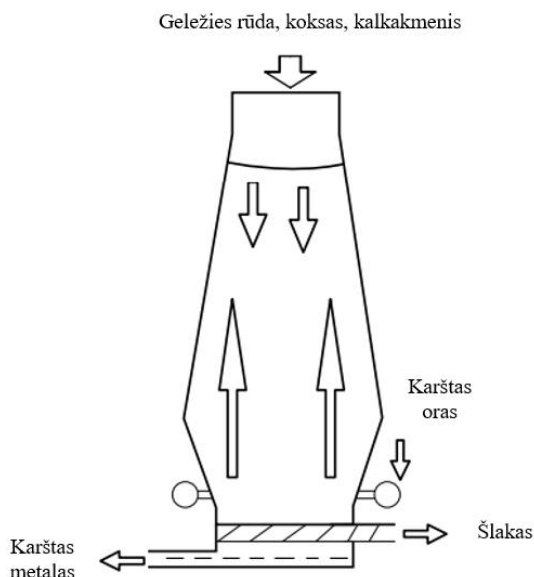
1. Žaliavos paruošimas: procesas prasideda nuo žaliavų, visų pirma geležies rūdos, kokso ir kalkakmenio, paruošimo. Šios medžiagos yra kruopščiai atrenkamos ir apdorojamos, siekiant užtikrinti tinkamą cheminę sudėtį ir dydį, kad būtų galima efektyviai sumažinti aukštakrosnės darbą [42].

2. Geležies rūdos mažinimas: Aukštakrosnės viduje žaliavos įkraunamos sluoksniais. Krosnies viršuje kraunama geležies rūda. Medžiagoms leidžiantis per krosnį, per krosnies dugne esančius vamzdžius (purkštukus) įpučiamas karštas oras, įkaitintas iki aukštesnės nei 1000°C temperatūros. Kokso anglis veikia kaip reduktorius, reaguodama su deguonimi geležies rūdoje, kad susidarytų išlydyta geležis ir anglies dioksido dujos pagal cheminę lygtį [42]:



3. Karšto metalo susidarymas: Redukcijos proceso produktas yra karštas metalas, kuriame yra priemaišų, tokių kaip anglis, silicis, manganas ir kiti elementai. Karšto metalo sudėtis paprastai svyruoja nuo 3,5% iki 4,5% anglies, nuo 0,5% iki 1,25% silicio, nuo 0,5% iki 0,75% mangano ir kitų mikroelementų [42].
4. Kietėjimas į ketus: iš aukštakrosnės išleidžiamas karštas metalas, kuris sukietėja į mažo dydžio luitus, kurie vadinami ketus. Ketus pasižymi dideliu anglies kiekiu, todėl jis yra trapus ir netinkamas daugeliui naudojimo būdų be tolesnio apdorojimo [42].
5. Rafinavimo procesas: nors karštas metalas gali būti tiesiogiai naudojamas tam tikrose srityse, paprastai jis toliau tobulinamas, kad būtų pagamintas plienas. Šis rafinavimo procesas apima priemaišų oksidavimą karštame metale, siekiant pakoreguoti jo sudėtį ir savybes. Vienas iš įprastų karšto metalo rafinavimo būdų yra LD (Linco-Donawitzo) procesas, kai deguonis pučiamas per išlydytą metalą, kad būtų pašalintos priemaišos ir kontroliuojamas anglies kiekis, o galiausiai gaunamas įvairių rūšių plienas. LD (Linco-Donawitzo) procesas aptariamame skyriuje [42].

Aukštakrosnių procesas yra labai svarbus geležies ir plieno gamybos etapas, kai žaliavos, tokios kaip geležies rūda ir koksas, paverčiamos išlydyta geležimi (karštu metalu), kurią vėliau galima toliau rafinuoti į plieną naudojant LD procesą. Ketus, sukietėjusio karšto metalo forma, yra svarbus tarpinis produktas plieno gamybos procese ir yra žaliava įvairių rūšių plienui gaminti [42].



7 pav. Aukštakrosnės schema [42]

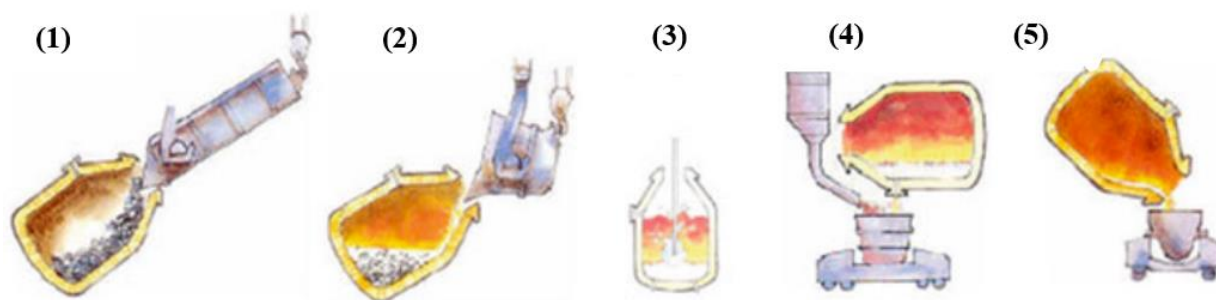
1.12.2. Plieno laužo apdirbimas

LD (Linco-Donawitzo plieno gamyba) proceso būdu (6 pav.) galima gaminti platų asortimentą plieno, įskaitant anglinį ir mažai legiruotą plieną, minkštą plieną, skirtą visų rūšių lakštų formavimui [42].

LD plieno gamybos procesas apima penkis pagrindinius etapus, kurių kiekvienas prisideda prie žaliavų pavertimo aukštos kokybės plienu. 8 paveiksle matyti LD proceso schema, kuri susideda iš šių žingsnių:

1. Laužo įkrovimas: šiame etape į LD konverterio indą įkraunamas plieno laužas. Plieno laužas paprastai susideda iš perdirbto plieno iš įvairių šaltinių, tokių kaip seni automobiliai, prietaisai ir pramoninė įranga. Įkrovimo laužas leidžia pakartotinai naudoti plieną ir padeda sumažinti bendras plieno gamybos sąnaudas [42];
2. Karšto metalo įkrovimas: Karštas metalas, taip pat žinomas kaip ketaus, įkraunamas į LD konverterio indą kartu su plieno laužu. Ketaus yra gaminamas aukštakrosnėje ir jame yra daug anglies ir kitų priemaišų. Sujungus karštą metalą su plieno laužu, LD procesas gali kontroliuoti anglies kiekį ir bendrą gaminamo plieno sudėtį [42];
3. Deguonies pūtimas: Kai plieno laužas ir karštas metalas yra įpilami į LD konverterio indą, deguonis į išlydyto metalo indą pučiamas per vamzdelį. Didelio grynumo deguonis reaguoja su anglimi ir kitomis metale esančiomis priemaišomis, jas oksiduodamas ir pašalindamas iš plieno šlako pavidalu. Deguonies pūtimo procesas taip pat padeda pakelti metalinės vonios temperatūrą ir skatina medžiagų maišymąsi [42];
4. Ferolydinių išpylimas ir papildymas: Baigus deguonies pūtimo procesą ir pasiekus pageidaujamą sudėtį bei temperatūrą, plienas iš LD konverterio indo supilamas į kaušus tolesniam apdorojimui. Šiame etape į išlydytą plieną gali būti dedama ferolydinių, siekiant specifinių norimų savybių arba pakoreguoti galutinę sudėtį [42];
5. Šlako išpylimas: LD proceso metu šlakas susidaro oksiduojantis priemaišoms metalinėje vonioje. Šlakas plūduriuoja ant išlydyto plieno ir periodiškai pašalinamas nuo vonios paviršiaus. Šlako išpylimas apima šlako išpylimą iš LD konverterio indo į šlako indus, skirtus šalinti arba perdirbti. Šlako pašalinimas padeda toliau išvalyti plieną ir pagerinti jo kokybę [42].

Apskritai LD procesas yra labai efektyvus ir lankstus plieno gamybos būdas, leidžiantis gaminti aukštos kokybės plieną iš įvairių žaliavų. Kontroliuodami sudėtį ir apdirbimo parametrus, plieno gamintojai gali pritaikyti LD procesą taip, kad atitiktų konkrečius reikalavimus [42].



8 pav. LD veikimo žingsniai [42]

1.13. Medžiaginių ir metalinių ortakių tarnavimo laikas

Medžiaginių ortakių tarnavimo laikas tiesiogiai priklauso nuo audinio tipo, naudojimo sąlygų ir ar laikomasi gamintojo reikalavimų. Pagal aplinkosauginio vertinimo deklaraciją, kurioje yra atliekamas medžiaginių ortakių būvio ciklo vertinimas, jų tarnavimo trukmė yra laikoma apie 25 metai [43].

Metalinių ortakių ventiliavimo sistemų laikas ASHRAE įrangos tarnavimo trukmės lentelėje nurodomas 20-30 metų [44]. Patys metaliniai ortakiai gali tarnauti apie 30 metų, vis dėlto kitos dalys, tokios kaip ortakių sujungimai tarnauja apie 20 metų [44].

1.14. Ortakių poveikio aplinkai vertinimas

Atlikti medžiaginių, perdirbtų medžiaginių ir metalinių ortakių būvio ciklo vertinimą svarbu, nes nors ir medžiaginiai ortakiai yra apibūdinami kaip geresnė alternatyva tradiciniams metaliniams ortakiams, jie vis vien yra gaminami iš sintetinių medžiagų tokių kaip polietilentereftalatas, kurios gali turėti neigiamą poveikį aplinkai. Taip pat, atlikus būvio ciklo vertinimą galima įsivertinti galimybes ir sprendimus kaip sumažinti poveikį aplinkai ir kaip, kai kuriuose žingsniuose būtų galima patobulinti medžiaginių ortakių tvarumą, pvz. naudoti skirtingas medžiagas, patobulinti gamybos procesus [45] [46] [47].

Šiuo metu nėra atliktų mokslinių tyrimų, kurie palygintų medžiaginių, perdirbtų medžiaginių ir metalinių ortakių poveikį aplinkai remiantis būvio ciklo vertinimo metodologija. Vis dėlto yra atliktas būvio ciklo vertinimas metaliniams ortakiams.

Manuel Botejara-Antúnez, Jaime González Domínguez, and Justo García-Sanz-Calcedo straipsnyje „Life cycle analysis methodology for heating, ventilation and air conditioning ductwork in healthcare buildings“ 2023 metais atliko dvylikos skirtingų ŠVOK ortakių tipų apžvalgą remiantis būvio ciklo vertinimu [48]. Remiantis šia metodika buvo įvertinta poveikis aplinkai pagal įvairius veiksnius, tokius kaip medžiagos tipas, tankis, šiluminis laidumas, transportavimas ir energijos suvartojimas. Tyrimo metu buvo pasirinkti keli ŠVOK ortakių tipai, kurių kiekvienas turi savo privalumų ir trūkumų [48]. Aliuminio ortakis su stiklo pluošto izoliacija parodė geriausias poveikio aplinkai savybes, tačiau buvo nustatyta, kad yra lengvai pažeidžiamas ir mažai atsparus bakterijų dauginimuisi [48]. Vario ortakis su akmens vatos izoliacija nustatyta, jog taip pat turi mažą poveikį aplinkai bei turi gerą atsparumą mikrobams, todėl yra tinkamas ligoninėms, nepaisant didesnių sąnaudų ir darbo laiko. Alternatyvus sprendimas – poliuretano ortakiai – rodė daug žadančias poveikio aplinkai reikšmes, nedideles sąnaudas ir darbo laiką, tačiau buvo nustatyti valymo iššūkiai dėl paviršiaus šiurkštumo [48]. Cinkuoto plieno ortakiai su stiklo pluošto izoliacija pasižymėjo dideliu neigiamu poveikiu aplinkai, todėl jie nelaikomi palankia alternatyva [48]. Kaip teigiamos savybės, nustatyta, kad jie yra nebrangūs ir pasižymi ilgą gyvenimo trukme, nes yra atsparūs korozijai [48].

Produkto poveikį aplinkai taip pat vertina produkto poveikio aplinkai deklaracijos (EPD). Ši deklaracija yra dokumentas, kuris yra patikrintas ir standartizuotas, ir jame aiškiai aprašomas gaminio poveikis aplinkai per visą jo būvio ciklą [49]. Produkto poveikio aplinkai deklaracija (EPD), dar vadinama III tipo aplinkosaugos deklaracija, yra standartizuota (ISO 14025) ir būvio ciklo metodologija pagrįsta priemonė, skirta informuoti apie gaminio aplinkosauginį poveikį [49]. Viena iš šių deklaracijų 2020 metais vertino medžiaginių Prihoda® gamintojo ortakių poveikį aplinkai [43]. Tyrime vienas iš vertinamų modelių buvo „Prihoda Recycled, vidutinio svorio PMSre“ modelio ortakis su difuzoriais, kurie pagaminti iš 100% perdirbto poliesterio audinio, atsparūs ugniai ir pasižymėjo antibakterinėmis savybėmis [49]. Tyrime pasirinktas funkcinis vienetas – 1 kv. m. pagrindinio produkto, naudojamo gaminant ortakio paviršiaus plotą. Produkto tarnavimo laikotarpis buvo nustatytas 25 metai, įskaitant 25 produkto skalbimo ciklus, kaip dalį sistemos priežiūros. Sistemos ribos apėmė tris dalis – pirminius procesus (išteklių išgavimas, rafinavimas ir transportavimas, žaliavų išgavimas, žaliavų perdirbimas, pakavimo medžiagų gamyba), antrinius

procesus (medžiagų transportavimas į gamyklą, ortakių ir difuzorių gamyba ir montavimas, pakavimas, gamybos atliekų tvarkymas) bei tretinius procesus (galutinio produkto transportavimas, naudojimo fazė, produkto gyvavimo pabaiga (išmetimas į sąvartyną), pakuotės gyvavimo pabaiga (perdirbimas arba šalinimas sąvartynuose) [43]. Atlikus tyrimą buvo vertinamos šios poveikio kategorijos: visuotinis atšilimas (viso 2.27 kg CO₂ emisijų), ozono ardymas (viso 2.72 x 10⁻⁷ kg CFC⁻¹¹ emisijų), rūgustingumas (viso 0.0101 kg SO₂ emisijų), eutrofikacija (viso 0.00932 kg N emisijų), smogas (viso 0.169 kg O₃ emisijų), iškastinio kuro eikvojimas (viso 2.48 MJ emisijų) [43].

1.15. Teorinės darbo dalies aptarimas

Tinkamas vėdinimas yra labai svarbus norint išlaikyti gerą patalpų oro kokybę ir sumažinti pavojų sveikatai. Vėdinimo sistemos turėtų būti pritaikytos įvairiems veiksniams, įskaitant pastato tipą, gyventojų skaičių ir klimatą. Naudojant pažangius metodus ir technologijas galima įvertinti ir pagerinti pastato vėdinimą, kad būtų užtikrinta optimali patalpų oro kokybė ir komfortas. Netinkamo vėdinimo pasekmės gali būti įvairios – nuo diskomforto ir nemalonaus kvapo iki kvėpavimo takų ligų. Patalpų oro teršalus galima suskirstyti į dujinius teršalus ir kietas daleles, kurie įkvėpti gali sukelti ūmų arba lėtinį poveikį sveikatai. Taip pat, patalpose yra daug teršalų šaltinių, įskaitant degimo įrenginius, tabako dūmus, statybines medžiagas ir įvairius namuose naudojamus gaminius. Yra du pagrindiniai oro valymo tipai: ŠVOK ir nešiojamieji oro valytuvai. ŠVOK filtrai ir kiti ortakiuose montuojami oro valymo įrenginiai skirti valyti orą centrinėje namų ŠVOK sistemoje ir gali tiekti išvalytą orą į daugelį namo dalių. O nešiojamieji oro valymo įrenginiai skirti valyti orą vienoje patalpoje. Oro paskirstymo sistemos konstrukcija yra labai svarbi siekiant užtikrinti subalansuotą ir stabilų oro srautą, taip pat palaikyti patalpų komfortą ir oro kokybę. Pagrindinė ŠVOK sistemos sudedamoji dalis yra ortakiai. Jie gali būti medžiaginiai arba metaliniai. Medžiaginiai ortakiai yra perspektyvi technologija, turinti pranašumų, palyginti su tradicinėmis ortakių sistemomis. Medžiaginiai ortakiai yra lengvi, lankstūs ir pritaikomi bet kokiais formai ar dydžiui, todėl yra idealus sprendimas unikalioms architektūrinėms reikmėms. Taip pat, medžiaginiai ortakiai efektyviai paskirsto orą laminariniu srautu, sumažindami vibraciją ir triukšmą, tuo pačiu užtikrindami tolygesnį oro paskirstymą. Medžiaginius ortakius lengva montuoti, prižiūrėti, jie gali būti pagaminti iš perdirbtų medžiagų. Dėl šių privalumų medžiaginiai ortakiai yra tvarus ir efektyvus įvairių patalpų vėdinimo sprendimas, ypač didelėse komercinėse ir pramoninėse patalpose. Nors medžiaginiai ortakiai tampa vis populiarese alternatyva tradicinėms ortakių sistemoms ŠVOK pramonėje, vis dėlto iki galo nėra išsiaiškinta, kokį poveikį aplinkai daro medžiaginiai ortakiai. Padėti įvertinti ortakių įtaką aplinkai gali būvio ciklo vertinimas. Būvio ciklo vertinimas yra vertinga priemonė aplinką tausojantiems gamintojams ir vartotojams, nes ji suteikia patikimą ir išsamią informaciją renkantis tvarius produktus ir gamybos procesus. Pagrindinis būvio ciklo vertinimo tikslas yra palyginti alternatyvius produktus, procesus ar paslaugas, palyginti alternatyvius tam tikro produkto ar paslaugos gyvavimo ciklus arba nustatyti būvio ciklo dalis, kuriose galima atlikti didžiausius patobulinimus [45] [46] [47].

2. Tyrimo metodika

Tyrimas atliekamas remiantis būvio ciklo vertinimo metodika. Būvio ciklo vertinimas – tai sistemingas ir išsamus metodas, naudojamas produkto, paslaugos ar proceso poveikiui aplinkai įvertinti per visą jo gyvavimo ciklą – nuo žaliavos išgavimo iki šalinimo [45] [46]. Vertinimas yra atliekamas pagal tarptautinius ISO 14040:2006 [47] ir ISO 14044:2006 [50] standartus. ISO 14040:2006 ir ISO 14044:2006 standartai pateikia būvio ciklo vertinimo gaires ir struktūrą. Yra išskiriami keturi pagrindiniai etapai būvio ciklo vertinimui atlikti [50]:

1. Tikslų ir apimtį apibrėžtis: tikslo ir apimtį etape siekiama apibrėžti, kokia produkto būvio ciklo dalis bus įvertinama ir kokiam tikslui poveikio vertinimas bus skirtas [50]. Atliekant būvio ciklo vertinimo tyrimą, reikia nusistatyti tyrimo vykdymo priežastis, rezultatų taikymą. Apibrėžiant tyrimo apimtį, ISO 14044 reikalauja išnagrinėti ir apibūdinti [50]:
 - tiriamąją gaminio sistemą;
 - gaminio sistemos ar sistemų, jei tyrimai yra lyginamieji, funkcijas;
 - funkcinį vienetą;
 - sistemos ribas.
2. Inventorinė analizė: apima energiją, žaliavas, fizines sąnaudas, produktus, šalutinius produktus, atliekas, išmetimą į orą/vandenį/dirvožemį ir kitus aplinkosaugos aspektus. Duomenys renkami tiek apie pirminius procesus (pvz., gaminių gamybą ir pakavimą), tiek apie aplinkinius procesus (pvz. elektros suvartojimą) [50].
3. Poveikio įvertinimas: Informacija iš inventorinės analizės yra naudojama poveikio įvertinimui. Šiame žingsnyje yra detalizuojami vertinamų poveikio kategorijų rodiklių rezultatai [50].
4. Interpretavimas: Interpretavimas apima tyrimo rezultatų analizę ir vertinimą. Interpretavimo etapo tikslas yra aiškiai suprasti tiriamo produkto ar proceso poveikį aplinkai [50].

2.1. Tyrimo tikslo, funkcinio vieneto ir ribų apibrėžimas

Tyrimo tikslas: atlikti būvio ciklo vertinimą medžiaginiams ortakiams, perdirbtiems medžiaginiams ortakiams ir metaliniams ortakiams. Palyginti skirtingų ortakių poveikį aplinkai, identifikuoti didžiausią ir mažiausią įtaką aplinkai keliančias medžiagas ir procesus. Tyrimo objektas – medžiaginis ortakis, pagamintas iš polietilentereftalato, perdirbtas polietilentereftalato medžiaginis ortakis, pagamintas iš perdirbtų PET butelių ir metalinis ortakis, pagamintas iš cinkuoto plieno.

Funkcinis vienetas: 100 kvadratinė metrų (m^2) patalpos vėdinimas per 20 metų.

Pagal rekomendacijas metalinis ortakis gali tarnauti apie 20-30 metų [44], o medžiaginis ortakis gali tarnauti apie 25 metus [42], jei yra gerai prižiūrimas. Atliekant vertinimą šiems ortakiams priimama, kad metaliniai ortakiai bus išmontuojami po 20 metų, o medžiaginiai ir perdirbti medžiaginiai ortakiai išplaunami praėjus 10 metų laikotarpiui ir išmontuojami po 20 metų.

Medžiaginiai ir perdirbti medžiaginiai ortakiai po panaudojimo yra išmontuojami ir PET bei aliuminio atliekos perdirbamos. Metaliniai ortakiai po panaudojimo taip pat bus išmontuojami ir 70 % cinkuoto plieno bus perdirbama, o 30 % plieno šalinama deginimo procesu.

Būvio ciklo vertinimo sistemos ribos: vertinamas ortakių būvio ciklas, kurį sudarys pirminiai procesai – išteklį išgavimas, žaliavų išgavimas, žaliavų apdorojimas, pakuotės gamyba, antriniai procesai – medžiagų transportavimas į gamyklą, ortakio gamyba, ortakio priežiūra, tretiniai procesai – produkto gyvavimo pabaiga (perdirbimas, atliekų deginimas, pakuotės gyvavimo pabaiga

(perdirbimas, deginimas). Nebus vertinami gamybos procesai tarpiniams ortakio komponentams pagaminti bei ortakių montavimo ir išmontavimo darbai. Sistemos riboms apibrėžti, naudojant automatizuotą projektavimo sistemą AutoCad, buvo sukurtas ventiliuojamos sistemos grafinis vaizdas, pateikiamas 1 priede (15 pav.).

2.2. Būvio ciklo vertinimo inventorinė analizė

Būvio ciklo inventorinė analizė apima įvesties ir išvesties duomenų, kurie yra susiję su tiriamuoju projektu bei apibrėžtomis sistemos ribomis, suradimą ir apskaičiavimą. Norint atlikti modeliavimą su „SimaPro 9.0“ programine įranga yra reikalinga inventorinė analizė, kokios medžiagos bus sunaudojamos per visą būvio ciklą – įskaitant žaliavų išgavimą, gamybą, transportavimą ir šalinimą. Apskaičiuoti, kokio dydžio sistema, bus reikalinga 100 kvadratinių metrų (m²) patalpos vėdinimui per 20 metų, naudojamos patalpos vėdinimo greičio, skerspjūvio ploto, skersmens bei paviršiaus ploto formulės.

2, 3 lentelėse pateikiama inventorinė analizė medžiaginių ortakių ventiliacinei sistemai. 4, 5 lentelėse pateikiama perdirbtų medžiaginių ortakių inventorinė analizė, kuri yra analogiška, tik naudojamas perdirbtas PET. 6, 7 lentelėse pateikiama inventorinė analizė metalinių ortakių ventiliacinei sistemai. Šie duomenys bus naudojami apskaičiuojant realias vertes, skirtas atlikti ventiliacinių sistemų modeliavimą „SimaPro“ programinėje įrangoje.

Atliekamas būvio ciklo vertinimas apima įvairias medžiagas ir procesus, kurie prisideda prie gaminio gamybos, priežiūros ir eksploatavimo pabaigos. Pagrindiniai medžiaginio ortakio komponentai yra polietilentereftalatas (PET), naudojamas audiniams ir komponentams, tokiems kaip užtrauktukai, PVC ir PET juostelės konstrukciniams elementams, ir polioksimetilenas (POM) mechaninėms dalims, pvz., slankikliams. Metaliniai komponentai, tokie kaip anoduoto aliuminio profiliai, aliuminės jungtys ir aliuminio kabelių spynos, užtikrina ilgaamžiškumą ir funkcionalumą. Pakavimui naudojamos kartoninės dėžės ir polietileniniai maišeliai, užtikrinantys saugų transportavimą ir laikymą. Transportavimo fazė apskaičiuojama tonkilometrais, atspindinčiais logistikos poveikį aplinkai. Priežiūra apima medžiaginio ortakio plovimą po 10 metų, kuriam naudojami plovikliai, vanduo bei elektra. Ortakio gyvavimo pabaiga apima PET tekstilinio audinio, PVC ir aliuminio perdirbimo procesus ir bendrą atliekų šalinimą.

2 lentelė. Medžiaginių ortakių sistemos inventoriniai duomenys [51]

Įvesties duomenys			
Nr.	Gamyba/medžiagos	Matavimo vnt.	Vertė
1	Audinys (PET)	kg	x
2	Dirželiai (PVC)	kg	x
3	Dirželiai (PET)	kg	x
4	Slankikliai (POM)	kg	x
5	Anodizuotas aliumininis H-profilis	kg	x
6	Jungtys (aliuminis)	kg	x
7	Aliuminio virvė	kg	x
8	Reguliuojama kabelio spyna (aliuminis)	kg	x

3 lentelė. Medžiaginių ortakių sistemos inventoriniai duomenys (2 lentelės tęsinys) [51]

9	Reguliuojama kabelio spyna (feronikelis)	kg	x
10	Plastikinis galinis užraktas su 2 sklendėmis	kg	x
11	Siūlai (PET)	kg	x
12	Užtrauktukas (PET)	kg	x
13	Užtrauktukas (cinko lydinys be nikelio)	kg	x
Pakavimas			
14	Kartoninės dėžės	kg	x
15	PE maišeliai	kg	x
Transportavimas			
16	Autovežis	tkm	x
Priežiūra			
17	Skalbimo milteliai vienam skalbimui	kg	x
18	Vandens sunaudojimas vienam skalbimui	kg	x
19	Elektrinės energijos sunaudojimas vienam skalbimui	kWh	x
Energija			
20	Elektra	kWh	x
Išvesties duomenys			
21	PET perdirbimas	kg	x
22	Aliuminio perdirbimas	kg	x
23	Metalo perdirbimas	kg	x
24	PVC perdirbimas	kg	x
25	Atliekų šalinimas	kg	x
26	Vandens valymas	kg	x

Pagrindiniai perdirbto medžiaginio ortakio komponentai yra perdirbtas polietilentereftalatas (PET), naudojamas audiniams ir komponentams, tokiems kaip užtrauktukai, perdirbtos PET juostelės konstrukciniams elementams, ir perdirbti PET siūlai. Visos kitos dalys yra analogiškos, kaip medžiaginių ortakių.

4 lentelė. Perdirbtų medžiaginių ortakių sistemos inventoriniai duomenys [51]

Išvesties duomenys			
Nr.	Gamyba/medžiagos	Matavimo vnt.	Vertė
1	Audinys (perdirbtas PET)	kg	x
2	Dirželiai (PVC)	kg	x
3	Dirželiai (perdirbtas PET)	kg	x
4	Slankikliai (POM)	kg	x
5	Anodizuotas aliumininis H-profilis	kg	x
6	Jungtys (aliuminis)	kg	x
7	Aliuminio virvė	kg	x
8	Reguliuojama kabelio spyna (aliuminis)	kg	x

5 lentelė. Perdirbtų medžiaginių ortakių sistemos inventoriniai duomenys (4 lentelės tęsinys) [51]

9	Reguliuojama kabelio spyna (feronikelis)	kg	x
10	Plastikinis galinis užraktas su 2 sklendėmis	kg	x
11	Siūlai (perdirbtas PET)	kg	x
12	Užtrauktukas (perdirbtas PET)	kg	x
13	Užtrauktukas (cinko lydinys be nikelio)	kg	x
Pakavimas			
14	Kartoninės dėžės	kg	x
15	PE maišeliai	kg	x
Transportavimas			
16	Autovežis	tkm	x
Priežiūra			
17	Skalbimo milteliai vienam skalbimui	kg	x
18	Vandens sunaudojimas vienam skalbimui	kg	x
19	Elektrinės energijos sunaudojimas vienam skalbimui	kWh	x
Energija			
20	Elektra	kWh	x
Išvesties duomenys			
21	PET perdirbimas	kg	x
22	Aliuminio perdirbimas	kg	x
23	Metalo perdirbimas	kg	x
24	PVC perdirbimas	kg	x
25	Atliekų šalinimas	kg	x
26	Vandens valymas	kg	x

Metalinų ortakių sistemos būvio ciklo vertinimas taip pat apima medžiagas ir procesus, skirtus įvertinti poveikį aplinkai. Pagrindinės naudojamos medžiagos yra pats metalinis ortakis, įvairių tipų ortakių jungiamosios detalės, tokios kaip 90 laipsnių alkūnės ir T formos alkūnės, taip pat pagrindiniai tvirtinimo elementai, tokie kaip varžtai, pakabos ir laikikliai, užtikrinantys saugų montavimą. Ortakiai yra izoliuojami stiklo pluoštu. Vertinant pakavimą, smulkios dalys yra pakuojamos polietilenu, kurie apsaugo nuo pažeidimų transportavimo metu. Ortakių gabenimas matuojamas tonkilometrais, atspindinčiais sunkvežimių vežamą atstumą ir svorį. Gamybos ir surinkimo procesų metu sunaudota energija apskaičiuojama kilovatvalandėmis, fiksuojant tiesioginį elektros vartojimo poveikį aplinkai. Ortakių būvio ciklo pabaigoje 70 % cinkuoto plieno yra perdirbama, sumažinant atliekų kiekį ir skatinant efektyvų išteklių naudojimą, o likusios plieno atliekos tvarkomos taikant atliekų deginimo procesą.

6 lentelė. Metalinių ortakių sistemos inventoriniai duomenys

Išvesties duomenys			
Nr.	Gamyba/medžiagos	Matavimo vnt.	Vertė
1	Metalinis ortakis (cinkuotas plienas)	kg	x
2	90 laipsnių formos ortakio alkūnės (2 vnt.)	kg	x

7 lentelė. Metalinių ortakių sistemos inventoriniai duomenys (6 lentelės tęsinys)

3	T formos ortakio alkūnės (3 vnt.)	kg	x
4	Jungtys (10 vnt.)	kg	x
5	Grotelės (4 vnt.)	kg	x
6	Varžtai, pakabos, laikikliai	kg	x
7	Stiklo pluoštas	kg	x
Pakavimas			
8	PE	kg	x
Transportavimas			
9	Autovežis	tkm	x
Energija			
10	Elektra	kWh	x
Išvesties duomenys			
11	Plieno perdirbimas (70 % perdirbama)	kg	x
12	Plieno laužo apdorojimas deginant (30 %)	kg	x
13	Atliekų šalinimas	kg	x

2.3. Būvio ciklo poveikio vertinimas

Parengus inventorinę būvio ciklo analizę, turi būti atliktas poveikio įvertinimas siekiant suskaičiuoti produkto aplinkosauginį veiksmingumą. Būvio ciklo poveikio vertinimas yra kritinis būvio ciklo vertinimo proceso etapas, kurio metu įvertinamas būvio ciklo inventorinėje analizėje nustatytas įvesties ir išvesties srautų poveikis aplinkai [47]. Būvio ciklo poveikio vertinimo procesas apima šiuos etapus [50] [52] [53]:

- Poveikio kategorijų nustatymas: atitinkamų kategorijų, kurioms gali turėti įtakos srautai, pavyzdžiui, klimato kaita arba išteklių išekvojimas, pasirinkimas;
- Klasifikacija: tai apima elementarių srautų atvaizdavimą pagal atitinkamas poveikio kategorijas;
- Apibūdinimas: šiame etape galimas poveikis kiekybiškai įvertinamas naudojant konkrečius konversijos koeficientus, kad būtų sukurtas kiekvienos poveikio kategorijos rodiklis;
- Normalizavimas (neprivalomas): šis veiksmas atliekamas suvienodinant poveikio rodiklių matavimo vienetus pagal standartą, kas leidžia palyginti rezultatus;
- Grupavimas (neprivalomas): poveikio rodiklių tvarkymas arba reitingavimas pagal kategorijų reikšmingumą arba galimą poveikį;
- Svoris (neprivalomas): santykinų svorių taikymas skirtingoms poveikio kategorijoms, siekiant atspindėti jų santykinę svarbą.

Įvertinti poveikį aplinkai tiriamajame darbe bus naudojama „SimaPro 9.0“ programinė įranga ir joje įdiegtas IMPACT 2002+ metodas. Šis metodas apima penkiolika vidurio taško poveikio kategorijų, kurios vertina sistemos poveikį aplinkai ir yra išanalizuotos 2.5 skyrelyje [52] [54]. Šios penkiolika kategorijų yra priskiriamos keturioms pabaigos taško kategorijoms: žmogaus sveikata, ekosistemos kokybė, klimato kaita bei ištekliai, kurios analizuojamos 2.6 skyrelyje [52] [54].

2.3.1. Rezultatų vertinimo vienetai

Būvio ciklo vertinimas atliekamas remiantis IMPACT 2002+ metodu. IMPACT 2002+ sistemoje naudojami įvairūs vienetai, skirti aplinkosauginio poveikio įvertinimui skirtingais lygmenimis, kiekvienas iš jų pritaikytas tam, kad veiksmingai perteiktų specifinę informaciją. Viduriniame lygyje naudojami tokie vienetai kaip „kg medžiagos s._{ekv}“, kurie išreiškia teršalų poveikį, palyginant juos su standartinė medžiaga, tokia kaip CO₂, per standartizuotą laiko skalę [52] [54].

Žalos lygyje naudojami „DALY“ matavimo vienetai, reiškiantys negalios koreguotus gyvenimo metus. Šiame lygyje matuojamas teršalų sveikatos poveikis, apjungiant mirtingumą (dėl per anksti įvykusios mirties prarastus gyvenimo metus) ir sergamumą (mažesnės gyvenimo kokybės laikotarpį dėl ligos). Dar vienas žalos lygio vienetas, „PDF·m²·m“ (galimai išnykusių rūšių dalis tam tikrame plote per tam tikrą laiką), vertina ekosistemų poveikius, įvertindamas rūšių, tikėtinai išnyksiančių iš konkretaus ploto per metus dėl aplinkos veiksnių, proporciją [52] [54].

Megadžiauliai naudojami kiekybiškai įvertinti su išteklių gavyba susijusį energijos kiekį [52] [54].

Normalizuoto žalos masto vienetas „taškai“ apytiksliai apskaičiuoja vidutinį poveikį, kuris sukiamas vienam žmogui Europoje įvairiose aplinkosauginėse kategorijose per vienerius metus, suteikiant santykinę aplinkosauginės žalos vienam gyventojui matą ir palengvindamas skirtingų teršalų bei jų poveikių palyginimą [52] [54].

2.4. Rezultatų interpretavimas

Būvio ciklo interpretavimo etapo metu yra analizuojami, tikrinami ir įvertinami būvio ciklo inventorinės analizės ir būvio ciklo poveikio vertinimo rezultatai. Šis etapas apima 3 pagrindinius veiksmus [55]:

1. Pagrindinių problemų nustatymą;
2. Duomenų kokybės įvertinimą;
3. Išvadų formulavimą ir rekomendacijas.

Pagrindinės problemos yra susijusios su didžiausią įtaką turinčiais procesais per visą būvio ciklo vertinimo etapą, kurie daro didelę įtaką bendriems rezultatams. Antrasis žingsnis apima duomenų patikrinimą, kuriuo siekiama patvirtinti, kad duomenys yra išsamūs. Trečias žingsnis, išvadų formulavimas ir rekomendacijos, apima bendrą poveikio aptarimą, alternatyvų įvertinimą bei rekomendacijų pateikimą, kaip sumažinti poveikį aplinkai. Dažnai gali būti sudėtinga galutinai nustatyti, kuri produkto alternatyva turi mažesnę poveikį aplinkai dėl duomenų neapibrėžtumo arba prieštaringų rezultatų įvairiose poveikio kategorijose. Nepaisant šių neaiškumų, būvio ciklo vertinimas vis tiek pateikia vertingas įžvalgas apie gaminio poveikį aplinkai [55].

2.5. Rezultatų charakterizavimas

Pagal IMPACT 2002+ metodą charakterizuoti rezultatai pateikiami per penkiolika skirtingų vidurio taško kategorijų [52] [54]:

1. Kancerogeninis toksiškumas žmogui – įvertina ilgalaikius toksiškus poveikius žmogaus sveikatai dėl chemikalų (tokius kaip tikimybė sukelti vėžį), išmestų į aplinką. Koeficientas nustato bendrą toksišką riziką ir poveikį, susijusį su tam tikra cheminių medžiagų emisijos mase (kg). Toksiškumo žmogui vidurio taško kategorija išreiškiama išmetamo į orą chloretileno ekvivalentais (kg C₂H₃Cl ekv);

2. Nekancerogeninis toksiškumas žmogui – įvertina ar gali būti sukeltas kitoks poveikis nei vėžys žmogaus sveikatai dėl chemikalų, išmestų į aplinką. Toksiškumo žmogui vidurio taško kategorija išreiškiama išmetamo į orą chloretileno ekvivalentais kg (C_2H_3Cl ekv);
3. Kvėpavimo neorganiniai junginiai – ši poveikio kategorija apima kvėpavimo sutrikimus, kuriuos sukelia neorganinės medžiagos. Ši kategorija išreiškiama kg PM 2.5 oro ekvivalentais;
4. Jonizuojanti spinduliuotė – jonizuojančios spinduliuotės poveikio kategorijai charakterizavimo koeficientai yra pateikiami dėl emisijų į orą ir vandenį. Įvertinama medžiagos gebėjimą skleisti spinduliuotę, kuri gali jonizuoti kitas molekules, keldama pavojų žmonių sveikatai ir aplinkai. Ši kategorija išreiškiama bekerelio C^{-14} į oro ekvivalentais ($Bq C^{-14}$ ekv);
5. Ozono sluoksnio mažėjimas – matuoja cheminių medžiagų potencialą ardyti ozono sluoksnį, išreikštą kg trichlorfluormetano⁻¹¹ ekvivalentais (kg CFC^{-11} ekv);
6. Kvėpavimo takų organiniai junginiai – šioje poveikio kategorijoje vertinamas organinių junginių poveikis kvėpavimo takų sveikatai, išreiškiamas eteno ekvivalentais (kg C_2H_4 ekv);
7. Vandens ekotoksiškumas – įvertina toksiškos medžiagos poveikį vandens organizmams, išreiškiamas trietilenglikolio (TEG) kiekiu (kilogramais) vandenyje (kg TEG vanduo);
8. Žemės ekotoksiškumas – įvertina toksiškos medžiagos poveikį sausumos organizmams, išreiškiamas trietilenglikolio (TEG) kiekiu (kilogramais) dirvožemyje (kg TEG dirvožemis);
9. Žemės rūgštingumas – dirvožemio rūgštėjimas įvertina dirvožemio rūgštingumo padidėjimą dėl rūgštinančių medžiagų, tokių kaip sieros oksidų emisijos (kg SO_2 ekv);
10. Žemės užimtumas – žemės naudojimo poveikio, taip pat įtraukiamas išmetamųjų teršalų (pesticidų ir trąšų) poveikis. Vertinamas m^2 org. arable vienetais, kurie įvertina žemės užimtumo ir transformacijos mastą, ypač pabrėžiant poveikį ekologiškai dirbamai žemei;
11. Vandens rūgštingumas – vertinamas rūgštinančių teršalų poveikis vandens telkiniams. Vertinamos sieros oksidų emisijos į vandenį (kg SO_2 ekv);
12. Vandens eutrofikacija – vertinamas vandens telkinių fosforo kiekio padidėjimą. Matavimo vienetas kg PO_4 P-lim matuoja fosforo (P) kiekį, išreikštą fosfato (PO_4) kiekiu, kuris gali apriboti vandens ekosistemos produktyvumą;
13. Globalinis atšilimas – visuotinio atšilimo potencialas (GWP) kiekybiškai įvertina šiltnamio efektą sukeliančių dujų, anglies dioksido (CO_2), poveikį žemės klimatui (kg CO_2 ekv);
14. Neatsinaujinanti energija – vertinamas neatsinaujinančių energijos išteklių, tokių kaip iškastinis kuras ir branduolinė energija, suvartojimas, matuojamas megadžauliais (MJ);
15. Mineralų gavyba – įvertina mineralų gavybos išekvojimą, kuris gali turėti neigiamą poveikį aplinkai, matuojamas megadžauliais (MJ).

2.6. Rezultatų normalizavimas

Normalizavimo metodas siekia išanalizuoti kiekvienos poveikio kategorijos dalį bendrame žalos mastelyje, taikant normalizavimo koeficientus priežastinėms ar žalos poveikio klasėms, siekiant palengvinti rezultatų interpretavimą. Normalizuotas koeficientas nustatomas pagal poveikio vienetai išskirto teršalo ir bendro visų konkrečios kategorijos medžiagų, kurioms egzistuoja charakterizavimo koeficientai, poveikio santykį vienam asmeniui per metus. Rezultatų normalizavimas yra išskiriamas į keturias kategorijas [52] [54]:

1. Žmogaus sveikata: normalizavimo koeficientas apskaičiuojamas pagal „Eco-indicator 99“ rodiklį, su dviem pakeitimais: neatsižvelgiama į klimato kaitos sukeltą žalą žmogaus sveikatai ir žmogaus toksiškumo koeficientas apskaičiuojamas kaip kancerogeninių ir nekancerogeninių poveikių suma. Kiekvieno teršalo poveikis, išreikštas [DALY/kg emisijų], padauginamas iš

metinių emisijų vakarų Europoje (pagal aplinką: oras, dirvožemis ir vanduo). Tai suteikia bendrą metinių DALY matavimo vieneto kiekį (DALY – negalios koreguotų gyvenimo metų matavimo vienetas (angl. disability-adjusted life years)), prarastų dėl šio konkretaus teršalo Europoje. Bendras žmogaus sveikatos poveikio per metus skaičius gaunamas susumavus visų teršalų rezultatus. Galiausiai rezultato vertė padalijama iš Europos gyventojų skaičiaus, kad būtų gautas priimtas žmogaus sveikatos normalizavimo koeficientas, kuris reiškia asmens gyvenimo trukmės sutrumpėjimą;

2. Ekosistemų kokybė: šis normalizavimo koeficientas nustatomas panašiai kaip „Eco-indicator 99“, su dviem pakeitimais: nėra atsižvelgiama į žalą ekosistemų kokybei, kurią sukelia žemės naudojimo pakeitimai ir fotocheminė oksidacija, bei žala ekosistemų kokybei dėl ekotoksikologinių emisijų yra suskirstyta į žalą vandens ekosistemoms ir sausumos ekosistemoms;
3. Klimato kaita: klimato kaitos normalizavimo koeficientas yra grindžiamas bendru Europoje per metus išleidžiamų dujų kiekiu, padaugintu iš šiltnamio efektą sukeliančių dujų potencialu;
4. Išteklių: išteklių normalizavimo koeficientas apskaičiuojamas pagal bendrą neatsinaujinančios energijos suvartojimą Vakarų Europoje, įskaitant branduolinės energijos suvartojimą.

2.7. Jautrumo analizė

Jautrumo analizė yra neatsiejama būvio ciklo interpretacijos dalis, kurios pagrindinis tikslas yra užtikrinti būvio ciklo vertinimo rezultatų patikimumą ir tikslumą. Naudojant jautrumo analizę, vertinamos ir patvirtinamos išvados, gautos iš ankstesnių būvio ciklo etapų – būvio ciklo inventorinės analizės ir būvio ciklo poveikio vertinimo. Jautrumo analizė atliekama vadovaujantis ISO 14040/44 standartais, kurie pabrėžia būtinybę įvertinti būvio ciklo tyrimo rezultatus [50] [56]. Ši analizė leidžia nustatyti, kaip keičiasi būvio ciklo analizės rezultatai atliekant įvesties ar išvesties duomenų svyravimus [56].

Jautrumo analizės tikslas – įvertinti ir sustiprinti galutinių tyrimo rezultatų ir išvadų patikimumą, nustatant, kaip tyrimo išvadas gali paveikti neapibrėžtumai, tokie kaip inventorinės analizės duomenys, inventorinės analizės modeliavimas [50] [56]. Toks vertinimas suteikia galimybę geriau suprasti būvio ciklo inventorinės analizės duomenų svarbą ir jų įtaką galutinėms išvadoms. Situacijos, kai jautrumo analizė neparodo reikšmingų skirtumų tarp tirtų alternatyvų, neleidžia daryti išvados, kad skirtumų nėra, tiesiog jie nėra reikšmingi [50] [56]. Jautrumo analizė būvio ciklo rezultatų vertinime veikia kaip pagrindinis įrankis, skirtas ne tik užtikrinti rezultatų patikimumą, bet ir padidinti visos analizės skaidrumą ir patikimumą [50].

Jautrumo analizę galima apibrėžti kaip procedūrą, kurios metu keičiamos kintamųjų reikšmės, kad būtų patikrintas tolesnis poveikis išvesties reikšmėms. Vadovaujantis ISO 14044, jautrumo analizė siekia nustatyti prielaidų, metodų ir duomenų svyravimų įtaką rezultatams [50]. Taigi jautrumo analizė leidžia visapusiškai nustatyti ir dokumentuoti rezultatų pokyčius dėl pakitusių įvesties duomenų/parametrų [56].

3. Tyrimo rezultatai ir jų aptarimas

3.1. Inventorinės analizės rezultatai

Inventorinės analizės duomenims surinkti, reikėjo nustatyti, kokio dydžio bus ventiliacinė sistema. Apskaičiuoti, ventiliacinės sistemos dydį, kuri tiktų 100 kvadratinėse metrų patalpos vėdinimui atliekami skaičiavimai ir priimtoms ventiliuojamos patalpos prielaidos. Patalpos dydis, kurioje įrengiama ventiliavimo sistema – 100 m², patalpos aukštis lygus 2.4 m (standartinis lubų aukštis). Patalpos tūris gaunamas 240 m³. Ventiliavimo sistema turės keturias ventiliavimo zonas, paduodamas oras bus iš didesnio pagrindinio ortakio ir ventiliuojamas į mažesnius ortakius. Ventiliuojama patalpa – biuras. Pagal ASHRAE standarto rekomendaciją oro pasikeitimo dažnis per valandą biurui yra 2–3 [57] [58]. Tokios rekomendacijos pateikiamos vertinant tipišką biuro dydį ir užimtumą. Tuomet, reikalingas vėdinimo greitis apskaičiuojamas pagal (3.1.1) formulę:

$$v = V \times n; \quad (3.1.1)$$

čia v – patalpos vėdinimo greitis (m³/val.), V – patalpos tūris (m³), n – oro pasikeitimo dažnis per val.;

$$v = 240 \times 3 = 720 \text{ m}^3/\text{val.}$$

Patalpos ventiliuojamo oro greitis parenkamas $5 \frac{m}{s} = 18000 \text{ m}/\text{val.}$ Toliau apskaičiuojamas reikalingas šviežio oro padavimas per vieną ventiliacinę angą pagal (3.1.2) formulę. Sistema turės keturias ventiliacines angas, todėl reikalingas šviežio oro padavimas vienai angai apskaičiuojamas:

$$A = \frac{v}{4}; \quad (3.1.2)$$

čia A – šviežio oro padavimo greitis per vieną ventiliacinę angą (m³/val.), v – patalpos vėdinimo greitis (m³/val.);

$$A = \frac{720}{4} = 180 \text{ m}^3/\text{val.}$$

Apskaičiuojamas ortakio skerspjūvio plotas pagal (3.1.3) formulę:

$$F = \frac{A}{v_1}; \quad (3.1.3)$$

čia F – ortakio skerspjūvio plotas (m²), A – oro padavimo greitis per vieną ventiliacinę angą (m³/val.), v_1 – patalpos ventiliuojamo oro greitis (m/val.);

$$F = \frac{180}{18000} = 0.01 \text{ m}^2.$$

Apskaičiuojamas ortakio skersmuo pagal (3.1.4) formulę:

$$D = \sqrt{\frac{4F}{\pi}}; \quad (3.1.4)$$

čia D – ortakio skersmuo (cm), F – ortakio skerspjūvio plotas (m²);

$$D = \sqrt{\frac{4F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.01}{3.14}} = 0.11 \text{ m} = 11 \text{ cm}.$$

Ventiliavimo sistema turės keturias ventiliavimo zonas, kurios bus 11 cm skersmens, paduodamas oras bus iš didesnio pagrindinio ortakio ir ventiliuojamas į mažesnius ortakius.

Apskaičiuojamas pagrindinio ortakio skerspjūvio plotas pagal (3.1.3) formulę:

$$F = \frac{720}{18000} = 0.04 \text{ m}^2.$$

Pagrindinio ortakio skersmuo apskaičiuojamas pagal (3.1.4) formulę:

$$D = \sqrt{\frac{4F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.04}{3.14}} = 0.22 \text{ m} = 22 \text{ cm}.$$

Atlikus skaičiavimus gautas pagrindinio ortakio skersmuo – 22 cm ir likusių ortakių skersmuo – 11 cm. Pagal šiuos ortakių skersmenis apskaičiuojamas sistemos bendras paviršiaus plotas, kuris bus naudojamas inventorinėje analizėje. Paviršiaus plotą, sudarys pagrindinis ortakis, kuris yra didesnio skersmens, iš jo ventiliuojamas oras bus paduodamas į mažesnio skersmens ortakius.

Sistemos paviršiaus plotas apskaičiuojamas pagal (3.1.5) formulę:

$$A_{(\text{paviršiaus plotas})} = 2\pi r h; \tag{3.1.5}$$

Čia A – ortakio paviršiaus plotas (m^2), r – ortakio spindulys (m), h – ortakio ilgis (m);

1 ortakio dalis

$$A_{(\text{paviršiaus plotas})} = 2 \times 3.14 \times 0.11 \times 4.5 \approx 3.1 \text{ m}^2;$$

2 ortakio dalis

$$A_{(\text{paviršiaus plotas})} = 2 \times 3.14 \times 0.11 \times 8 \approx 5.5 \text{ m}^2;$$

3 ortakio dalis

$$A_{(\text{paviršiaus plotas})} = 2 \times 3.14 \times 0.06 \times 3.75 \approx 1.4 \text{ m}^2;$$

4 ortakios dalis

$$A_{(\text{paviršiaus plotas})} = 2 \times 3.14 \times 0.06 \times 3.75 \approx 1.4 \text{ m}^2;$$

5 ortakios dalis

$$A_{(\text{paviršiaus plotas})} = 2 \times 3.14 \times 0.06 \times 2.7 \approx 1 \text{ m}^2;$$

6 ortakios dalis

$$A_{(\text{paviršiaus plotas})} = 2 \times 3.14 \times 0.06 \times 2.7 \approx 1 \text{ m}^2;$$

Bendras sistemos paviršiaus plotas apskaičiuojamas:

$$A_{\text{(bendras paviršiaus plotas)}} = 3.1 + 5.5 + 1.4 + 1.4 + 1 + 1 \approx 13.4 \text{ m}^2.$$

Atlikus skaičiavimus, buvo nustatyta, kad 100 kvadratinių metrų patalpos vėdinimui reikalinga ventiliavimo sistema, kurios bendras paviršiaus plotas 13.4 m². 1 priede, naudojant automatizuotą projektavimo sistemą AutoCad, sukurtas ventiliuojamos sistemos grafinis vaizdas (15 pav.).

Inventorinės analizės duomenys buvo renkami medžiaginei, perdirbtai medžiaginei ir metalinei ventiliaciniai sistemai, kurių paviršiaus plotas – 13.4 m². Medžiaginių ortakių inventoriniai duomenys buvo surinkti remiantis Fabric Air įmonės duomenimis ir pateikiami 8, 9 lentelėse. Transportavimo atstumas parenkamas 150 km.

8 lentelė. Inventoriniai duomenys, skirti atlikti medžiaginių ortakių sistemos būvio ciklo vertinimą [51]

Įvesties duomenys			
Nr.	Gamyba/medžiagos	Matavimo vnt.	Vertė
1	Audinys (PET)	kg	4.02
2	Dirželiai (PVC)	kg	0.7236
3	Dirželiai (PET)	kg	0.3216
4	Slankikliai (POM)	kg	0.067
5	Anodizuotas aliumininis H-profilis	kg	3.382
6	Jungtys (aliuminis)	kg	0.268
7	Aliuminio virvė	kg	0.0938
8	Reguliuojama kabelio spyna (aliuminis)	kg	0.0804
9	Reguliuojama kabelio spyna (feronikelis)	kg	0.0804
10	Plastikinis galinis užraktas su 2 sklendėmis	kg	0.0134
11	Siūlai (PET)	kg	6.64236
12	Užtrauktukas (PET)	kg	0.0938
13	Užtrauktukas (cinko lydinys be nikelio)	kg	0.0402
Pakavimas			
14	Kartoninės dėžės	kg	2.4656
15	PE maišeliai	kg	0.0938
Transportavimas			
16	Autovežis	tkm	2.373984
Priežiūra			
17	Skalbimo milteliai vienam skalbimui	kg	0.0536
18	Vandens sunaudojimas vienam skalbimui	kg	24.1736
19	Elektrinės energijos sunaudojimas vienam skalbimui	kWh	0.3752
Energija			
20	Elektra	kWh	3.3752
Išvesties duomenys			
21	PET perdirbimas	kg	11.078

9 lentelė. Inventoriniai duomenys, skirti atlikti medžiaginių ortakių sistemos būvio ciklo vertinimą (8 lentelės tęsinys) [51]

22	Aliuminio perdirbimas	kg	3.8242
23	Metalų perdirbimas	kg	0.1742
24	PVC perdirbimas	kg	0.7236
25	Atliekų šalinimas	kg	2.594
26	Vandens valymas	kg	24.2272

Perdirbtų medžiaginių ortakių inventoriniai duomenys, taip pat buvo surinkti remiantis Fabric Air įmonės duomenimis ir pateikiami 10, 11 lentelėse. Perdirbtų medžiaginių ortakių inventoriniai duomenys yra analogiški, tačiau naudojamas PET iš perdirbtų polietilentereftalato butelių. Transportavimo atstumas parenkamas 150 km.

10 lentelė. Inventoriniai duomenys, skirti atlikti perdirbtų medžiaginių ortakių sistemos būvio ciklo vertinimą [51]

Įvesties duomenys			
Nr.	Gamyba/medžiagos	Matavimo vnt.	Vertė
1	Audinys (perdirbtas PET)	kg	4.02
2	Dirželiai (PVC)	kg	0.7236
3	Dirželiai (perdirbtas PET)	kg	0.3216
4	Slankikliai (POM)	kg	0.067
5	Anodizuotas aliumininis H-profilis	kg	3.382
6	Jungtys (aliuminis)	kg	0.268
7	Aliuminio virvė	kg	0.0938
8	Reguliuojama kabelio spyna (aliuminis)	kg	0.0804
9	Reguliuojama kabelio spyna (feronikelis)	kg	0.0804
10	Plastikinis galinis užraktas su 2 sklendėmis	kg	0.0134
11	Siūlai (perdirbtas PET)	kg	6.64236
12	Užtrauktukas (perdirbtas PET)	kg	0.0938
13	Užtrauktukas (cinko lydinys be nikelio)	kg	0.0402
Pakavimas			
14	Kartoninės dėžės	kg	2.4656
15	PE maišeliai	kg	0.0938
Transportavimas			
16	Autovežis	tkm	2.373984
Priežiūra			
17	Skalbimo milteliai vienam skalbimui	kg	0.0536
18	Vandens sunaudojimas vienam skalbimui	kg	24.1736
19	Elektrinės energijos sunaudojimas vienam skalbimui	kWh	0.3752
Energija			
20	Elektra	kWh	3.3752

11 lentelė. Inventoriniai duomenys, skirti atlikti perdirbtų medžiaginių ortakių sistemos būvio ciklo vertinimą (10 lentelės tęsinys) [51]

Išvesties duomenys			
21	PET perdirbimas	kg	11.078
22	Aliuminio perdirbimas	kg	3.8242
23	Metalų perdirbimas	kg	0.1742
24	PVC perdirbimas	kg	0.7236
25	Atliekų šalinimas	kg	2.594
26	Vandens valymas	kg	24.2272

Metalinių ortakių (12 lentelė) inventoriniai duomenys buvo apskaičiuoti remiantis literatūros šaltiniais. Metalinio ortakio kiekiui apskaičiuoti, buvo pasirinktas standartinis plieno tankis 7850 kg/m^3 [48]. Plieninio ortakio storis buvo parinktas 1 mm. Pagal šiuos duomenis ortakio plieno tūris apskaičiuojamas pagal (3.1.6) formulę:

$$V_{\text{ortakio}} = A \times t; \quad (3.1.6)$$

čia V_{ortakio} – ortakio metalo tūris (m^3); A – ortakio paviršiaus plotas (m^2); t – ortakio sienelės storis (m).

$$V_{\text{ortakio}} = A \times t = 13.4 \text{ m}^2 \times 0.001 \text{ m} = 0.0134 \text{ m}^3.$$

Ortakio svoris apskaičiuojamas pagal (3.1.7) formulę:

$$m = V \times \rho; \quad (3.1.7)$$

čia m – ortakio svoris (kg), ρ – plieno tankis (kg/m^3).

$$m = V \times \rho = 0.0134 \times 7850 = 105.49 \text{ kg}.$$

Sistema bus izoliuota stiklo pluoštu, kurio storis parinktas 25 mm, o tankis 38 kg/m^3 [52], apskaičiuojama pagal (3.1.8) formulę:

$$V_{\text{stiklo pluošto}} = A \times t; \quad (3.1.8)$$

čia $V_{\text{stiklo pluošto}}$ – stiklo pluošto tūris (m^3); A – ortakio paviršiaus plotas (m^2); t – stiklo pluošto sienelės storis (m).

$$V_{\text{stiklo pluošto}} = A \times t = 13.4 \text{ m}^2 \times 0.025 \text{ m} = 0.335 \text{ m}^3.$$

Stiklo pluošto masė apskaičiuojama pagal (3.1.9) formulę:

$$m = V \times \rho; \quad (3.1.9)$$

čia m – stiklo pluošto svoris (kg), V – stiklo pluošto tūris (m^3), ρ – stiklo pluošto tankis (kg/m^3).

$$m = V \times \rho = 0.335 \times 38 = 12.73 \text{ kg}.$$

Sistemai reikės dviejų 90 laipsnių formos ortakio alkūnių (1.3 kg), trijų T formos ortakių alkūnių (1.21 kg), jungiamųjų jungčių (0.253 kg) sujungti alkūnes su ortakiu, grotelių, per kurias bus

paduodamas oras (0.5 kg) ir varžtų, pakabų, laikiklių [59] [60] [61]. Transportavimo atstumas parenkamas 150 km.

12 lentelė. Inventoriniai duomenys, skirti atlikti metalinių ortakių sistemos būvio ciklo vertinimą [59] [60] [61]

Ivesties duomenys			
Nr.	Gamyba/medžiagos	Matavimo vnt.	Vertė
1	Metalinis ortakis (cinkuotas plienas)	kg	105.49
2	90 laipsnių formos ortakio alkūnės (2 vnt.)	kg	2.6
3	T formos ortakio alkūnės (3 vnt.)	kg	3.63
4	Jungtys (10 vnt.)	kg	2.53
5	Grotelės (4 vnt.)	kg	2
6	Varžtai, pakabos, laikikliai	kg	10
7	Stiklo pluoštas	kg	12.73
Pakavimas			
8	Polietilenas	kg	2
Transportavimas			
9	Autovežis	tkm	18.9375
Energija			
10	Elektra	kWh	189.375
Išvesties duomenys			
11	Plieno perdirbimas (70 % perdirbama)	kg	88.375
12	Plieno laužo apdorojimas deginant (30 %)	kg	37.875
13	Atliekų šalinimas	kg	14.73

3.2. Būvio ciklo poveikio vertinimo rezultatai

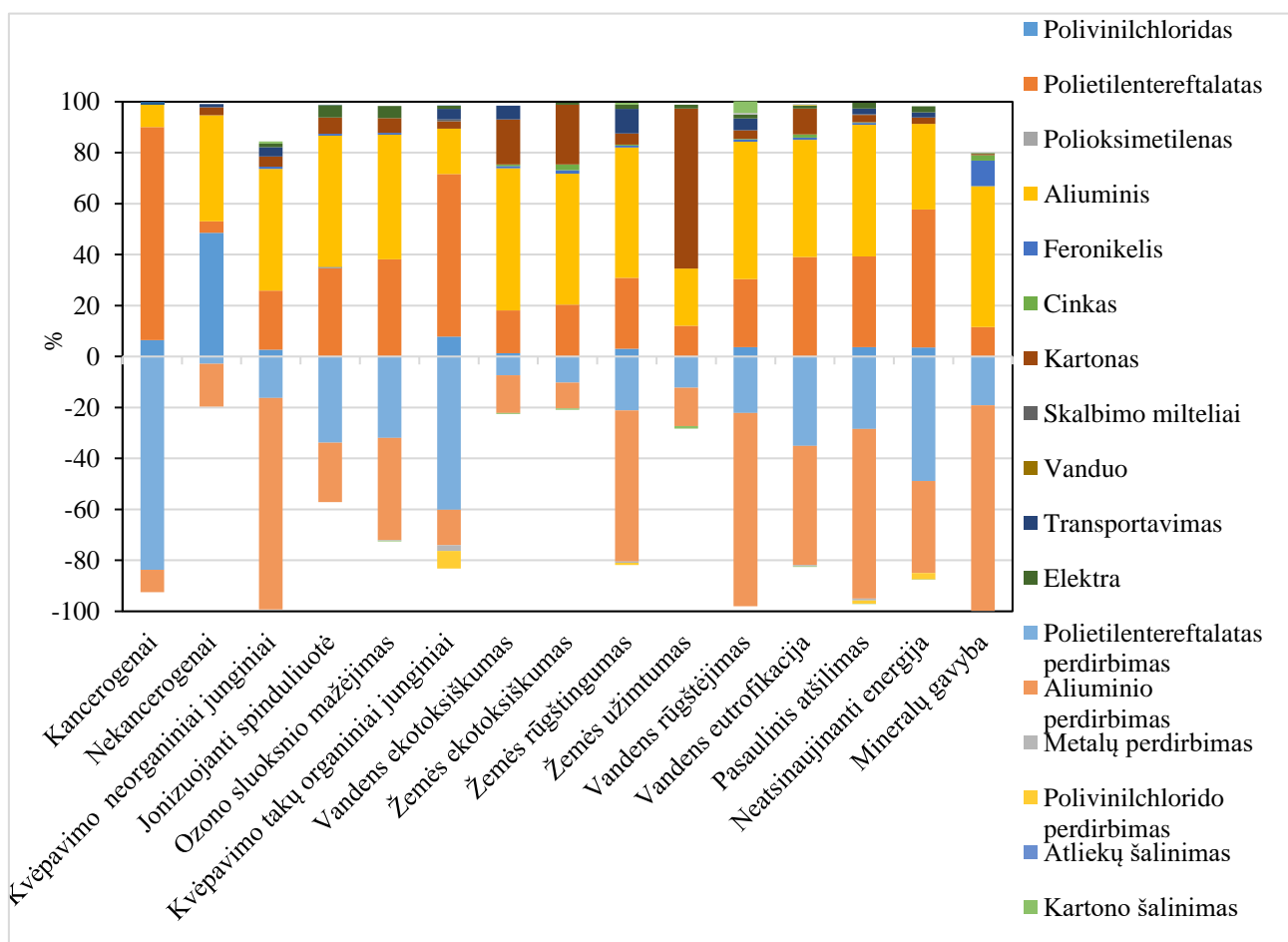
Poveikio vertinimas buvo atliktas trimis skirtingiems ortakių tipams: medžiaginiam ortakiui, medžiaginiam ortakiui, pagamintam iš perdirbtų PET butelių bei metaliniam ortakiui. Atliekant poveikio vertinimą buvo gauti charakterizuoti rezultatai visoms trimis sistemoms, normalizuoti rezultatai, skirti palyginti sistemas tarpusavyje bei atlikta jautrumo analizė, skirta pastebėti rezultatų patikimumą bei jautrumą. Poveikio vertinimo rezultatai buvo gauti atlikus būvio ciklo vertinimą „SimaPro 9.0” programinėje įrangoje, naudojant IMPACT 2002+ metodą.

3.2.1. Poveikio vertinimas charakterizuojant rezultatus medžiaginio ortakio ventiliacinei sistemai

Medžiaginio ortakio sistemos charakterizuoti rezultatai vaizduojami 9 pav. Polietilentereftalatas išsiskyrė dideliu poveikiu kancerogenų (83.7 %), kvėpavimo takų neorganinių junginių (23.2 %), jonizuojančios spinduliuotės (34.6 %), ozono sluoksnio mažėjimo (38.2 %), kvėpavimo takų organinių junginių (63.8 %), žemės ekotoksiškumo (20.4 %), žemės rūgštingumo (27.8 %), vandens rūgštingumo (26.7 %), vandens eutrofikacijos (39 %), pasaulinio atšilimo (35.6 %), neatsinaujinančios energijos (54.1 %) kategorijose. Taip pat, dideliu poveikiu išsiskyrė aluminis – nekancerogenų (41.6 %), kvėpavimo takų neorganinių junginių (47.8 %), jonizuojančios spinduliuotės (51.6 %), ozono sluoksnio mažėjimo (48.8 %), vandens ekotoksiškumo (55.8 %), žemės

ekotoksiškumo (51.3 %), vandens rūgštėjimo (54 %) kategorijose. Žemės užimtumui didžiausią įtaką daro kartonas (62.8 %), skirtas ortakio pakavimui, nekancerogeniniam poveikiui (48.5 %) didžiausią įtaką daro polivinilchloridas.

Polietilentereftalatas ir aliuminis didžiausią įtaką viršuje išvardintoms poveikio kategorijoms daro dėl jų cheminių savybių ir procesų, susijusių su jų gamyba. Polietilentereftalatas yra gaminamas iš naftos, gamybos metu išskiriami įvairūs lakieji organiniai junginiai, tokie kaip etilenglikolis, kuriame yra metanolio garų ir lakiųjų priemaišų [62]. CO₂ daugiausia išskiriama dėl naftos bei gamtinių dujų deginimo gamybos procese, kai formuojami alifatiniai organiniai junginiai [63]. Aliuminio gamyba taip pat pasižymi dideliu energijos sąnaudų suvartojimu, o jo išgavimas daro didelį poveikį gamtos ekosistemoms. Boksito, pagrindinės žaliavos aliuminio gamyboje, išgavimas reikalauja didelių energijos resursų. Aliuminio rafinavimas iš boksito reikalauja aukštos temperatūros procesų, kurie išskiria šiltnamio efektą sukeliančias dujas. Aliuminio gamybos metu vykdomo elektrolizės proceso metu sunaudojami dideli energijos kiekiai ir išskiriamos CO₂ dujos [64]. Rafinavimo ir liejimo etapų metu yra išmetamos šiltnamio efektą sukeliančios dujos bei teršalai [64]. Dėl šių priežasčių PET ir aliuminis turi reikšmingą poveikį aplinkai.



9 pav. Medžiaginio ortakio ventiliacinės sistemos charakterizuoti rezultatai

Polivinilchloridas, iš kurio gaminami medžiaginių ortakių dirželiai paprastai naudojami ortakiams pakabinti ant lubų ar kitų konstrukcinių elementų. Šie dirželiai yra labai svarbūs užtikrinant tinkamą ortakių sistemos montavimą ir išlyginimą. PVC pasižymi didžiausiu nekancerogeniniu toksiškumu būvio ciklo analizėje. Šis nekancerogeninis efektas susijęs su PVC gamyba, kurios metu naudojamos cheminės medžiagos tokios kaip vinilo chlorido monomerai, taip pat PVC gamybos procese dažnai

reikalingi priedai, tokie kaip plastifikatoriai ir šilumos stabilizatoriai, kurie padidina plastiko lankstumą ir ilgaamžiškumą [65]. Dažnai naudojami plastifikatoriai yra ftalatai, kurie yra susiję su endokrininės sistemos ardymu ir kitais toksiniais poveikiais [66].

Modeliuojant būvio ciklo vertinimą medžiaginių ortakių sistemai buvo priimta, kad po naudojimo polietilentereftalatas ir aliuminis bus perdirbami, todėl 9 paveiksle vaizduojamos neigiamos charakterizavimo rezultatų vertės. Tai reiškia, kad, atsižvelgiant į perdirbimą, polietilentereftalatas ir aliuminis nebeturi tokio didelio neigiamo poveikio aplinkai, kaip buvo tikėtasi pradinio proceso metu. Polietilentereftalatas ir aliuminis gali būti panaudoti antrinių žaliavų gamybai, taip sumažinant naujos žaliavos poreikį. Tai yra teigiamas rezultatas, nes medžiagos gali būti perdirbamos ir vėl panaudotos, prisidedant prie aplinkos tvarumo.

3.2.2. Poveikio vertinimas charakterizuojant rezultatus perdirbto medžiaginio ortakio ventiliacinei sistemai

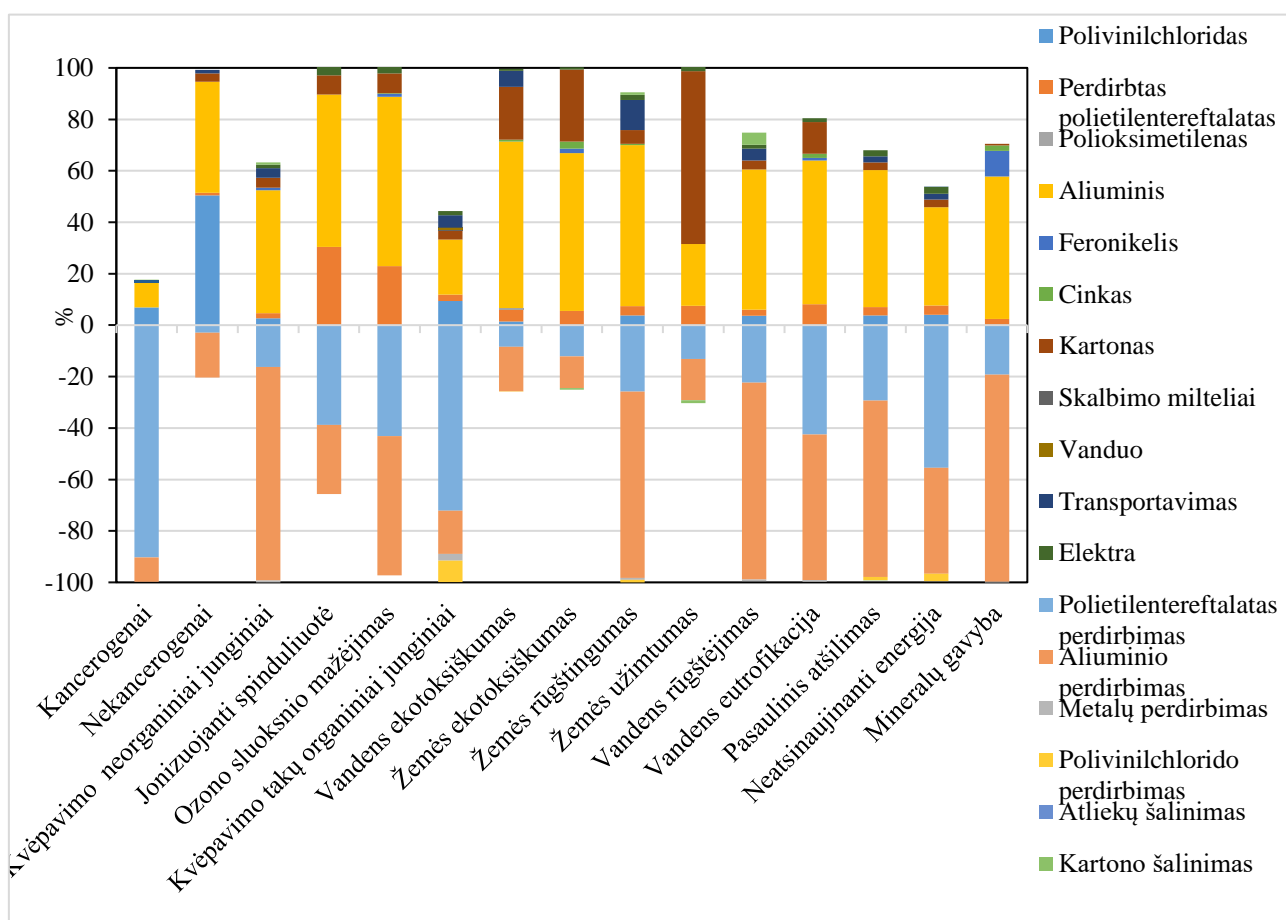
Medžiaginio ortakio ventiliacinės sistemos, pagamintos iš perdirbto polietilentereftalato plastiko, charakterizuoti rezultatai vaizduojami 10 pav. Medžiaginiai ortakiai gali būti 100 % gaminami iš panaudotų PET butelių [67]. Atliekų rūšiavimo metu gauti panaudoti plastikiniai buteliai susmulkinami ir, pašalinus nepageidaujamas priemaišas, išlydomi. Išlydžius PET, gaunamos plastiko granulės, iš kurių yra gaminami sintetiniai siūlai [67]. Šiuo atveju perdirbtas PET, skirtingai nuo neperdirbto, išsiskiria dideliu poveikiu aplinkai tik dvejose kategorijose: jonizuota spinduliuotė (30.4 %) ir ozono sluoksnio mažėjimas (23 %). Aliuminis sudaro didžiausią poveikį kancerogenų (9.69 %), nekancerogenų (43.2 %), kvėpavimo neorganiniams junginiams (47.8 %), jonizuojančiai spinduliuotei (59.3 %), ozono sluoksnio mažėjimui (65.8 %), kvėpavimo takų organiniams junginiams (21.4 %), vandens ekotoksiškumui (64.7 %), žemės ekotoksiškumui (61.4 %), žemės rūgštingumui (62.6 %), žemės užimtumui (24 %), vandens rūgštingumui (54.5 %), vandens eutrofikacijai (55.9 %), pasauliniam atšilimui (53.3 %), neatsinaujančiai energijai (38.2 %) bei mineralų gavybos kategorijoms (55.3 %). Žemės užimtumui didžiausią įtaką daro kartonas (67.2 %), skirtas pakavimui.

Mechaninis PET butelių perdirbimas paprastai susideda iš teršalų pašalinimo, PET malinimo iki dribsnių, plovimo, džiovavimo bei plastiko išlydymo [68]. Plovimo metu PET dribsniai plaunami 2 % NaOH tirpalu ir plovikliu 80 °C temperatūroje, po to atliekamas šaltas plovimas tik vandeniu [68]. Plastiko lydymo procesas vykdomas aukštoje temperatūroje, kad plastikas išsilydų ir būtų galima formuoti naujus produktus [68]. Šie PET perdirbimo procesai reikalauja daug energijos, kas sukelia didelį poveikį jonizuotai spinduliuotei bei ozono sluoksnio mažėjimui.

Ortakio, pagaminto iš perdirbto polietilentereftalato tekstilinio pluošto, aliuminio suvartojimo kiekis išliko toks pats, kaip ir neperdirbto medžiaginio ortakio. Vis dėlto, kadangi perdirbtas PET pasižymi mažesniu poveikiu aplinkai, aliuminio poveikis aplinkai išaugo. Aliuminis didžiausią įtaką viršuje išvardintoms kategorijoms daro dėl aliuminio gamybos procesų, aprašytų 3.2.1 skyriuje [64].

Modeliuojant būvio ciklo vertinimą perdirbtai medžiaginių ortakių sistemai, kaip ir neperdirbtai, buvo priimta, kad po naudojimo polietilentereftalatas ir aliuminis bus pakartotinai perdirbami, todėl 10 pav. vaizduojamos neigiamos charakterizavimo rezultatų vertės. Tai reiškia, kad, atsižvelgiant į perdirbimą, polietilentereftalatas ir aliuminis nebeturi tokio didelio neigiamo poveikio aplinkai, kaip buvo tikėtasi pradinio proceso metu. Kaip ir neperdirbto medžiaginio ortakio poveikyje neigiamos

PET ir aliuminio vertės yra teigiamas rezultatas, nes tai rodo, kad medžiagos gali būti perdirbamos ir vėl panaudotos, prisidedant prie aplinkos tvarumo.



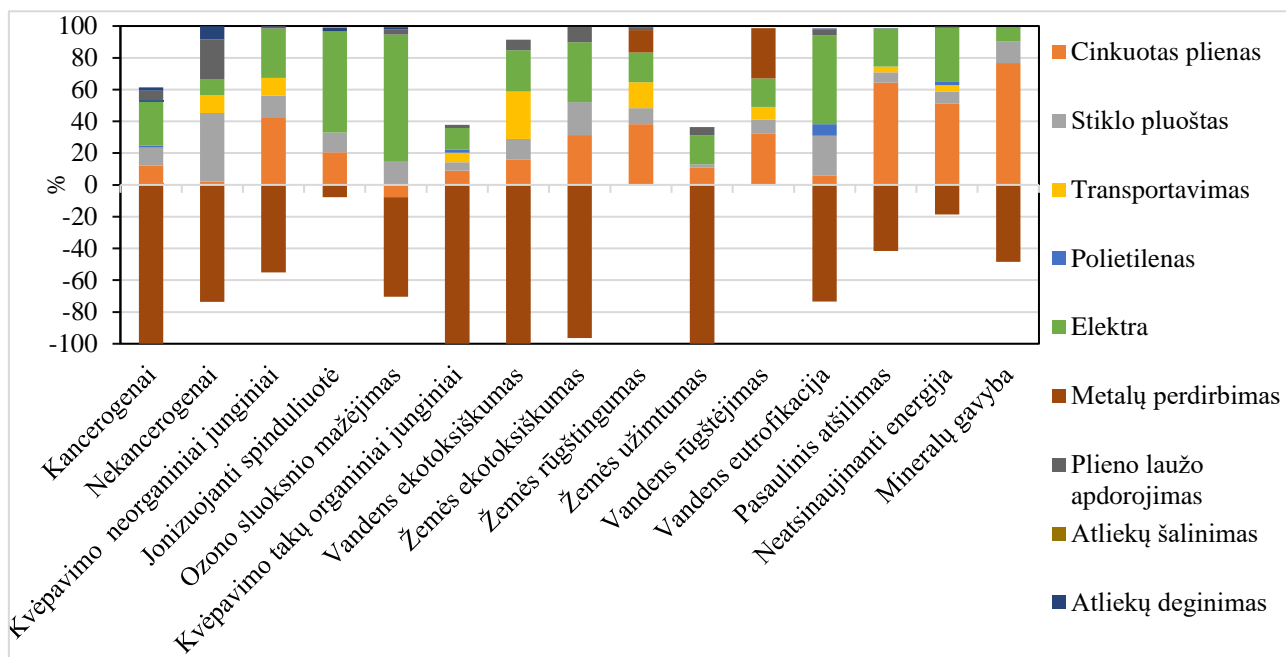
10 pav. Perdirbto medžiaginio ortakio ventiliacinės sistemos charakterizuoti rezultatai

3.2.3. Poveikio vertinimas charakterizuojant rezultatus metalinio ortakio ventiliaciniai sistemai

Metalinio ortakio ventiliacinės sistemos, pagamintos iš cinkuoto plieno, charakterizuoti rezultatai vaizduojami 11 paveiksle. Cinkuotas plienas daro didžiausią poveikį kvėpavimo neorganinių junginių (42.6 %), vandens rūgštėjimo (32.1 %), globalinio atšilimo (64.4 %), neatsinaujinančios energijos (51.2 %) bei mineralų gavybos poveikio vertinimo kategorijoms (76.6 %). Stiklo pluoštas lemia didžiausią įtaką nekancerogeniniam poveikiui (43.2 %). Elektros sąnaudos, skirtos ortakio gamybai, daro didžiausią poveikį cancerogeniniam poveikiui (27.7 %), jonizuojančios spinduliuotės (63.7 %), ozono sluoksnio mažėjimo (79.6 %), vandens ekotoksiškumo (26 %), žemės ekotoksiškumo (37.6 %), žemės užimtumo (18 %), vandens eutrofikacijos (56 %) poveikio kategorijoms.

Cinkuoto plieno cancerogeninis poveikis yra susijęs su medžiagų, tokių, kaip kokso bei geležies rūdos naudojimas gamybos proceso metu bei metalo lydymo metu susidarantiomis emisijomis [69]. Cinkuoto plieno procesas prisideda prie vandens rūgštėjimo dėl gamybos metu išsiskiriančių teršalų, tokių kaip SO₂, NO₂, sunkieji metalai, policikliniai aromatiniai angliavandeniai, lakieji organiniai junginiai [69] [70]. Poveikis globalinio atšilimo kategorijai sudaromas dėl gamybos metu išskiriamų CO₂ dujų [70]. Neatsinaujinančios energijos bei mineralų gavybos eikvojimas yra susijęs su pradiniais plieno gamybos etapais, kurie apima žaliavų, tokių kaip geležies rūda kasyba ir gavyba [70] [71].

Stiklo pluoštas daro didžiausią poveikį nekancerogeniniam poveikiui ir taip pat lemia neigiamą poveikį visose likusiose kategorijose. Stiklo pluošto gamyba, apima įvairių žaliavų lydimą aukštoje temperatūroje [72]. Procesui paprastai reikalinga temperatūra nuo 1500 °C iki 1700 °C, todėl sunaudojama daug energijos, gaunamos iš neatsinaujinančio kuro, pavyzdžiui, dujų ar naftos [72]. Stiklo pluošto gamybos procese išmetami teršalai kyla dėl kelių mechanizmų, kurių kiekvienas prisideda prie aplinkos ir sveikatos problemų. Degimo produktai apima dujas, ir įvairius šalutinius produktus, susidarancius kaitinant medžiagas iki aukštos temperatūros. Konversijos metu cheminės reakcijos tarp žaliavų išskiria tokias dujas kaip CO₂ ir SO₂ [73]. Taip pat, gamybos procese yra vykdomas priemaišų išgarinimas, kuris kelia neigiamą poveikį [73]. Be to, vykdant stiklo pluošto surišimo procesą yra gaunami lakieji organiniai junginiai [73].



11 pav. Metalinio ortakio ventiliacinės sistemos charakterizuoti rezultatai

Didelės elektros sąnaudos suvartojamos metalinio ortakio gamybos procesų metu: metalo pjovimas, lenkimas, suvirinimas. Modeliuojant metalinį ortakį, buvo pasirinkta Lietuvos vidutinio stiprumo elektros energija, 2014 metų duomenimis, pagal Ecoinvent duomenų bazę. Pasirinkta elektra gaminama iš neatsinaujančių šaltinių, tokių kaip akmens anglis, gamtinės dujos, nafta. Deginant iškastinį kurą (anglį, gamtines dujas ir naftą) išsiskiria daug teršalų, įskaitant sieros dioksidą (SO₂), azoto oksidus (NO₂), kietąsias daleles ir lakiuosius organinius junginius. Šie teršalai kelia smogą, rūgštų liūtų, kvėpavimo sutrikimus žmonėms [74] [75] [76]. Didelis elektros energijos poreikis gamybos procese ne tik padidina šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimą, bet ir lemia didelį žemės užimtumą. Anglies gavybos, naftos gręžimo ir gamtinių dujų perdirbimo poreikis yra susijęs su dideliu žemės išteklių naudojimu. Dėl šios priežasties, kaip matoma būvio ciklo analizėje, didelės elektros suvartojimo sąnaudos sukelia kancerogeninį, jonizuojančios spinduliuotės, ozono sluoksnio mažėjimo, vandens ekotoksiškumo, žemės ekotoksiškumo, žemės užimtumo, vandens eutrofikacijos poveikį.

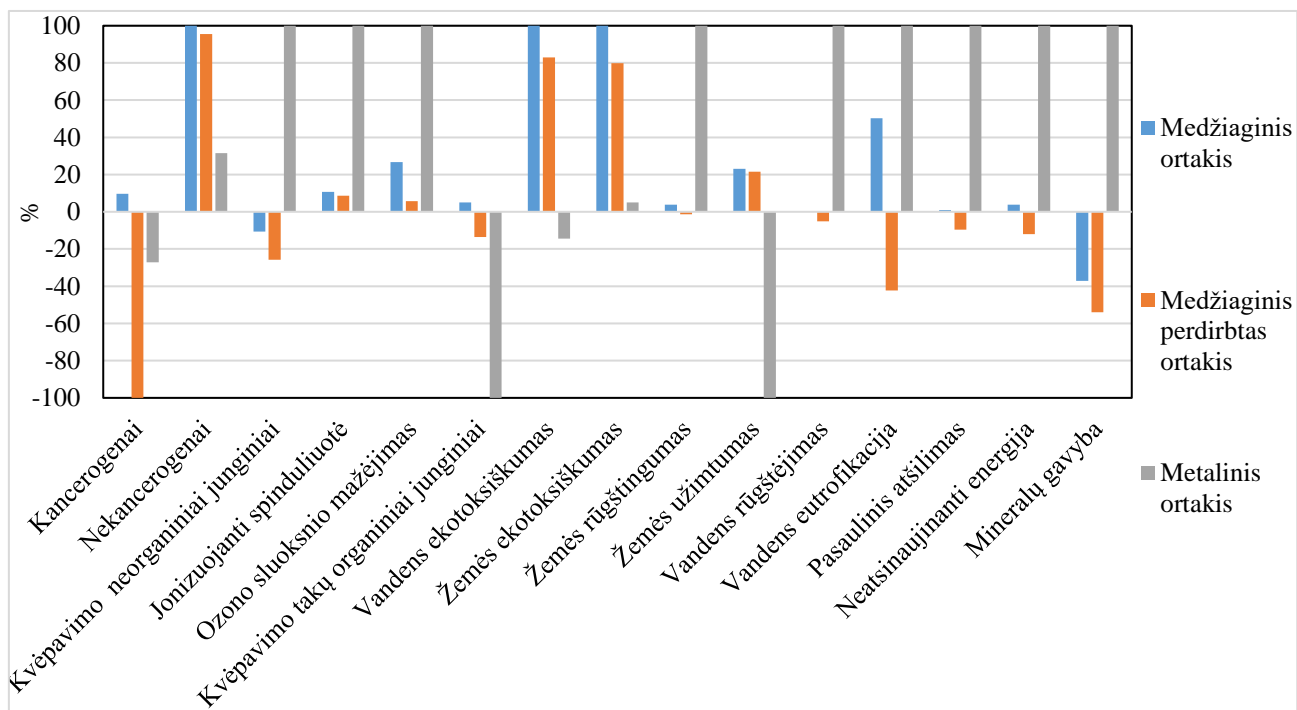
Atsižvelgiant į tai, kad elektros energijos naudojimas turi didelį poveikį aplinkai, galima elektros gamyboje naudoti atsinaujinančius energijos šaltinius. Remiantis Paryžiaus susitarimu, iki 2050 metų Europos Sąjunga siekia tapti pirmąja visuomene ir ekonomika pasaulyje, kuri nebeturėtų jokio neigiamo poveikio klimatui [77]. Siekiant šio susitarimo tikslų elektros energiją turėtų būti gaminama

daugiau iš neatsinaujinančios energijos šaltinių. Perėjus prie švaresnių energijos šaltinių, tokių kaip vėjo, saulės ir hidroenergijos, būtų galima sumažinti neigiamą poveikį aplinkai.

3.2.4. Lyginamoji analizė, charakterizuojant medžiaginio ortakio, perdirbto medžiaginio ortakio ir metalinio ortakio ventiliacinių sistemų rezultatus

12 pav. vaizduojami medžiaginio ortakio, perdirbto medžiaginio ortakio ir metalinio ortakio ventiliacinių sistemų charakterizuoti rezultatai skirtingose poveikio kategorijose. Lyginamoji analizė atliekama siekiant palyginti skirtingų ortakių poveikį aplinkai. Būvio ciklo vertinimo rezultatai yra pateikiami šioms poveikio kategorijoms: kancerogenai, nekancerogenai, kvėpavimo neorganiniai junginiai, jonizuojanti spinduliuotė, ozono sluoksnio mažėjimas, kvėpavimo takų organiniai junginiai, vandens ekotoksiškumas, žemės ekotoksiškumas, žemės rūgštingumas, žemės užimtumas, vandens rūgštėjimas, vandens eutrofikacija, globalinis atšilimas, neatsinaujinančios energijos naudojimas ir mineralų gavyba.

Rezultatai parodė, kad metalinis ortakis daro didžiausią poveikį aplinkai devyniose iš penkiolikos kategorijų – kvėpavimo takų neorganiniai junginiai (100 %), jonizuojanti spinduliuotė (100 %), ozono sluoksnio mažėjimas (100 %), žemės rūgštingumas (100 %), vandens rūgštėjimas (100 %), vandens eutrofikacija (100 %), globalinis atšilimas (100 %), neatsinaujinančios energijos naudojimas (100 %) ir mineralų gavyba (100 %). Medžiaginiai ortakiai pasižymėjo didžiausiu poveikiu šešiose iš penkiolikos kategorijų – kancerogenai (9.71 %), nekancerogenai (100 %), kvėpavimo takų organiniai junginiai (4.97 %), vandens ekotoksiškumas (100 %), žemės ekotoksiškumas (100 %), žemės užimtumas (23.1 %). Tuo tarpu perdirbti medžiaginiai ortakiai rodė mažiausią poveikį aplinkai visose analizuotose būvio ciklo vertinimo kategorijose.



12 pav. Lyginamosios analizės charakterizuoti rezultatai medžiaginio ortakio, perdirbto medžiaginio ortakio ir metalinio ortakio ventiliacinėms sistemoms

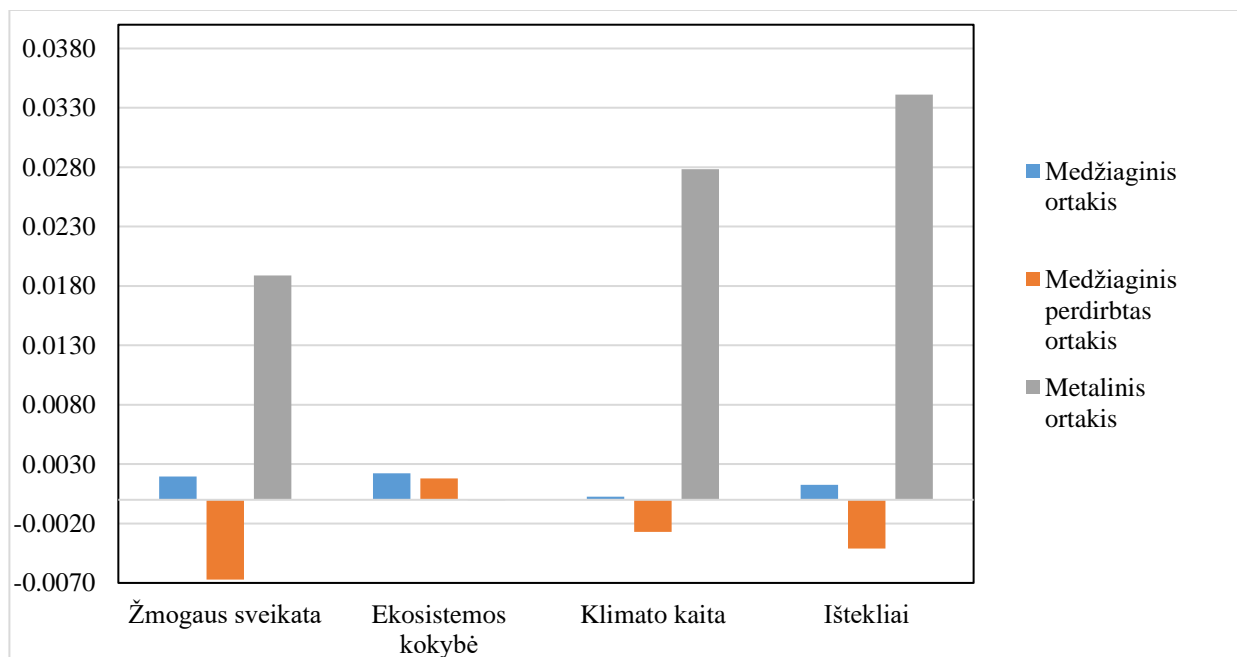
Kancerogeninio poveikio kategorijoje didžiausią neigiamą įtaką daro medžiaginis ortakis, kurio poveikis yra 9.71 %, teigiamą poveikį daro metalinis ortakis (– 27.2 %), o didžiausią teigiamą –

perdirbtas medžiaginis ortakis (– 100 %). Didžiausią kancerogeninį poveikį medžiaginiuose ortakiuose lemia tekstilinis PET pluoštas, jis yra gaminamas iš naftos, gamybos metu išskiriami įvairūs lakieji organiniai junginiai, tokie kaip etilenglikolis, kuriame yra metanolio garų ir lakiųjų priemaišų [62]. Nekancerogeninio poveikio kategorijoje didžiausią neigiamą poveikį daro medžiaginis ortakis, kurio poveikis 1.05 karto didesnis už perdirbtą medžiaginį ortakį ir 3.16 karto didesnis už metalinį ortakį (medžiaginis 100 %, medžiaginis perdirbtas 95.5 %, metalinis 31.6 %). Didelį neigiamą nekancerogeninį poveikį lemia aliuminio ir PVC naudojimas medžiaginiuose ortakiuose. Kvėpavimo neorganinių junginių kategorijoje didžiausią poveikį daro metalinis ortakis (100 %), teigiamą poveikį daro medžiaginis ortakis (– 10.7 %), ir didžiausią teigiamą poveikį daro perdirbtas medžiaginis ortakis (– 25.8 %). Didelį metalinių ortakių kvėpavimo neorganinių junginių poveikį lemia cinkuoto plieno gamybos procesas. Jonizuojančios spinduliuotės kategorijoje didžiausią poveikį daro metalinis ortakis, kurio poveikis 9.3 karto didesnis už medžiaginio ortakio ir 11.6 karto didesnis už medžiaginio perdirbto ortakio (metalinis 100 %, medžiaginis 10.7 %, medžiaginis perdirbtas 8.62 %). Ozono sluoksnio mažėjimo kategorijoje didžiausią poveikį daro metalinis ortakis, kurio poveikis yra 3.7 karto didesnis už medžiaginio ortakio ir 17.3 karto didesnis už medžiaginio perdirbto ortakio (metalinis 100 %, medžiaginis 26.7 %, medžiaginis perdirbtas 5.77 %). Didelį jonizuojančios spinduliuotės bei ozono sluoksnio mažėjimo poveikį kuria metalinio ortakio gamybos metu naudojama elektra, kuri yra gaminama iš neatsinaujinančių šaltinių, tokių kaip akmens anglis, gamtinės dujos, nafta. Deginant iškastinį kurą (anglį, gamtines dujas ir naftą) išsiskiria daug teršalų, įskaitant sieros dioksidą (SO₂), azoto oksidus (NO₂), kietąsias daleles ir lakiuosius organinius junginius. Kvėpavimo takų organinių junginių kategorijoje didžiausią poveikį daro medžiaginis ortakis (4.97 %), teigiamą poveikį daro perdirbtas medžiaginis ortakis (– 13.5 %), didžiausią teigiamą poveikį daro metalinis ortakis (– 100 %). Vandens ekotoksiškumo kategorijoje didžiausią neigiamą poveikį daro medžiaginis ortakis (100 %), mažesnę medžiaginis perdirbtas ortakis (83 %) ir teigiamą poveikį daro metalinis ortakis (– 14.4 %). Žemės ekotoksiškumo kategorijoje didžiausią neigiamą poveikį daro medžiaginis ortakis, kurio poveikis yra 1.3 karto didesnis už medžiaginio perdirbto ortakio poveikį ir 19.7 karto didesnis už metalinio ortakio (medžiaginis 100 %, medžiaginis perdirbtas 79.9 %, metalinis 5.08 %). Vandens, žemės ekotoksiškumą lemia polietilenteraftalato ir aliuminio gamybos procesai. Žemės rūgštingumo kategorijoje didžiausią poveikį daro metalinis ortakis (100 %), mažesnę medžiaginis ortakis (3.85 %) ir teigiamą poveikį daro medžiaginis perdirbtas ortakis (– 1.39 %). Žemės užimtumo kategorijoje didžiausią poveikį daro medžiaginis ortakis (23.1 %), mažesnę medžiaginis perdirbtas ortakis (21.5 %) ir teigiamą poveikį daro metalinis ortakis (– 100 %). Žemės užimtumo poveikį lemia pakavimui skirtų kartoninių dėžių vartojimas. Vandens rūgštėjimo kategorijoje didžiausią poveikį daro metalinis ortakis (100 %), mažesnę medžiaginis ortakis (0.2 %) ir teigiamą poveikį kuria metalinis ortakis (– 5.12 %). Vandens eutrofikacijos kategorijoje didžiausią poveikį daro metalinis ortakis (100 %), mažesnę medžiaginis ortakis (50.3 %) ir teigiamą poveikį kuria metalinis ortakis (– 42.2 %). Globalinio atšilimo kategorijoje didžiausią poveikį daro metalinis ortakis (100 %), mažesnę medžiaginis ortakis (0.954 %) ir teigiamą poveikį daro metalinis ortakis (– 9.67 %). Neatsinaujinančios energijos kategorijoje didžiausią neigiamą poveikį daro metalinis ortakis (100 %), mažesnę medžiaginis ortakis (3.75 %) ir teigiamą poveikį daro metalinis ortakis (– 12 %). Mineralų gavybos kategorijoje didžiausią neigiamą poveikį daro metalinis ortakis (100 %), teigiamą medžiaginis ortakis (– 37.2 %) ir didžiausią teigiamą poveikį daro perdirbtas medžiaginis ortakis (– 54 %). Globalinio atšilimo, neatsinaujinančios energijos bei mineralų gavybos poveikį nulemia didelės elektros sąnaudos bei plieno gamybos procesas.

3.2.5. Lyginamoji analizė, normalizuojant medžiaginio ortakio, perdirbto medžiaginio ortakio ir metalinio ortakio ventiliacinių sistemų rezultatus

Atlikus trijų tipų ventiliacinių sistemų būvio ciklo poveikio vertinimą, rezultatai buvo normalizuoti. Įvertintos keturios poveikio kategorijos: žmogaus sveikata, ekosistemos kokybė, klimato kaita ir ištekliai. Rezultatų normalizavimas atliekamas suvienodinant matavimo vienetus, kas suteikia galimybę palyginti kiekvieno ortakio poveikį skirtingose kategorijose.

13 pav. pateiktas ortakių būvio ciklo normalizuotų rezultatų palyginimas žmogaus sveikatos, ekosistemos kokybės, klimato kaitos ir išteklių kategorijose. Pagal normalizuotus rezultatus matoma, kad medžiaginiai perdirbti ortakiai visose poveikio kategorijose daro mažiausią poveikį aplinkai išskyrus ekosistemos kokybę. Žmogaus sveikatos kategorijoje didžiausią poveikį lemia metaliniai ortakiai, kurių poveikis yra 9.7 karto didesnis už medžiaginio ortakio poveikį, o medžiaginio perdirbto ortakio poveikis yra neigiamos reikšmės, tai reiškia, kad jis daro teigiamą poveikį aplinkai. Vertinant ekosistemos kokybės kategoriją visų trijų ortakių poveikiai aplinkai yra nedideli lyginant su kitomis kategorijomis. Didžiausią poveikį ekosistemos kokybės kategorijoje daro medžiaginis ortakis, kurio poveikis yra 1.25 karto didesnis už medžiaginio perdirbto ortakio ir žymiai didesnis nei metalinio ortakio, kurio reikšmė yra neigiama. Neigiama reikšmė, kaip ir pirmoje kategorijoje reiškia, kad metalinis ortakis daro teigiamą poveikį aplinkai ekosistemos kokybės kategorijoje. Klimato kaitos kategorijoje metalinis ortakis daro net 105 kartus didesnę poveikį aplinkai nei medžiaginis ortakis, o medžiaginis perdirbtas ortakis yra neigiamos reikšmės, kas taip pat, kaip ir žmogaus sveikatos kategorijoje atskleidžia, jog ortakis neturi neigiamo poveikio aplinkai. Išteklių kategorijoje metaliniai ortakiai, taip pat kaip ir žmogaus sveikatos bei klimato kaitos kategorijose daro didžiausią poveikį. Šioje kategorijoje metalinis ortakis daro 27 kartus didesnę poveikį aplinkai nei medžiaginis. Medžiaginis perdirbtas ortakis, kaip ir klimato kaitos bei žmogaus sveikatos kategorijose yra neigiamos vertės.



13 pav. Normalizuoti rezultatai medžiaginio ortakio, perdirbto medžiaginio ortakio ir metalinio ortakio atvejais

Išanalizavus normalizuotus rezultatus matoma, kad metaliniai ortakiai trijose iš keturių kategorijų daro didžiausią neigiamą poveikį aplinkai: žmogaus sveikatos, klimato kaitos bei išteklių kategorijose. Ekosistemos kokybės kategorijoje didžiausią poveikį lemia medžiaginiai ortakiai. Trijose iš keturių kategorijų perdirbti medžiaginiai ortakiai pasižymi teigiamu poveikiu aplinkai.

3.3. Rezultatų palyginimas su kitais darbais

Atliekant būvio ciklo vertinimą, sunku tiesiogiai lyginti rezultatus su įvairių autorių darbais, nes gali skirtis darbo tikslai ar lyginamieji produktai, taip pat ir funkcinis vienetas, sistemos ribų apibrėžimas ir poveikio vertinimo skaičiavimo metodas. Šie veiksniai stipriai įtakoja būvio ciklo tyrimo rezultatus ir jų palyginamumą. Kadangi šiuo metu nėra atliktų mokslinių tyrimų, kurie palygintų medžiaginių, perdirbtų medžiaginių ir metalinių ortakių poveikį aplinkai remiantis būvio ciklo vertinimo metodologija, rezultatai bus lyginami su moksliniu tyrimu, kuris vertino skirtingų ortakių poveikį aplinkai ir taip pat su produkto poveikio aplinkai deklaracija (EPD), kuri yra III tipo aplinkosaugos deklaracija – standartizuota (ISO 14025) ir būvio ciklo metodologija pagrįsta priemonė, skirta informuoti apie gaminio aplinkosauginį poveikį [49].

Kaip jau buvo minėta teorinėje dalyje Manuel Botejara-Antúnez, Jaime González Domínguez ir Justo García-Sanz-Calcedo 2023 metais paskelbtame straipsnyje „Life cycle analysis methodology for heating, ventilation and air conditioning ductwork in healthcare buildings“, atlikta išsami dvylikos įvairių tipų ŠVOK ortakių analizė [48]. Tyrimas remiasi būvio ciklo vertinimo metodika, kurioje įvertinamas aplinkos poveikis pagal ortakio medžiagos tipą, tankį, šiluminį laidumą, transportavimą ir suvartojamą energiją. Tyrimo metu buvo pasirinkti keli ŠVOK ortakių tipai, kurių kiekvienas turi savo privalumų ir trūkumų [48]. Straipsnyje buvo analizuojami šių medžiagų ortakiai: aliuminio, vario, poliuretano, cinkuoto plieno, poliizocianurato, fenolio putų, nerūdijančio plieno, aliuminio su plieninės vielos rėmu. Kadangi šiame etape siekiama palyginti gautus rezultatus su cinkuoto plieno ortakiais, kitų medžiagų ortakiai nebus aptariami. Straipsnyje pasirinktas funkcinis vienetas – 1 m² ortakio vidinio paviršiaus ploto, o sistemos ribos apėmė žaliavų gavybą, ortakio gamybą, transportavimą į sveikatos priežiūros pastatą, montavimą, tarnavimo laiką (25 metai) ir eksploatacijos nutraukimą (ortakio išmontavimą) [48]. Vertinimas buvo atliktas naudojantis „SimaPro v9.0“ programine įranga ir taikytas Recipe 2016 metodas. Gauti rezultatai atskleidė, kad iš 12 vertintų ortakių cinkuotas plieninis ortakis, izoliuotas stiklo pluoštu užėmė antrą vietą pagal didžiausią daromą poveikį aplinkai. Buvo nustatyta, kad šis ortakis vidurio taškų kategorijose didžiausią poveikį kėlė globalinio atšilimo bei nekancerogeniniam toksiškumui žmogui. O vertinant žalos poveikio rezultatus didžiausias poveikis pastebėtas žmogaus sveikatos kategorijoje, kurio rezultatas 5.1×10^{-4} DALY (DALY – negalios koreguotų gyvenimo metų matavimo vienetas (angl. disability-adjusted life years)) [48]. Tiriamojo projekto metu nustatyta, kad modeliuotas metalinis cinkuoto plieno ortakis izoliuotas stiklo pluoštu, taip pat daro labai didelį poveikį globaliniam atšilimui (316.17 kg CO₂ ekvivalento) bei nekancerogeniniam toksiškumui (1.75 kg C₂H₃Cl ekvivalento). Tiriamojo projekto metu, buvo nustatyta, kad metalinis ortakis daro didelę įtaką žmogaus sveikatos kategorijai, kaip ir analizuotame straipsnyje.

Teorinėje apžvalgoje buvo analizuota, kad produkto poveikį aplinkai, taip pat vertina produkto poveikio aplinkai deklaracijos (EPD). Viena iš šių deklaracijų 2020 metais vertino Prihoda® gamintojo medžiaginių ortakių poveikį aplinkai [43]. Tyrime vertinamas ortakis buvo pagamintas iš 100 % perdirbto poliesterio audinio, o pasirinktas funkcinis vienetas 1 m². Sistemos ribos apėmė tris dalis – pirminius procesus (išteklių išgavimas, rafinavimas ir transportavimas, žaliavų išgavimas,

žaliavų perdirbimas, pakavimo medžiagų gamyba), antrinius procesus (medžiagų transportavimas į gamyklą, ortakių ir difuzorių gamyba ir montavimas, pakavimas, gamybos atliekų tvarkymas) bei tretinius procesus (galutinio produkto transportavimas, naudojimo fazė, produkto gyvavimo pabaiga (išmetimas į sąvartyną), pakuočių gyvavimo pabaiga (perdirbimas arba šalinimas sąvartynuose) [43]. Būvio ciklo vertinimas atliktas „openLCA 1.9“ programine įranga. Nors funkcinis vienetas bei sistemos ribos skiriasi nuo šiame darbe pasirinkto funkcinio vieneto, visvien galima pastebėti, ar poveikio kategorijos, kurioms daromas didžiausias poveikis yra tokios pačios. Pagal EPD deklaraciją buvo vertinamos šios poveikio kategorijos: globalinis atšilimas (viso 2.27 kg CO₂ ekvivalento), ozono ardyimas (viso 2.72 x 10⁻⁷ kg CFC⁻¹¹ ekvivalento), rūgštingumas (viso 0.0101 kg SO₂ ekvivalento), eutrofikacija (viso 0.00932 kg N ekvivalento), smogas (viso 0.169 kg O₃ ekvivalento), iškastinio kuro eikvojimas (viso 2.48 MJ ekvivalento) [43]. Šiame tiriamajame darbe buvo vertinamos kancerogeninio poveikio, nekancerogeninio poveikio, kvėpavimo neorganinių junginių, jonizuojančios spinduliuotės, ozono sluoksnio mažėjimo, kvėpavimo takų organinių junginių, vandens ekotoksiškumo, žemės ekotoksiškumo, žemės rūgštingumo, žemės užimtumo, vandens rūgštėjimo, vandens eutrofikacijos, globalinio atšilimo, neatsinaujinančios energijos bei mineralų gavybos kategorijos. Pagal EPD didžiausias poveikis buvo sukeltas globalinio atšilimo kategorijai, o tiriamojo projekto metu vertinant neperdirbtą medžiaginių ortakį sukeltas globalinio atšilimo poveikis buvo 2.6 kg CO₂ emisijų, vertinant perdirbtą medžiaginių ortakį -28.7 kg CO₂ emisijų, neigiamas rezultatas reiškia, kad yra daromas teigiamas poveikis aplinkai. Tiriamajame darbe mažas bendras CO₂ ekvivalentas buvo gautas, nes modeliuojant būvio ciklo inventorinę analizę dauguma medžiagų buvo priimta, jog bus perdirbamos. Tiriamajame darbe nevertinant, kad ortakio komponentai yra perdirbami globalinio atšilimo kategorijos poveikis būtų 90.02 kg CO₂ ekvivalento, o vertinant perdirbtą medžiaginių ortakį 58.9 kg CO₂ ekvivalento. Tuo tarpu ozono sluoksnio mažėjimo kategorijoje pagal EPD atliktą poveikio vertinimą rezultatas gautas 2.72 x 10⁻⁷ kg CFC⁻¹¹ ekvivalento, o tiriamojo projekto metu medžiaginio ortakio 1.24 x 10⁻⁶ kg CFC⁻¹¹ ekvivalento ir perdirbto medžiaginio ortakio 4.79 x 10⁻⁸ kg CFC⁻¹¹ ekvivalento. Taigi, tiek EPD deklaracijos rezultatai, tiek tiriamojo projekto, pasižymi nedideliu ozono sluoksnio mažėjimo poveikiu. Kitas poveikio kategorijas palyginti nėra įmanoma dėl skirtingų poveikio vertinimo kategorijų matavimo vienetų, kadangi būvio ciklo vertinimai buvo atlikti remiantis skirtingomis būvio ciklo vertinimo metodikomis.

3.4. Jautrumo analizės rezultatai

Jautrumo analizė buvo atlikta medžiaginių, perdirbtų medžiaginių ir metalinių ortakių ventiliacinėms sistemoms, siekiant įvertinti rezultatų patikimumą bei jautrumą į tam tikrų parametrų pasikeitimus. Jautrumo analizė atlikta remiantis metodika, aprašyta metodinėje dalyje 2.7 skyriuje. Atliekant jautrumo analizę buvo priimta, kad medžiaginio ortakio PET kiekis įvesties duomenyse bus padidintas ir sumažintas 5 %, perdirbto medžiaginio ortakio aliuminio kiekis įvesties duomenyse bus padidintas ir sumažintas 5 %, o metalinių ortakių įvesties duomenyse bus padidintas ir sumažintas cinkuoto plieno kiekis 5 %, taip pat atitinkamai bus pakeisti perdirbamų medžiagų kiekiai, visi kiti parametrai nekis. Keičiami parametrai buvo pasirinkti remiantis charakterizavimo rezultatais, pagal tai, kokios medžiagos ar procesai darė didžiausią poveikį aplinkai. Jautrumo analizei apskaičiuoti įvesties ir išvesties duomenys pavaizduoti 13 lentelėje.

13 lentelė. Įvesties duomenys, skirti jautrumo analizei atlikti

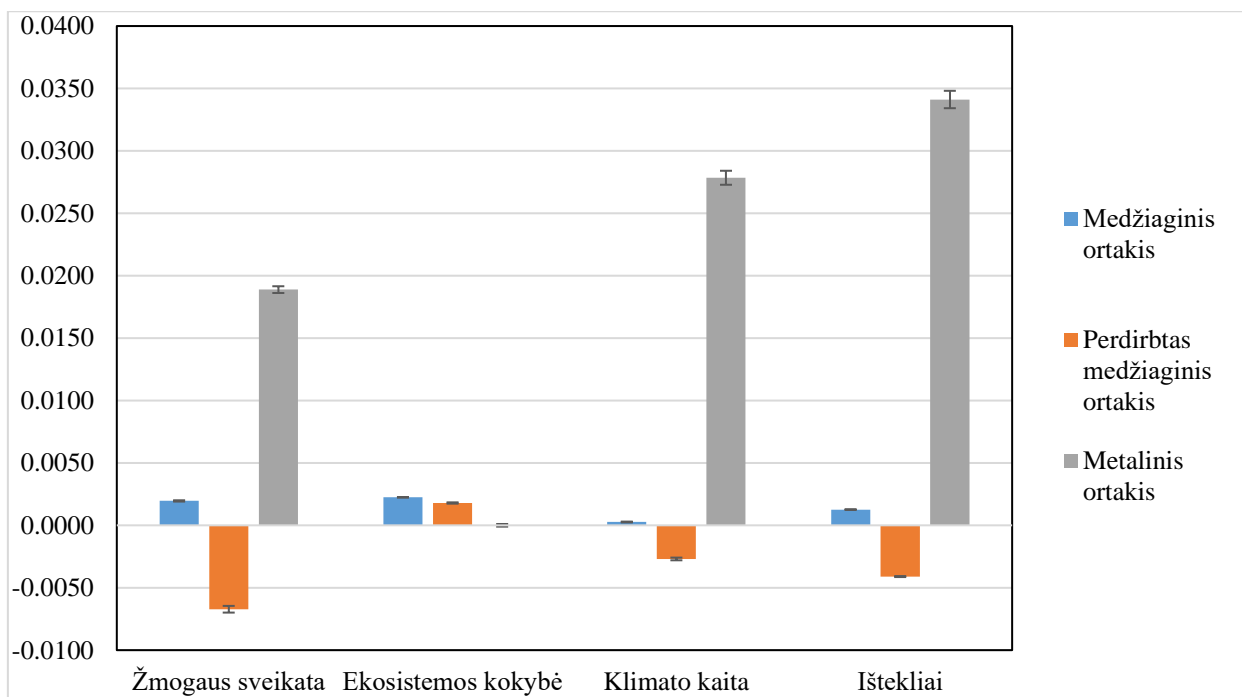
	Medžiaginis ortakis	Perdirbtas medžiaginis ortakis	Metalinis ortakis
Įvesties duomenys			
Cinkuotas plienas	x	x	126.25
PET	11.078	x	x
Aliuminis	x	3.8242	x
Sumažinus 5 %	10.52	4.02	119.94
Padidinus 5 %	11.63	3.63	132.56
Išvesties duomenys			
PET perdirbimas sumažinus 5 %	11.62	x	x
PET perdirbimas padidinus 5 %	11.62	x	x
Aliuminio perdirbimas sumažinus 5 %	x	4.02	x
Aliuminio perdirbimas padidinus 5 %	x	3.63	x
Plieno perdirbimas sumažinus 5 %	x	x	83.96
Plieno deginimas sumažinus 5 %	x	x	35.98
Plieno perdirbimas padidinus 5 %	x	x	92.79
Plieno deginimas padidinus 5 %	x	x	39.77

Apskaičiavus įvesties duomenų pasikeitimą buvo atlikti papildomi skaičiavimai „SimaPro 9.0“ programinėje įrangoje, naudotas poveikio vertinimo metodas IMPACT 2002+. Skaičiavimai buvo atlikti įvedant naujas PET, aliuminio ir cinkuoto plieno vertes į programinę įrangą, kurios buvo padidintos ir sumažintos 5%. 14 paveiksle vaizduojami normalizuoti jautrumo analizės rezultatai. Priede nr. 3 pateikiamos normalizuotų duomenų vertės padidinus ir sumažinus įvesties duomenis.

Analizuojant normalizuotus jautrumo analizės rezultatus, kuomet medžiagų įvesties duomenys buvo padidinti 5 %, matoma, kad žmogaus sveikatos kategorijoje metalinis ortakis sukuria didžiausią poveikį aplinkai, kurio poveikis yra 9.3 karto didesnis už medžiaginių ortakį ir taip pat didesnis už perdirbto medžiaginio ortakio poveikį. Perdirbto medžiaginio ortakio poveikis yra neigiamas, kas simbolizuoja, kad šis ortakis daro teigiamą poveikį aplinkai. Ekosistemos kokybės kategorijoje medžiaginio ortakio poveikis yra 0.8 karto didesnis už perdirbto medžiaginio ortakio ir taip pat didesnis už metalinio ortakio, kurio vertė yra neigiama. Klimato kaitos kategorijoje didžiausią poveikį daro metalinis ortakis, kurio poveikis yra 95 kartus didesnis už medžiaginio ortakio ir žymiai didesnis už perdirbto medžiaginio ortakio, kurio poveikis yra neigiamas. Išteklių kategorijoje metalinis ortakis taip pat daro didžiausią poveikį aplinkai ir yra 27 kartus didesnis už medžiaginių ortakių ir daug didesnis už perdirbto medžiaginio ortakio, kurio vertė yra neigiama.

Analizuojant normalizuotus jautrumo analizės rezultatus, kuomet medžiagų įvesties duomenys buvo sumažinti 5 %, matoma, kad metalinis ortakis žmogaus sveikatos kategorijoje taip pat daro didžiausią poveikį aplinkai ir kuria 10.1 karto didesnę poveikį už medžiaginių ortakį ir taip pat didesnę už perdirbto medžiaginio ortakio poveikį. Ekosistemos kokybės kategorijoje medžiaginio ortakio poveikis yra 0.8

karto didesnis už perdirbto medžiaginio ortakio ir taip didesnis už metalinio ortakio, kurio vertė yra neigiama. Klimato kaitos kategorijoje didžiausią poveikį daro metalinis ortakis, kurio poveikis yra 117 kartus didesnis už medžiaginio ortakio ir žymiai didesnis už perdirbto medžiaginio ortakio, kuris taip pat pasižymi neigiamu poveikiu. Išteklių kategorijoje metalinis ortakis taip pat daro didžiausią poveikį aplinkai ir yra 27 kartus didesnis už medžiaginių ortakių ir daug didesnis už perdirbto medžiaginio, kurio vertė yra neigiama.



14 pav. Jautrumo analizė normalizuojant duomenis

Bendrai vertinant normalizuotus jautrumo analizės rezultatus matoma, kad didžiausias poveikis aplinkai kuriamas išteklių kategorijoje, mažesnis klimato kaitos ir žmogaus sveikatos kategorijose, o mažiausias ekosistemos kokybės kategorijoje. Atlikus jautrumo analizę įvertinta, kad metalinis ortakis tiek sumažinus, tiek padidinus cinkuoto plieno kiekį 5 % visvien daro didžiausią poveikį žmogaus sveikatos, išteklių bei klimato kaitos kategorijose. Medžiaginis ortakis taip pat, tiek sumažinus, tiek padidinus PET kiekį 5% daro didžiausią poveikį ekosistemos kokybės kategorijoje. O perdirbtas medžiaginis ortakis padidinus ir sumažinus aliuminio kiekį 5 % visvien daro mažiausią poveikį žmogaus sveikatos, klimato kaitos bei išteklių kategorijose.

Išvados

1. Atlikus mokslinės literatūros apžvalgą buvo nustatyta, kad patalpų ventiliavimo sistemos lemia tinkamą vidaus oro kokybę bei komfortą, nuo, ko priklauso žmogaus sveikata. Efektyviausia ir labiausiai žinoma ventiliavimo sistema yra šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo sistema. Nustatyta, kad pagrindinė ŠVOK sistemos sudedamoji dalis yra ortakiai. Jie gali būti medžiaginiai arba metaliniai. Medžiaginius ortakius lengva montuoti, prižiūrėti, jie gali būti pagaminti iš perdirbtų medžiagų. Metalinius ortakius yra sudėtinga montuoti, jie yra sunkūs, gamybos metu eikvojama daug išteklių. Dėl šių priežasčių medžiaginiai ortakiai yra populiarūs metalinių ortakių alternatyva, vis dėl to nėra atliktų mokslinių tyrimų, kurie palygintų skirtingus ortakių tipus aplinkos poveikio atžvilgiu.
2. Norint palyginti skirtingų ortakių sistemų poveikį aplinkai buvo atliktas būvio ciklo vertinimas. Vertinimas buvo atliktas medžiaginiams ortakiams, pagamintiems ir polietileno tereftalato, perdirbtiems medžiaginiams ortakiams, pagamintiems iš perdirbtų PET butelių bei metaliniams ortakiams, pagamintiems iš cinkuoto plieno. Tyrimui atlikti buvo nustatytas funkcinis vienetas – 100 m² patalpos vėdinimas 20 metų laikotarpiui. Taip pat, buvo apibrėžtos sistemos ribos, vertinama – išteklių išgavimas, žaliavų išgavimas, žaliavų apdorojimas, pakuotės gamyba, medžiagų transportavimas į gamyklą, ortakio gamyba, ortakio priežiūra, produkto gyvavimo pabaiga. Remiantis literatūra buvo surinkti ir apskaičiuoti reikalingi įvesties ir išvesties inventorinės analizės duomenys.
3. Modeliavimas buvo atliekamas „SimaPro 9.0“ programinėje įrangoje. Charakterizuoti poveikio rezultatai atskleidė, kad metalinis ortakis daro didžiausią poveikį aplinkai devyniose iš penkiolikos vertintų kategorijų. Medžiaginiai ortakiai pasižymėjo didžiausiu poveikiu šešiose iš penkiolikos kategorijų. Tuo tarpu perdirbti medžiaginiai ortakiai rodė mažiausią poveikį aplinkai visose analizuotose būvio ciklo vertinimo kategorijose. Normalizuoti rezultatai, parodė, kad medžiaginiai perdirbti ortakiai trijose iš keturių poveikio kategorijų daro mažiausią poveikį. Metaliniai ortakiai pasižymėjo 9.7 karto didesniu už medžiaginio ortakio poveikiu žmogaus sveikatos kategorijoje bei 105 kartus didesniu poveikiu aplinkai klimato kaitos kategorijoje. Ekosistemos kokybės kategorijoje visi ortakiai rodė nedidelį poveikį, didžiausią poveikį darė medžiaginis ortakis, kurio poveikis buvo 1.25 karto didesnis už medžiaginio perdirbto ortakio ir žymiai didesnis nei metalinio ortakio. Išteklių kategorijoje metaliniai ortakiai, taip pat kaip ir žmogaus sveikatos bei klimato kaitos kategorijose daro didžiausią poveikį. Šioje kategorijoje metalinis ortakis daro 27 kartus didesnę poveikį aplinkai nei medžiaginis. Medžiaginis perdirbtas ortakis, kaip ir klimato kaitos bei žmogaus sveikatos kategorijose yra neigiamos vertės.
4. Rezultatų patikimumui ir jautrumui įvertinti buvo atlikta jautrumo analizė. Jautrumo analizės rezultatai atskleidė, kad pakeitus įvesties duomenis, metalinis ortakis vis vien daro didžiausią poveikį žmogaus sveikatos, išteklių bei klimato kaitos kategorijose. Medžiaginis ortakis daro didžiausią poveikį ekosistemos kokybės kategorijoje. O perdirbtas medžiaginis ortakis daro mažiausią poveikį žmogaus sveikatos, klimato kaitos bei išteklių kategorijose.
5. Atlikus ventiliacinių sistemų ortakių būvio ciklo vertinimą, buvo nustatyta, kad ventiliacinė sistema, pagaminta iš cinkuoto plieno ortakio daro didžiausią poveikį aplinkai. Analizuotuose moksliniuose šaltiniuose cinkuoto plieno ortakis taip pat pasižymėjo dideliu neigiamu poveikiu aplinkai. Perdirbta medžiaginių ortakių ventiliacinė sistema parodė mažiausią poveikį aplinkai, o medžiaginio ortakio ventiliacinė sistema darė didesnę poveikį aplinkai už perdirbtą, tačiau pasižymėjo žymiai mažesniu poveikiu už cinkuoto plieno ortakį. Pagal gautus rezultatus rekomenduojama rinktis ventiliacinę sistemą, pagamintą iš perdirbto medžiaginio ortakio.

Literatūros sąrašas

1. KHADRA, Alaa, Mårten HUGOSSON, Jan AKANDER, Jonn Are MYHREN. *Economic performance assessment of three renovated multi-family buildings with different HVAC systems*. Interaktyvus. 2020, psl. 224. ISSN 0378-7788. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778819338903> [žiūrėta 2024-04-12]
2. AWBI, Hazim B. *Ventilation Systems: Design and Performance (1st ed.)*. Interaktyvus. 2008, psl. 464. Prieiga per: <https://www.taylorfrancis.com/books/edit/10.4324/9780203936894/ventilation-systems-hazim-awbi> [žiūrėta 2024-04-12]
3. SUGARMAN, Samuel C. (2015). *HVAC Fundamentals, Third Edition (3rd ed.)*. Interaktyvus. River Publishers. Prieiga per: <https://doi.org/10.1201/9781003151975> [žiūrėta 2024-04-12]
4. AVISO, Kathleen B. *Overview of LCA—History, Concept, and Methodology*. Interaktyvus. 2024, psl. 107-114. ISBN 9780443222870. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323903868001133> [žiūrėta 2024-04-12]
5. ASIM, Nilofar, Marzieh BADIEI, Masita MOHAMMAD, Halim RAZALI, Armin RAJABI, et. al. *Sustainability of Heating, Ventilation and Air-Conditioning (HVAC) Systems in Buildings—An Overview*. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. Interaktyvus. 2022, psl. 19(2):1016. Prieiga per: <https://www.mdpi.com/1660-4601/19/2/1016> [žiūrėta 2024-04-12]
6. SOLANO, Juan Carlos, Estefanía CAAMANO-MARTIN, Lorenzo OLIVERI, Diego ALMEIDA-GALARRAGA. *HVAC systems and thermal comfort in buildings climate control: An experimental case study*. Interaktyvus. 2021, psl. 269-277. ISSN 2352-4847. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484721004108> [žiūrėta 2024-04-12]
7. CIBSE. *Top Tips - Ventilation in Buildings*. Interaktyvus. 2015. Prieiga per: <https://www.cibse.org/knowledge-research/knowledge-portal/ventilation-in-buildings-top-tips> [žiūrėta 2024-04-13]
8. FONTANINI, Anthony, Michael G. OLSEN, Baskar GANAPATHYSUBRANIA. *Thermal comparison between ceiling diffusers and fabric ductwork diffusers for green buildings*. Interaktyvus. 2011, psl. 2973-2987. ISSN 0378-7788. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778811002970> [žiūrėta 2024-04-13]
9. WARGOCKI, Pawel. *What we know and should know about ventilation*. Interaktyvus. 2021, psl. 58.2: 5-13. Prieiga per: http://www.scanvac.eu/uploads/9/4/5/2/94521553/wargocki_rj2102.pdf [žiūrėta 2024-04-13]
10. PERSILY, Andrew. *What we Think we Know about Ventilation*. *International Journal of Ventilation*. Interaktyvus. 2016, psl. 275–290. Prieiga per: <https://doi.org/10.1080/14733315.2006.11683745> [žiūrėta 2024-04-13]
11. DING, Junwei, Chuck Wah YU, Shi-Jie CAO. *HVAC systems for environmental control to minimize the COVID-19 infection*. *Indoor and Built Environment*. Interaktyvus. 2020, psl. 29(9):1195-1201. Prieiga per: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1420326X20951968> [žiūrėta 2024-04-13]
12. JAVIER, González-Martín, Norbertus JOHANNES, Richardus KRAAKMAN, Cristina PEREZ, Raquel LEBRERO, et. al. *A state-of-the-art review on indoor air pollution and strategies for indoor air pollution control*. Interaktyvus. 2021, psl. 262. ISSN 0045-6535. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128376> [žiūrėta 2024-04-14]

13. MANNAN, Mehzabeen, Sami G. AL-GHAMDI. *Indoor Air Quality in Buildings: A Comprehensive Review on the Factors Influencing Air Pollution in Residential and Commercial Structure. International Journal of Environmental Research and Public Health*. Interaktyvus. 2021, psl. 18(6):3276. Prieiga per: <https://www.mdpi.com/1660-4601/18/6/3276> [žiūrėta 2024-04-14]
14. US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Residential air cleaners: a technical summary. Tech. Rep. EPA 402-F-09-002*. Interaktyvus. 2018. Prieiga per: https://www.epa.gov/sites/default/files/2018-07/documents/residential_air_cleaners_-_a_technical_summary_3rd_edition.pdf [žiūrėta 2024-04-14]
15. JANTUNEN, Matti, Otto HÄNNINEN, Kimmo KOISTINEN, Jamal Hisham HASHIM. *Fine PM measurements: personal and indoor air monitoring*. . Interaktyvus. 2002, psl. 993-1007. ISSN 0045-6535. Prieiga per: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653502002722?casa_token=SCBuqgUAveAAAAAA:SrS7rDJWO85IfmpNfUK7G5yNQftULPfJp5aulwN5X-lqJWTgZFi_d-W9Q66aJ9gB1WQbSlbZdQ [žiūrėta 2024-04-14]
16. GIAMA, Effrosyni. *Review on Ventilation Systems for Building Applications in Terms of Energy Efficiency and Environmental Impact Assessment*. Interaktyvus. 2022, psl. 15(1):98. Prieiga per: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/1/98> [žiūrėta 2024-04-14]
17. AFSHARI, Alireza, Luboš FOREJT, Jinhan MO, Siamak RAHIMI, Jeffrey SIEGEL, et. al. *Electrostatic Precipitators as an Indoor Air Cleaner—A Literature Review*. Interaktyvus. 2020, psl. 12(21):8774. Prieiga per: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/21/8774> [žiūrėta 2024-04-14]
18. WARING, Michael S., Jeffrey A. SIEGEL, Richard L. Corsi. *Ultrafine particle removal and generation by portable air cleaners*. Interaktyvus. 2008, psl. 5003-5014. ISSN 1352-2310. Prieiga per: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231008001593?casa_token=y6OU84ZT4v8AAAAA:OTI-UsJKeyhrH4hSwla1N5MIYXK1Oghu3Kr0_hbIwsDp2MplNJFstLLVq7al6GDVmooLoppXzg [žiūrėta 2024-04-14]
19. ZHAN, Ying, Karoline JOHNSON, Christina NORRIS, Martin M. SHAFER, Mike H. BERGIN, et. al. *The influence of air cleaners on indoor particulate matter components and oxidative potential in residential households in Beijing*. Interaktyvus. 2018, psl. 507-518. ISSN 0048-9697. Prieiga per: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896971830024X?casa_token=KNl_MSnvEM0AAAAA:BXyRsZTQBdrMX0uR5P_bOY794hED-b5ZAFOral1NOjd3enyroezWbXoOL_9l5_dLf084nNCyMlQ [žiūrėta 2024-04-15]
20. US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Heating, Ventilation and Air-Conditioning Systems, Part of Indoor Air Quality Design Tools for Schools*. Interaktyvus. Prieiga per: <https://www.epa.gov/iaq-schools/heating-ventilation-and-air-conditioning-systems-part-indoor-air-quality-design-tools> [žiūrėta 2024-04-15]
21. AFRAM, Abdul, Farrokh JANABI-SHARIFI. *Review of modeling methods for HVAC systems*. . Interaktyvus. 2014, psl. 507-519. ISSN 1359-4311. Prieiga per: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431114002348?casa_token=EhiTXkXPwcAAAAA:8ktCV6FxQ5msEjFsGhidClm5lxVA6DS2GGt3fLU_1N9qISiIXH9QiGf_b6cxaMSeFIKiqUX6zg [žiūrėta 2024-04-15]

22. DAWOOD, Suroor M., Alireza HATAMI, Raad Z. HOMOD. *HVAC system modeling and control methods: a review and case study. Journal of Energy Management and Technology. . Interaktyvus. 2022, psl. 6.4: 217-231. Prieiga per: https://www.jemat.org/article_151707_947e3e9a271e490f1ede8270c6e6d1c9.pdf [žiūrėta 2024-04-15]*
23. GIAMA, Effrosyni. *Review on Ventilation Systems for Building Applications in Terms of Energy Efficiency and Environmental Impact Assessment. Interaktyvus. 2022; psl. 15(1):98. Prieiga per: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/1/98> [žiūrėta 2024-04-15]*
24. PARPAS, Demetris, Carlos AMARIS, Savvas A. TASSOU. *Experimental investigation and modelling of thermal environment control of air distribution systems for chilled food manufacturing facilities. Interaktyvus. 2017, psl. 1326-1339. ISSN 1359-4311. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S135943111731904X> [žiūrėta 2024-04-15]*
25. CZÉTÁNY, László, Zoltán SZÁNTHÓ. *Analysis of Pressure Changes in Air Ducts. In: Proceedings of CLIMA. Interaktyvus. 2013. Prieiga per: https://www.researchgate.net/profile/Laszlo-Czetany/publication/305309239_Analysis_of_Pressure_Changes_in_Air_Ducts/links/57878b8f08aecf56ebcb43ed/Analysis-of-Pressure-Changes-in-Air-Ducts.pdf [žiūrėta 2024-04-15]*
26. DUONG, Steven, Robert CRAVEN, Steve GARNER, Stephen IDEM. *A novel evaporative cooling tower constructed from an inflatable fabric duct. Interaktyvus. 2018, psl. 24(8), 908–918. Prieiga per: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23744731.2018.1460146?casa_token=z99x_ssZyJEAAAAA%3A1ux2xKfxwilxetBVleNCcrUQg3OhEV7FG3LecCZnwZBPKkmL_sOycqh0l26h3TJKifegHw2c3mTA [žiūrėta 2024-04-15]*
27. FRANCOEUR, Myriam, John BOWLING, Adam MCFADDEN. *Extensive Duct-Fan Systems with In-line Booster Fans: Planning for Partial Vacuum and an Algorithm for In-line Booster Fan Positioning. Mining, Metallurgy & Exploration. Interaktyvus. 2022, psl. 947–959. Prieiga per: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42461-022-00575-3> [žiūrėta 2024-04-16]*
28. BANSAL, Sahas, Pramod RAICHURKAR. *Review on the manufacturing processes of polyester-PET and nylon-6 filament yarn. International Journal on Textile Engineering and Processes. . Interaktyvus. 2016, psl. 2.3: 23-28. Prieiga per: <https://engineering-shirpur.nmims.edu/docs/review-on-the-manufacturing-processes-of-polyester-pet-and-nylon-6-filament-yarn-04.pdf> [žiūrėta 2024-04-16]*
29. LIN, Chinan. *Manufacture of polyester fibres. Interaktyvus. 2008, psl. 62-96. ISBN 9781845692988. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781845692988500031> [žiūrėta 2024-04-20]*
30. SARIOĞLU, Esin, Hatice Kübra KAYNAK. *PET bottle recycling for sustainable textiles. Polyester-production, characterization and innovative applications. Interaktyvus. 2017, psl. 5-20. Prieiga per: <https://www.intechopen.com/chapters/58300> [žiūrėta 2024-05-26]*
31. SADEGHI, Banafsheh, Yousef MARFAVI, Raouf ALIAKBARI, Elaheh KOWSARI, Farshad BORBOR AJDARI, et. al. *Recent studies on recycled PET fibers: Production and applications: A review. Materials Circular Economy. Interaktyvus. 2021, psl. 1-18. Prieiga per: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42824-020-00014-y> [žiūrėta 2024-05-26]*
32. GUPTA, Richa, Vinod Kumar SHUKLA, Princy AGARWAL. *Sustainable transformation in modest fashion through “RPET technology” and “dry-dye” process, using recycled PET plastic.*

- International Journal of Recent Technology and Engineering*. Interaktyvus. 2019, psl. 5415-5421. Prieiga per: https://www.researchgate.net/profile/Vinod-Shukla/publication/338401283_Sustainable_Transformation_in_Modest_Fashion_Through_RPET_Technology_and_Dry-Dye_process_using_Recycled_PET_Plastic/links/5e12a3834585159aa4b47570/Sustainable-Transformation-in-Modest-Fashion-Through-RPET-Technology-and-Dry-Dye-process-using-Recycled-PET-Plastic.pdf [žiūrėta 2024-04-20]
33. YUSOF, Mohd Khuzairy Bin Mohd, Mohd Subri Bin SAUD, Mawardi Bin MOHAMAD. *BENEFIT OF FABRIC DUCT FOR HOME APPLICATION*. Interaktyvus. 2017. ISBN: 978-93-86083-34-0. Prieiga per: https://www.worldresearchlibrary.org/up_proc/pdf/814-149303429301-03.pdf [žiūrėta 2024-04-20]
34. NANJAPORN, Roungpaisan, Natee SRISAWAT, Nattadon RUNGRUANGKITKRAI, Nawarat CHARTVIVATPORNCHAI, Jirachaya BOONYARIT, et. al. *Effect of Recycling PET Fabric and Bottle Grade on r-PET Fiber Structure*. Interaktyvus. 2023, psl. 15(10):2330. Prieiga per: <https://www.mdpi.com/2073-4360/15/10/2330> [žiūrėta 2024-04-20]
35. AWAJA, Firas, Dumitru PAVEL. *Recycling of PET*. *European polymer journal*. Interaktyvus. 2005, psl. 41.7: 1453-1477. Prieiga per: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0014305705000728?casa_token=iL5WaXLxvSQA AAAA:Y_XkBIAHfzf2gNWwj0cwIUSmNERoSRfk-Bi14PSocpYq-BDZJkXUQPoUnNoAc4B4gxlnDFjxw [žiūrėta 2024-04-20]
36. JANKAUSKAITE, Virginija, MACIJAUSKAS Gintaras, LYGAITIS Ramūnas. *Polyethylene terephthalate waste recycling and application possibilities: a review*. *Mater Sci (Medžiagotyra)*. Interaktyvus. 2008, psl. 14. ISSN 1392–1320. Prieiga per: <https://www.matsc.ktu.lt/index.php/MatSc/article/view/26243> [žiūrėta 2024-04-22]
37. SALIM, Badran M., Omar M. YOUSF, Firas M. YOUNIS. *Experimental Investigation on the Influence of Duct Material on the Heat Gain to Air Flow*. Interaktyvus. 2019, psl. 64-67 [žiūrėta 2024-04-22]. Prieiga per: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8950606>
38. BHATIA, Avantika. *HVAC Ducting – Principles and Fundamentals*. Interaktyvus. 2020. Prieiga per: <https://pdhonline.com/courses/m246/m246content.pdf> [žiūrėta 2024-04-22]
39. INT-HOUT, Dan. The deal about duct lining. *ASHRAE Journal*. Interaktyvus. 2014, psl. 56.5: 98-100. Prieiga per: https://www.krueger-hvac.com/files/white%20papers/article_the_deal_about_duct_lining.pdf [žiūrėta 2024-04-22]
40. SUN, Min, Jeffrey A. PACKER. *Hot-dip galvanizing of cold-formed steel hollow sections: a state-of-the-art review*. Interaktyvus. 2019, psl. 49–65. Prieiga per: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11709-017-0448-0#citeas> [žiūrėta 2024-04-23]
41. JI, Changxing, Xiaotian MA, Yijie Zhai, Ruirui ZHANG, Xiaoxu SHEN, Tianzuo ZHANG, Jinglan HONG. *Environmental impact assessment of galvanized sheet production: a case study in Shandong Province, China*. Interaktyvus. 2020, psl. 760–770. Prieiga per: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-020-01735-7> [žiūrėta 2024-04-23]
42. SUJAY, Kumar Dutta, Yakshil CHOKSHI. *Basic Concepts of Iron and Steel Making*. Interaktyvus. 2020, psl. 644. Prieiga per: <https://link-springer-com.ezproxy.ktu.edu/book/10.1007/978-981-15-2437-0> [žiūrėta 2024-04-23]

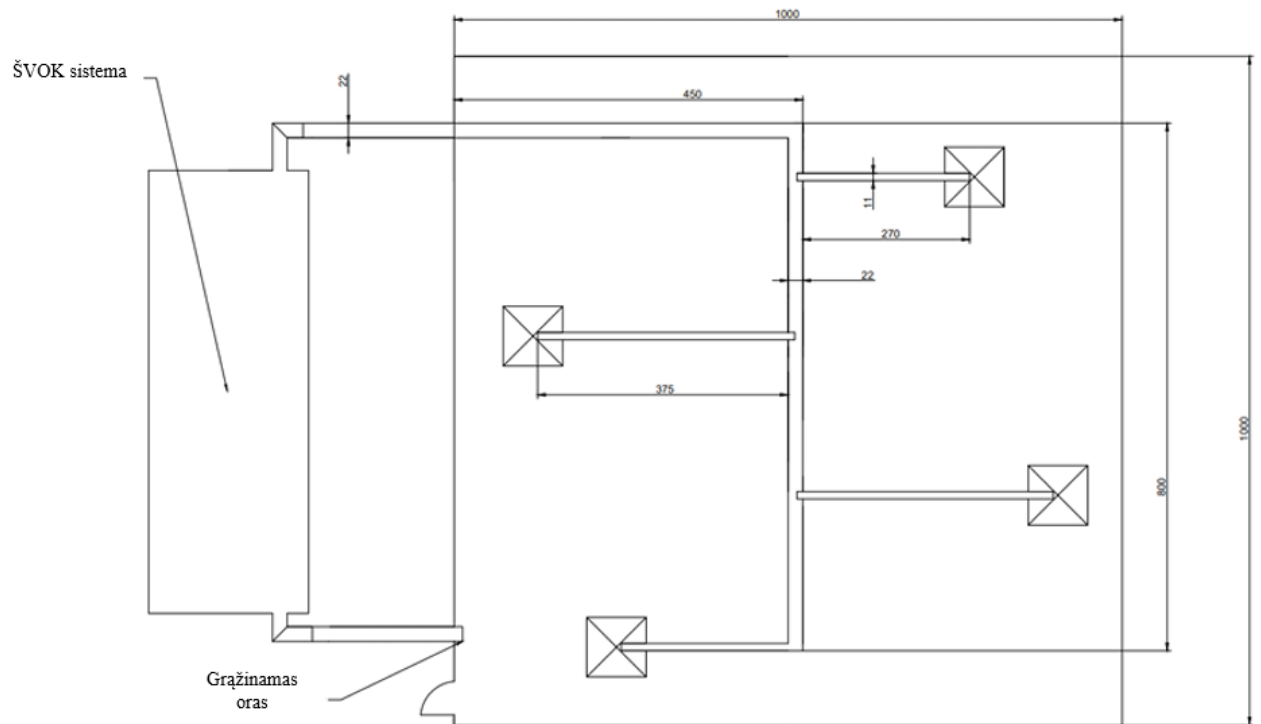
43. Prihoda s.r.o. Environmental Product Declaration. EPD Number and Period of Validity SCS-EPD-06235. Interaktyvus. 2020, psl. 16. Prieiga per: <https://www.prihoda.com/wp-content/uploads/2020/09/EPD-certificate.pdf> [žiūrėta 2024-04-23]
44. ASHRAE. *Equipment Life Expectancy chart*. Interaktyvus. Prieiga per: https://www.naturalhandyman.com/iip/infhvac/ASHRAE_Chart_HVAC_Life_Expectancy.pdf [žiūrėta 2024-04-23]
45. ROY, Poritosh, Daisuke NEI, Takahiro ORIKASA, Qingyi Xu, Hiroshi OKADOME, Nobutaka NAKAMURA, Takeo SHIINA. *A review of life cycle assessment (LCA) on some food products*. Interaktyvus. 2007, psl. 1-10. ISSN 0260-8774. Prieiga per: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877408002793?casa_token=1UKiO4GcAnEAAAAA:W0wVwOa8Q1x4HEV2mmIMKiivBSw5oYW-D0j3sRHIC4KEJzsqofP6wqm7cTt_tu2M7b-ILYekpA [žiūrėta 2024-04-23]
46. MURALIKRISHNA, Iyyanki V., Valli MANICKAM. *Chapter Five - Life Cycle Assessment*. Interaktyvus. 2017, psl. 57-75. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128119891000051> [žiūrėta 2024-04-23]
47. Aplinkos apsaugos vadyba. Gyvavimo ciklo vertinimas. Principai ir sandara. 1 keitinys (ISO 14040:2006/Amd 1:2020). Lietuvos standartizacijos departamentas.
48. BOTEJARA-ANTUNEZ, Manuel, Jaime GONZÁLEZ DOMÍNGUEZ, Justo GARCÍA-SANZ-CALCEDO. *Life cycle analysis methodology for heating, ventilation and air conditioning ductwork in healthcare buildings*. Interaktyvus. 2023, psl. 32(6):1213-1230. Prieiga per: https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1420326X231155146?casa_token=xGU6f5Q7-NsAAAAA%3AXS4pf7w6nSXgNQ7gsP07wKf4BOhMBxyiP_sJYgTtCaz2EBTWJ56BvemzNjJ7pZxg_pY3-dFiZuEQ [žiūrėta 2024-05-09]
49. DEL BORGHI, Adriana. *LCA and communication: environmental product declaration. The International Journal of Life Cycle Assessment*. Interaktyvus. 2013, psl. 293-295. Prieiga per internetą: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-012-0513-9> [žiūrėta 2024-05-09]
50. Aplinkos apsaugos vadyba. Gyvavimo ciklo vertinimas. Reikalavimai ir gairės. 2 keitinys (ISO 14044:2006/Amd 2:2020). Lietuvos standartizacijos departamentas.
51. FabricAir. Interaktyvus. 2024. Prieiga per: https://www.fabricair.com/lt/?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw6auyBhDzARIsALIo6v8bbyKIVtHhx2L-WYQEXtVWMmAN2DiCgwNd6cwJvfOdW_seO2QYjdQaAsWceALw_wcB [žiūrėta 2024-05-11]
52. HUMBERT, Sébastien, An DE SCHRYVER, Xavier BENGEOA, Manuele MARGNI, Olivier JOLLIET. *IMPACT 2002+: User Guide*. Interaktyvus. 2012, psl. 40. Prieiga per: https://quantis.com/pdf/IMPACT2002_UserGuide_for_vQ2.21.pdf [žiūrėta 2024-05-17]
53. ACERO, Aitor P., Cristina RODRÍGUEZ, Andreas CIROTH. *LCIA methods. Impact assessment methods in Life Cycle Assessment and their impact categories*. Interaktyvus. 2016, psl. 1-23. Prieiga per: https://www.openlca.org/wp-content/uploads/2015/11/openLCA_LCIA_METHODS-v.1.5.6.pdf [žiūrėta 2024-05-11]
54. JOLLIET, Olivier, Manuele MARGNI, Raphaël CHARLES, Sébastien HUMBERT, Jérôme PAYET, et. al. *IMPACT 2002+: A new life cycle impact assessment methodology*. Interaktyvus. 2003 m, psl. 324–330. Prieiga per: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02978505> [žiūrėta 2024-05-11]

55. NIEUWLAAR, E. *Life Cycle Assessment and Energy Systems*. Interaktyvus. 2013. ISBN 9780124095489. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124095489013348> [žiūrėta 2024-05-11]
56. LAURENT Alexis, Bo P. WEIDEMA, Jane BARE, Xun LIAO, Danielle MAIA DE SOUZA, et. al. *Methodological review and detailed guidance for the life cycle interpretation phase*. Interaktyvus. 2020, psl. 986-1003. Prieiga per: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7970486/#R76> [žiūrėta 2024-05-17]
57. PIROUZ, Behrouz, Stefania Anna PALERMO, Seyed Navid NAGHIB, Domenico MAZZEO, Michele TURCO, et. al. *The Role of HVAC Design and Windows on the Indoor Airflow Pattern and ACH*. Interaktyvus. 2021, psl. 13(14):7931. Prieiga per: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/14/7931#B85-sustainability-13-07931> [žiūrėta 2024-05-15]
58. ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2022. *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. Interaktyvus. 62.1-2010, 2010, psl. 84. ISSN 1041-2336. Prieiga per: <https://static1.squarespace.com/static/6320b844c3820725e4d5688f/t/6372af076022e56f815dc7f5/1668460297956/ASHRAE+62.1-2022+%281%29.pdf> [žiūrėta 2024-05-15]
59. CARRIE, François Rémi. *Improving ductwork. Energy in Buildings and Community Systems Program*. Interaktyvus. 2000. Prieiga per: https://aivc.org/sites/default/files/members_area/medias/pdf/Guides/GU04%20IMPROVING%20DUCTWORK.pdf [žiūrėta 2024-05-15]
60. SYSTEMAIR. *Air Grilles and Diffusion Grilles – NOVA series. The Best Solution for Your Ventilation*. Interaktyvus. Prieiga per: https://shop.systemair.com/upload/assets/TECHSPEC_NOVA_EN_201511_20190426_002544847.PDF [žiūrėta 2024-05-17]
61. BPC. Interaktyvus. 2024. Prieiga per: <https://www.bpcventilation.com/male-connector-metal#accordion> [žiūrėta 2024-05-17]
62. JINKYUNG, Kim, Dookyo JEONG, Changho SON, Younghee LEE, Eunyong KIM, et. al. *Synthesis and applications of unsaturated polyester resins based on PET waste*. Interaktyvus. 2007, psl. 1076–1083. Prieiga per: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11814-007-0124-5#citeas> [žiūrėta 2024-05-17]
63. SIN, Lee Tin, Bee Soo TUEEN. *Eco-profile of plastics*. Interaktyvus. 2023, psl. 45-89. ISBN 9780128244890. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128244890000106#f0020> [žiūrėta 2024-03-24]
64. GAUTAM, Meenu, Bhanu PANDEY, Madhoolika AGRAWAL. *Carbon Footprint of Aluminum Production: Emissions and Mitigation*. Interaktyvus. 2017, psl. 197-228. ISBN 9780128128497. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128128497000088> [žiūrėta 2024-05-20]
65. SAEKI, Y., T. EMURA. *Technical progresses for PVC production*. Interaktyvus. 2002, psl. 2055-2131. ISSN 0079-6700. Prieiga per: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079670002000394?casa_token=P3J_5yXH0eEAAAAA:dVR1fB3UzSUDeTQ81fsXogBewkEtlwHsRC9xMHZ_qnp0Xlia0RBSW1rd86ngZ18wOX2kUu_Iw [žiūrėta 2024-05-20]
66. MARIANA, Melissa, Joana FEITEIRO, Ignacio VERDE, Elisa CAIRRAO. *The effects of phthalates in the cardiovascular and reproductive systems: A review*. Interaktyvus. 2016, psl.

- 758-776. ISSN 0160-4120. Prieiga per:
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412016302628?casa_token=jreocX3KicAAAAA:Eu4gks7K0BoLxeYMRnU-O1LH8WiZSf0e-HXbEkmKkoliTyIouyiFBp7EZtqVIB2_RefViJBFPQ [žiūrėta 2024-05-20]
67. PRIHODA. *Fabric ducting & diffusers made from 100% recycled material*. Interaktyvus. 2024. Prieiga per: <https://www.prihoda.com/en/prihoda-recycled/> [žiūrėta 2024-05-20]
68. AWAJA Firas, Dumitru PAVEL. *Recycling of PET*. Interaktyvus. 2005, psl. 1453-1477. ISSN 0014-3057. Prieiga per: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0014305705000728?casa_token=A7JIn4IZResAAAAA:N95Hm5W5UwcuMjaihEhquKpxE3lwNi9pa9O5m1d97sx3IL_NHGIgbv38ehNiFawLz226F0eMlg [žiūrėta 2024-05-21]
69. HUIMIN, Liu, Qiqiang LI, Guanguan Li, Ran DING. *Life Cycle Assessment of Environmental Impact of Steelmaking Process*. Interaktyvus. 2020. Prieiga per: <https://www.hindawi.com/journals/complexity/2020/8863941/> [žiūrėta 2024-05-21]
70. ARGUILLARENA, Andrea, María MARGALLO, Ane URTIAGA, Angel IRABIEN. *Life-cycle assessment as a tool to evaluate the environmental impact of hot-dip galvanisation*. Interaktyvus. 2021, psl. 290. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965262035722X> [žiūrėta 2024-05-21]
71. MARDER, A.R. *The metallurgy of zinc-coated steel*. Interaktyvus. 2000, psl. 191-271. ISSN 0079-6425. Prieiga per: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079642598000061?casa_token=8Ndt7iyDFZYAAAAA:E9X0P2T3JXVAfhyi3sg9tm3s0YJLPx4N-J9QQXQjaphAqtHuJUPELLCv_uQav7cpCQRbZqygpw [žiūrėta 2024-05-21]
72. Environmental Protection Agency. EPA. *AP-42, CH 11.13: Glass Fiber Manufacturing*. Interaktyvus. Prieiga per: <https://www3.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch11/final/c11s13.pdf> [žiūrėta 2024-05-21]
73. LI, Hong. *Fiberglass science and Technology*. Springer International Publishing. Interaktyvus. 2021, psl. 551. ISBN 978-3-030-72200-5. Prieiga per: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-030-72200-5.pdf> [žiūrėta 2024-05-17]
74. ANDRES, Robert, Thomas BODEN, Francois-Marie BRÉON, Philippe CIAIS, Scott DAVIS, et. al. *A synthesis of carbon dioxide emissions from fossil-fuel combustion*. Interaktyvus. 2012, psl. 1845–1871. Prieiga per: <https://bg.copernicus.org/articles/9/1845/2012/bg-9-1845-2012.html> [žiūrėta 2024-05-21]
75. HOROWITZ, Larry W., Daniel J. JACOB. *Global impact of fossil fuel combustion on atmospheric NOx*. Interaktyvus. 1999. Prieiga per: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/1999JD900205> [žiūrėta 2024-05-21]
76. ARSLAN Ömer, B. ÖZDALYAN. *Influence of Fuel Types and Combustion Environment on Emission of VOCs from Combustion Sources: A Review*. Interaktyvus. 2020, psl. 747-756. Prieiga per: https://dergipark.org.tr/en/pub/msufbd/issue/54947/744430#article_cite [žiūrėta 2024-05-21]
77. Europos Sąjungos Taryba. *Paryžiaus susitarimas dėl klimato kaitos*. Interaktyvus. 2024. Prieiga per: <https://www.consilium.europa.eu/lt/policies/climate-change/paris-agreement/> [žiūrėta 2024-05-21].

Priedai

1 priedas. Ventiliuojamos patalpos išplanavimas



15 pav. Ventiliuojamos patalpos ortakio išplanavimas

2 priedas. Poveikio vertinimo charakterizuotų rezultatų lentelė

14 lentelė. Charakterizuoti poveikio rezultatai palyginamajai ortakių analizei

Poveikio kategorija	Vienetai	Medžiaginis ortakis	Perdirbtas medžiaginis ortakis	Metalinis ortakis
Kancerogenai	kg C ₂ H ₃ Cl ekv	1.256219	-12.9754292	-3.475574213
Nekancerogenai	kg C ₂ H ₃ Cl ekv	8.841424	8.422179	1.747383012
Kvėpavimo neorganiniai junginiai	kg PM _{2.5} ekv	-0.02068	-0.05202406885	0.1316813704
Jonizuojanti spinduliuotė	Bq C ⁻¹⁴ ekv	271.4335	188.4221176	1977.850232
Ozono sluoksnio mažėjimas	kg CFC ⁻¹¹ ekv	1.24E-06	0.00000004797913821	0.000006796539889
Kvėpavimo takų organiniai junginiai	kg C ₂ H ₄ ekv	0.005495	-0.01529854831	-0.02536976331
Vandens ekotoksiškumas	kg TEG vanduo	14190.58	11672.48283	-11955.32672
Žemės ekotoksiškumas	kg TEG dirvožemis	3461.492	2738.106344	-1353.150697
Žemės rūgštingumas	kg SO ₂ ekv	0.316025	-0.1398344486	8.054725324
Žemės užimtumas	m ² org.arable	2.110394	1.917450373	-10.70197831
Vandens rūgštėjimas	kg SO ₂ ekv	0.005033	-0.1289184506	2.311559033
Vandens eutrofikacija	kg PO ₄ P-lim	0.002859	-0.002591027706	0.01459009972
Globalinis atšilimas	kg CO ₂ ekv	2.62869	-28.65319637	316.1730615
Neatsinaujinanti energija	MJ pirminis (ang. primary)	194.0267	-658.2014824	5631.617854
Mineralų gavyba	MJ perteklius (ang. surplus)	-2.4791	-3.613955001	1.486015243

3 priedas. Poveikio vertinimo normalizuotų rezultatų lentelė

Jautrumo analizės normalizuoti rezultatai pateikiami 14, 15, 16 lentelėse.

15 lentelė. Normalizuoti jautrumo analizės rezultatai, pakeitus suvartojamo PET kiekį $\pm 5\%$

Poveikio kategorija	Medžiaginis ortakis	Medžiaginis ortakis -5%	Medžiaginis ortakis +5%
Žmogaus sveikata	0.001955435088	0.001903995619	0.002006874556
Ekosistemos kokybė	0.002242688712	0.002229091331	0.002256286092
Klimato kaita	0.0002654977298	0.0002330585973	0.0002979368623
Ištekliai	0.001260383025	0.001232758818	0.001288007232

16 lentelė. Normalizuoti jautrumo analizės rezultatai, pakeitus suvartojamo aliuminio kiekį $\pm 5\%$

Poveikio kategorija	Perdirbtas medžiaginis ortakis	Perdirbtas medžiaginis ortakis -5%	Perdirbtas medžiaginis ortakis +5%
Žmogaus sveikata	-0.006809154794	-0.006539048334	-0.007075995313
Ekosistemos kokybė	0.001805072378	0.001753808908	0.001856434466
Klimato kaita	-0.002560109842	-0.002451803618	-0.002666854329
Ištekliai	-0.004093432181	-0.004053126175	-0.004132743144

17 lentelė. Normalizuoti jautrumo analizės rezultatai, pakeitus suvartojamo metalo kiekį $\pm 5\%$

Poveikio kategorija	Metalinis ortakis	Metalinis ortakis -5%	Metalinis ortakis +5%
Žmogaus sveikata	0.01888286848	0.01915360695	0.01861229869
Ekosistemos kokybė	-0.000008187166741	0.0001060551708	-0.0001225036214
Klimato kaita	0.02784384878	0.02728392214	0.02840512619
Ištekliai	0.03411306684	0.03341637243	0.03481106158