



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
CHEMINĖS TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS

Povilas Andrijauskas

PATALPŲ ORO VALYMO TECHNOLOGIJŲ PALYGINAMASIS
APLINKOSAUGINIS VERTINIMAS

Baigiamasis magistro projektas

Vadovė

doc. dr. Inga Stasiulaitienė

KAUNAS, 2018

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
CHEMINĖS TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS

PATALPŲ ORO VALYMO TECHNOLOGIJŲ PALYGINAMASIS
APLINKOSAUGINIS VERTINIMAS

Baigiamasis magistro projektas
Aplinkosaugos inžinerija (621H17001)

Vadovė

doc. dr. Inga Stasiulaitienė
2018-06-07

Recenzentas

prof. dr. Dainius Martuzevičius
2018-06-07

Projektą atliko

Povilas Andrijauskas
2018-06-07

KAUNAS, 2018



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
CHEMINĖS TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS**

Povilas Andrijauskas

Aplinkosaugos inžinerija (621H17001)

„Patalpų oro valymo technologijų palyginamasis aplinkosauginis vertinimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

2018 m. birželio 7 d.

Kaunas

Patvirtinu, kad mano, Povilo Andrijausko, baigiamasis projektas tema „Patalpų oro valymo technologijų palyginamasis aplinkosauginis vertinimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

TURINYS

IVADAS	12
1. PATALPŲ ORO TARŠOS TEORINIAI ASPEKTAI	13
1.1. Patalpų oro taršos šaltiniai	13
1.2. Pagrindinių oro patalpose esančių teršalų charakteristikos.....	16
1.2.1. Lakieji organiniai junginiai. Teisinis reglamentavimas ir poveikis sveikatai	16
1.2.2. Nacionaliniai teisės aktai, reglamentuojantys lakiuosius organinius junginius.....	17
1.2.3. Ribinės vertės.....	17
1.3. Kietosios dalelės.....	18
1.4. Patalpų oro valymo technologijos teoriniai aspektai	20
2. PATALPŲ ORO VALYMO TECHNOLOGIJOS	21
2.1.1. Mechaninis filtravimas	21
2.1.2. Adsorbicija.....	22
2.1.3. Elektrostatiniai filtrai	23
2.1.4. Ozonavimas	23
2.1.5. Fotokatalizė.....	23
2.1.6. UV šviesa.....	24
2.1.7. Neterminė plazma	24
2.2. Patalpų oro valymo technologijų aplinkosaugos vertinimas.....	26
2.3. Būvio ciklo vertinimo metodai.....	27
2.3.1. Teorinės dalies apibendrinimas	29
3. METODINĖ DALIS	30
3.1. Būvio ciklo vertinimas	30
3.1.1. Tikslų ir taikymo srities apibrėžimas.....	30
3.1.2. Sistemos ribos.....	30
3.1.3. Inventorinė analizė.....	32
3.1.4. Aktyvintos anglies kiekio skaičiavimas.....	33
3.1.5. F7 stiklo pluošto filtro masės kiekio skaičiavimas	34
3.1.6. Poveikio vertinimo metodas	35
3.1.7. Poveikio vertinimo duomenų interpretavimas.....	35
3.2. Jautrumo analizė.....	36
3.3. Inventorinės analizės rezultatai	37
3.4. Poveikio vertinimas.....	39
3.4.1. Poveikio vertinimo metodų palyginimas naudojant scenarijų nr. 1.....	39

3.4.2. Scenarijaus nr. 1 poveikio kategorijoms palyginamasis vertinimas naudojant žalos apibūdinimo metodą	40
3.4.3. Scenarijaus nr. 2 poveikio kategorijoms palyginamasis vertinimas naudojant žalos apibūdinimo metodą	41
3.4.4. Scenarijaus nr. 3 poveikio kategorijoms palyginamasis vertinimas naudojant žalos apibūdinimo metodą	42
3.4.5. Scenarijų nr. 1, 2, 3 poveikio kategorijoms palyginamasis poveikio vertinimas naudojant normalizacijos metodą	44
3.5. Jautrumo analizė.....	45
3.5.1. Scenarijų nr. 1, 2, 3 poveikio kategorijoms palyginamasis vertinimas naudojant normalizacijos metodą pritaikius jautrumo analizę	46
IŠVADOS	50
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	51
PRIEDAI	56

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Pirminių teršalų šaltinių patalpose iliustracija [8]	14
2 pav. Kietųjų dalelių $KD_{2.5}$ ir KD_{10} dydžio pavaizdavimas lyginant su plauku [21].....	19
3 pav. Dielektrinės užtvaros ir koronos iškrova [36].....	25
4 pav. Oro valymo technologija panaudojant neterminę plazmą: principinis veikimas [39].....	26
5 pav. Pagrindinė „IMPACT 2002+“ metodo santykio tarp būvio ciklo inventorinių duomenų per vidurinio taško poveikio kategorijas iki pasekmių poveikio kategorijų, grupavimo procedūros iliustracija [44].....	28
6 pav. Nagrinėjamą kompleksinį įrenginį sudarančios technologijos	29
7 pav. Sistemos ribos nagrinėjamos technologijoms.....	31
8 pav. Kompleksinis įrenginys (scenarijus nr. 3)	38
9 pav. Aktyvintos anglies ir F7 filtro (scenarijus nr. 1) poveikio žmogaus sveikatos, ekosistemai, ištekliams ir klimato kaitos kategorijoms pagal normalizuoti būvio ciklo vertinimas pagal IMPACT 2002+ ir ReCiPe 2016 metodus.....	39
10 pav. Aktyvintos anglies ir F7 filtro poveikio žmogaus sveikatai, ekosistemai, klimato kaitai, ištekliams daromas poveikis naudojant žalos apibūdinimo vertinimą	40
11 pav. Neterminės plazmos poveikio ištekliams, žmogaus sveikatai ir ekosistemai daromas poveikis pagal žalos apibūdinimo vertinimą.....	41
12 pav. Kompleksinį įrenginį sudarančių technologijų poveikis ištekliams ir žmogaus sveikatai daromas poveikis pagal žalos apibūdinimo vertinimą.....	42
13 pav. Aktyvintos anglies ir F7 filtro, neterminės plazmos ir kompleksinį įrenginį sudarančių technologijų poveikis ištekliams ir žmogaus sveikatai normalizuotas vertinimas.....	44
14 pav. Normalizuoti rezultatai. a) Aktyvintos anglies ir F7 filtro (scenarijus nr. 1), b) neterminės plazmos (scenarijus nr. 2) daroma įtaka žmogaus sveikatai, ištekliams, klimato kaitai ir ekosistemai viso jo veikimo metu taikant jautrumo analizę.....	46
15 pav. Normalizuoti rezultatai. c) Kompleksinio įrenginio (scenarijus nr. 3) daroma įtaka žmogaus sveikatai, ištekliams, klimato kaitai ir ekosistemai viso jo veikimo metu taikant jautrumo analizę. 47	
16 pav. Kompleksinio įrenginio, aktyvintos anglies ir F7 filtro, neterminės plazmos daroma žala pagal normalizuotus rezultatus naudojant „IMPACT 2002+“ metodą žmogaus sveikatai, klimato kaitai, ištekliams ir ekosistemai.....	48

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Didžiausia leidžiama kai kurių lakiųjų organinių junginių (teršalų) koncentracija gyvenamosios aplinkos ore [20].....	18
2 lentelė. IMPACT 2002+ metodo baigties taško indikatorių normalizacijos koeficientai (SimaPro 8.5.2.0 duomenų bazė).....	35
3 lentelė. ReCiPe 2016 metodo baigties taško indikatorių normalizacijos koeficientai (SimaPro 8.5.2.0 duomenų bazė).....	35
4 lentelė. Inventorinės analizės pradiniai duomenys	37
5 lentelė. Pasirinktų patalpų oro valymo technologijų inventoriniai duomenys	37
6 lentelė. Reikalingi elektros energijos kiekiai pritaikius jautrumo analizę.....	45

PRIEDŲ SĄRAŠAS

1 priedas. Kompleksiniame įrenginyje (scenarijus nr. 3) naudojami įvesties duomenys.....	56
2 priedas. Charakterizavimo grafikai.....	57

SANTRUMPOS

BCA – Būvio ciklo analizė

KD – Kietosios dalelės

KTU – Kauno technologijos universitetas

LOJ – Lakieji organiniai junginiai

UV – Ultravioletiniai spinduliai

Andrijauskas, Povilas. Patalpų oro valymo technologijų palyginamasis aplinkosauginis 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 (E).

Reikšminiai žodžiai: aplinkosauginis vertinimas, neterminė plazma, aktyvintos anglies filtras

Kaunas, 2018. 58 p.

SANTRAUKA

Daugelį sveikatos problemų sukelia žalingos cheminės medžiagos, kurios išsiskiria iš pastatų, vidaus įrangos detalių, konstrukcinių medžiagų. Teršalai taip pat patenka iš lauke esančių taršos šaltinių. Dėl šių priežasčių patalpų vidaus oro kokybei reikia skirti tiek pat daug dėmesio, kaip ir išorės aplinkos oro kokybei.

Orą valyti yra taikomos tam tikros technologijos, tačiau jos daro didesnę ar mažesnę poveikį aplinkai. Magistro baigiamajame darbe nagrinėjami įrenginiai (aktyvintos anglies ir F7 filtras, neterminė plazma, kompleksinis įrenginys), kurie yra skirti patalpų orui valyti. Šių technologijų poveikis aplinkai yra nustatomas remiantis būvio ciklo vertinimo metodika. Atliekamas jų palyginamasis būvio ciklo vertinimas.

Normalizuoti rezultatai parodė, kad lyginant tris scenarijus, jog žmogaus sveikatai daromas poveikis aktyvintos anglies ir F7 filtro yra 2 kartus didesnis negu kompleksinio įrenginio, o neterminės plazmos įrenginio daromas poveikis tai pačiai kategorijai yra 5 kartus didesnis už kompleksinio įrenginio. Tuo tarpu aktyvintos anglies ir F7 filtro klimato kaitos kategorijai daromas poveikis yra 2,3 kartus didesnis negu kompleksinio įrenginio, o neterminės plazmos įrenginio daromas poveikis tai pačiai kategorijai yra 5 kartus didesnis už kompleksinio įrenginio.

Atlikus aplinkosauginį vertinimą trims pasirinktiems scenarijams – aktyvintos anglies ir F7 filtrui (scenarijus nr. 1), neterminėi plazmai (scenarijus nr. 2), kompleksiniam įrenginiui (scenarijus nr. 3), galima teigti, kad kompleksinis įrenginys daro mažesnę poveikį aplinkai už aktyvintą anglies ir F7 filtrą bei neterminę plazmą.

Andrijauskas, Povilas. Comparative Environmental Assessment of Indoor Air Treatment Technologies. Master's Final Degree Project / supervisor assoc. prof. dr. Inga Stasiulaitienė; Faculty of Chemical Technology, Kaunas University of Technology.

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

Keywords: Comparative environmental assessment, non-thermal plasma, activated carbon filter
Kaunas, 2018. 58 pages.

SUMMARY

Chemicals which are released into indoor air from structural materials, indoor heating, interior fittings and buildings cause many health problems. Due to this reason indoor air quality needs as much thought as outdoor air quality has nowadays.

However, it is also important to use such measures that do not affect human health, ecosystem, climate change or resources during its lifetime.

In this master thesis an equipment intended to clean indoor air is examined. Comparative environmental assessment was performed as well.

For these reasons comparative life cycle assessment was carried out on three air treatment technologies – activated carbon with F7 filter, non – thermal plasma and a prototype unit designed for air treatment constructed in Kaunas university of technology.

The normalized results showed that when comparing three different air treatment technologies, activated carbon and F7 filter has 2 times higher impact on human health than the prototype unit. The effect of non-thermal plasma is 5 times higher than the prototype unit has on the same impact category. Whereas the effect of activated carbon and F7 filter on the climate change is 2,3 times higher than the prototype unit, where the effect of non-thermal plasma on the same category is 5 times higher than on the prototype unit.

Comparative environmental assessment was carried out on three different air treatment filters – activated carbon and F7 filter, non – thermal plasma and prototype unit. It was determined that a prototype unit has a lower environmental impact than activated carbon and F7 filter and non – thermal plasma.

ĮVADAS

Aplinkos oro tarša pastaruojų metu yra viena iš didžiausių urbanizacijos problemų, tiesiogiai susijusių su gyventojų sveikata ir fizine būkle. Ir nors į tinkamą darbo bei išorės aplinkos oro kokybę dėmesys buvo atkreiptas jau seniai, oro užterštumas patalpose yra pakankamai naujas ir svarbus tyrimų objektas. Oro kokybė patalpų viduje yra labai svarbus sveiko gyvenimo veiksnys, nes uždaroje patalpose dauguma žmonių praleidžia didesnę savo gyvenimo dalį.

Tyrimais nustatyta, kad išsivysčiusiose šalyse žmonės įvairiose patalpose praleidžia daugiau nei 80 – 90 % savo laiko, o tai reiškia, kad tiek pat laiko yra kvėpuojama perdirbtu oru [1]. Žmogus, priklausomai nuo amžiaus ir savo veiklos ypatumų, per minutę įkvepia vidutiniškai 7 – 12 litrų oro, o fizinio aktyvumo metu net iki 50 litrų [2]. Tai yra daugiau, nei žmogaus kasdien suvartojamas maistas ir skysčiai. Labai svarbu užtikrinti tinkamą patalpų oro kokybę. Mokslinių tyrimų rezultatai parodė, kad 25 procentų medžiagų, rastų patalpų ore, yra kenksmingos sveikatai, todėl galima teigti, jog patalpų oro kokybė žmogaus sveikatai ir gerovei yra svarbesnė nei lauko [3].

Orui valyti yra taikomos tam tikros technologijos, tačiau jos daro poveikį aplinkai, todėl mano magistro baigiamajame projekte yra atliekama būvio ciklo analizė įvairioms oro valymo technologijoms. Magistro baigiamajame darbe yra nagrinėjami įrenginiai, kurie yra skirti vidaus patalpų oro valymui (neterminė plazma, aktyvinta anglis, kompleksinis įrenginys). Atliekama palyginamasis būvio ciklo analizė.

Dėl šių priežasčių patalpų vidaus oro kokybei reikia skirti tiek pat daug dėmesio, kaip ir išorės aplinkos oro kokybei.

Tyrimo tikslas – palyginti lakiųjų organinių junginių, esančių patalpų ore, valymo technologijas ir atlikti būvio ciklo vertinimą.

Tyrimo uždaviniai:

1. apžvelgti patalpų oro valymo technologijas;
2. atlikti teorinėje apžvalgoje aptartų technologijų ir pasirinktų scenarijų būvio ciklo vertinimą;
3. interpretuoti gautus rezultatus ir pateikti rekomendacijas patalpų oro būklei gerinti.

1. PATALPŲ ORO TARŠOS TEORINIAI ASPEKTAI

Vienas svarbiausių aplinkosaugos uždavinių yra gerinti oro kokybę. Tačiau nuolat augant žmonių populiacijai, vystantis pramonei, daugėjant automobilių (ypač senų), sunku išvengti oro taršos. Ją gali sukelti tiesiogiai išmetami teršalai į atmosferą, kur, reaguodami tarpusavyje, įvairūs teršalai sukelia tokius atmosferinius reiškinius kaip rūgštus lietus ar smogas. Šie reiškiniai sukelia pavojų žmonių sveikatai ir gerovei, nes teršalai ne tik nusėda ant žemės, vandens ar dirvožemio, iš kurio jie yra išplaunami ir patenka į augalus ar gyvūnus, bet ir tiesiogiai pažeidžia žmogaus sveikatą per kvėpavimo organus, virškinamąjį traktą, odą.

2015 m. Baltijos aplinkos forumo atlikti patalpų oro kokybės tyrimai parodė, kad žmonės kvėpuoja kancerogeninių ir alergizuojančių medžiagų prisotintu oru [4].

Nors patalpų oro tyrimas buvo atliktas Latvijoje, specialistų įsitikinimu, situacija labai panaši ir Lietuvoje. Be to, laikas, praleistas patalpose, kuriose yra didesnė oro teršalų koncentracija, sutrikdo žmogaus sveikatą. Kai kurie patalpų užterštame ore esantys kancerogenai, tokie kaip, pavyzdžiui, toluenas, gali sukelti vėžinius susirgimus.

Dėl šių aukščiau išvardintų priežasčių, yra svarbu nagrinėti patalpų oro taršą sukeliančius šaltinius bei identifikuoti būdus, leisiančius efektyviai kovoti su oro tarša patalpose. Šiame skyriuje aptariami patalpų oro taršos šaltiniai.

1.1. Patalpų oro taršos šaltiniai

Verta atkreipti dėmesį, jog dar 1970 metais Pasaulinė sveikatos apsaugos organizacija suformulavo sąvoką „nesveiko pastato sindromas“ (angl. Sick Building Syndrome). Šis sindromas apibūdinamas kaip reiškinys, kuomet tam tikrų pastatų naudotojai nurodo neaiškius simptomus bei išreiškia nusiskundimus, susijusius su sveikatos pablogėjimu [5]. Dėl blogo oro patalpose atsiranda šios „nesveiko pastato sindromo“ simptomų grupės:

- sausos, sudirgintos, ašarojančios akys;
- odos sausumas, bėrimas, niežulys, dirginimas;
- sudirgusi, sloguojanti arba užsikimšusi nosis;
- burnos arba gerklės skausmas;
- galvos skausmas, mieguistumas, irzlumas ir prasta dėmesio koncentracija [6].

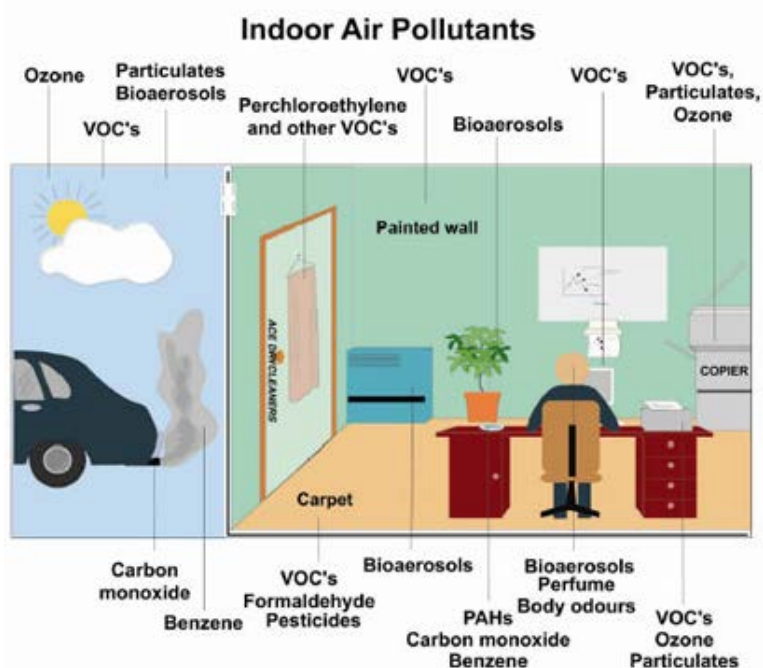
Svarbu identifikuoti ir mokėti atpažinti patalpų oro taršos šaltinius. Pagal tai galima nustatyti efektyviausią taršos mažinimo priemonę ir taip išsaugoti sveikatą.

Faria et al. (2016) oro taršos šaltinius išskiria į šias grupes:

- lakiųjų organinių junginių (cheminė) tarša. Tai yra visi cheminiai junginiai, randami vidaus patalpų ore;
- kietųjų dalelių tarša. Tai ypač smulkios kietosios dalelės (toliau – KD), kurios gali patekti į plaučius. Paprastai jos yra skirstomos į 10 µm ir 2,5 µm dydį;
- ozonas;
- bioaerozoliai [7].

Ir nors Faria et al. (2016) šią klasifikaciją sudarė remiantis oro tarša, o ne patalpų oro tarša, galima teigti, jog minėtos šaltinių grupės būdingos ir patalpoms.

Žemiau esantis paveikslėlis iliustruoja situaciją, jog visi lauke esantys oro taršos šaltiniai yra būdingi ir patalpoms. Galima daryti išvadą, jog oro taršos lygis patalpose yra žymiai didesnis nei lauke. Įvairios cheminės medžiagos į vidaus patalpas patenka iš lauko arba išsiskiria iš baldų, įvairių vidaus apdailos medžiagų.



1 pav. Pirminių teršalų šaltinių patalpose iliustracija [8]

2008 m. Fernandes et al. [9] suklasifikavo būtent gyvenamųjų patalpų taršos šaltinius. Buvo išskirtos šios penkios grupės:

1. Aplinkos oro tarša. Įvairūs eismo, miesto, pramoniniai teršalai patenka į pastatų vidų per nesandarias pastato konstrukcijas arba ventiliacijos sistemas;

2. Baldai bei statybinės medžiagos. Čia kalbama apie grindų, sienų dangas, dažus, lakus, izoliacines medžiagas;
3. Pastatų gyventojai ir jų veikla. Turima omenyje rūkymas, gyvūnų laikymas, maisto gaminimas, valymo priemonių naudojimas;
4. Įvairūs patalpose vykstantys procesai. Tai gali būti oro kondicionavimas, degimas, vėdinimas ar šildymas;
5. Vanduo ir dirvožemis. Tiekiant vandenį ar netinkamoje vietoje pastačius būstą, jame gali padidėti radono dujų koncentracija.

Bone et al. (2010) [10] straipsnyje „Will drivers for home energy efficiency harm occupant health?“ nagrinėjo veiksnius, lemiančius patalpų oro kokybę. Buvo siūloma šiuos veiksnius suskirstyti į dvi grupes:

- veikla;
- produktai (medžiagos).

Straipsnyje prie veiklos priskiriami tokie veiksmai, kaip tabako rūkymas, langų ir durų dažymas, baldų poliravimas, maisto gaminimas, automobilio vidaus degimo variklio išmetamos dujos, benzino garai bei ventiliacija.

Patalpų oro taršos produktams minėtame straipsnyje priskiriamos 24 medžiagos, tokios kaip kilimai ir kiliminės dangos, vinilinės, išdažytos grindys, skalbimo, valymo priemonės, viniliniai tapetai, kilijai, oro gaivikliai, medžio drožlių baldai, parfumerija, sienų izoliacinės medžiagos ir kt.

Kalbant apie patalpas, pirmiausiai reikia paminėti lakiųjų organinių junginių išskyrimą. Lokieji organiniai junginiai gali išsiskirti iš buityje naudojamų valiklių, tapetų, grindų dangų, apdailos plokščių.

Patalpų oro kokybei didelę įtaką daro taršos šaltiniai, esantys lauke. Transporto, gamybos pramonės kuriamų emisijų sudėtyje aptinkami dideli kietųjų dalelių kiekiai.

Kitas gana ženklaus patalpų oro taršos šaltinis yra kietojo kuro ar dujomis kūrenami šildymo katilai, esantys individualiuose namuose. Norint išsiaiškinti šildymo sistemų poveikį patalpų oro kokybei, buvo atliktas tyrimas Kinijoje [11]. Prie šių šildymo sistemų išskiriamų teršalų priskiriami lakieji organiniai junginiai, kietosios dalelės, policikliniai aromatiniai angliavandeniliai, anglies dioksidas, smalkės.

Gyvenamųjų patalpų oro kokybei taip pat neigiamą įtaką turi ir tabako dūmai. Dažnai įvairiose patalpose pasitaiko ir biologinių teršalų: bakterijų, virusų bei pelėsių. Todėl nenuostabu, kad daug laiko patalpose praleidžiantys asmenys patiria sergančio pastato sindromus – tai yra stiprūs, sveikatą trikdančios simptomai, tokie kaip galvos skausmas, svaigulys, pykinimas, akių, nosies ar gerklės

sudirginimas, sausas kosulys, nuovargis, jautrumas kvapams. Tokie simptomai pakartotinai pasireiškia esant patalpoje ir dažniausiai pasibaigia ar sumažėja pakeitus aplinką bei išėjus į lauką.

Apibendrinant, lauke sutinkami oro taršos šaltiniai aptinkami ir patalpose. Pastarosiose oro taršą sukeliančių šaltinių yra netgi daugiau: tai ir aplinkos tarša, baldų bei statybinės medžiagos, paties žmogaus veikla, tokia kaip rūkymas ar gyvūnų laikymas, įvairūs patalpose vykstantys procesai, kaip, pavyzdžiui, kūrenimas ar vėdinimas. Teršalų rūšių, priklausomai nuo šaltinių, yra daug ir įvairių. Vis tik pagrindiniai teršalai, sukiantys sveikatos problemas, yra lakieji organiniai junginiai ir kietosios dalelės. Būtent šių teršalų valymas ir bus analizuojamas šiame darbe.

1.2. Pagrindinių oro patalpose esančių teršalų charakteristikos

1.2.1. Lakieji organiniai junginiai. Teisinis reglamentavimas ir poveikis sveikatai

Organiniai junginiai – tai cheminiai junginiai, kuriuos sudaro keli šimtai grupių organinių jungčių, tačiau dauguma jų yra sutinkami labai mažomis koncentracijomis. Remiantis Europos Sąjungos direktyva 2004/42/EB ir Pasaulio Sveikatos Organizacija, organiniai junginiai yra skirstomi į:

- lakius organinius junginius – tai bet kurie organiniai junginiai, kurių pradinė virimo temperatūra, išmatuota esant standartiniam 101,3 kPa slėgiui, yra mažesnė ar lygi 250 ° C;
- pusiau lakius organinius junginius – tai bet kurie organiniai junginiai, kurių pradinė virimo temperatūra, išmatuota esant standartiniam 101,3 kPa slėgiui, yra mažesnė ar lygi 400 ° C [12].

Kuo žemesnė pradinė virimo temperatūra, tuo junginys yra lakesnis ir labiau linkęs išsiskirti į aplinkos orą. Mažiau lakūs organiniai junginiai dažniau aptinkami produktuose ir yra lėtinio veikimo tai yra, išskiria lakius organinius junginius per ilgesnį laiko tarpą.

Yra mažiausiai šešiasdešimt patalpų taršos šaltinių, iš kurių išsiskiria lakieji organiniai junginiai (toliau – LOJ). Vieni svarbiausi iš jų yra šie:

- medžiagos – sienų apdaila, baldai, audiniai. Remiantis tyrimais, apie 40 % vidaus oro taršos lakiųjų organinių junginių sukelia statybinės medžiagos [13];
- kuras, kuris yra naudojamas šildymui, apšvietimui, maistui gaminti;
- cheminių medžiagų naudojimas namuose [14];

- produktai, kuriuose yra dirbtinių kvapų. Pavyzdžiui, oro gaivikliai. Kūno kremai, kurių sudėtyje yra dirbtinių kvapų, žmogui labiausiai daro neigiamą įtaką lyginant su kitomis asmeninėmis higienos priemonėmis [15,16];
- teršalai, iš lauko patenkantys į vidaus patalpas, tokie kaip vidaus degimo variklių išmetamosios dujos.

Dėl lakiųjų organinių junginių kylančios sveikatos problemos priklauso nuo to, kaip dažnai yra naudojami produktai, iš kurių išskiria LOJ.

2016 metais KTU mokslininkų (Kaunelienė et al. 2016) atliktas tyrimas parodė, jog Lietuvos pasyviuose namuose dujinio formaldehido ribinė koncentracija viršija kelis kartus. Didžiausia leidžiama koncentracija, mg/m^3 , pagal Lietuvos higienos normą HN 35:2002, yra $0,1 \text{ mg}/\text{m}^3$, o pasyviuosiuose namuose šios vertės vidurkis ištyrus 11 objektų buvo $30,7 \text{ mg}/\text{m}^3$ [17].

Viršijus lakiųjų organinių junginių ribines vertes gali atsirasti įvairių sveikatos sutrikimų, kaip, pavyzdžiui:

- akių, nosies ir gerklės dirginimas;
- galvos skausmas, koordinacijos sumažėjimas, pykinimas;
- žala kepenims, inkstams ir centrinei nervų sistemai;
- rizika susirgti įvairių formų vėžiu.

1.2.2. Nacionaliniai teisės aktai, reglamentuojantys lakiuosius organinius junginius

Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2002 m. gruodžio 5 d. įsakymas Nr. 620 „Dėl lakiųjų organinių junginių, susidarančių naudojant tirpiklius tam tikrų veiklos rūšių įrenginiuose, emisijos ribojimo tvarkos patvirtinimo“ [18];

Lietuvos Respublikos aplinkos ministro ir Lietuvos Respublikos ūkio ministro 2005 m. liepos 25 d. įsakymas Nr. D1–379/4–273 „Dėl lakiųjų organinių junginių kiekių, susidarančių naudojant organinius tirpiklius tam tikrų dažų, lakų ir transporto priemonių pakartotinės apdailos produktų sudėtyje, ribojimo taisyklių patvirtinimo“ [19].

1.2.3. Ribinės vertės

Remiantis higienos norma HN 35:2007 „Didžiausia leidžiama cheminių medžiagų (teršalų) koncentracija gyvenamosios ir visuomeninės paskirties pastatų patalpų ore“ ribinės LOJ vertės yra šios:

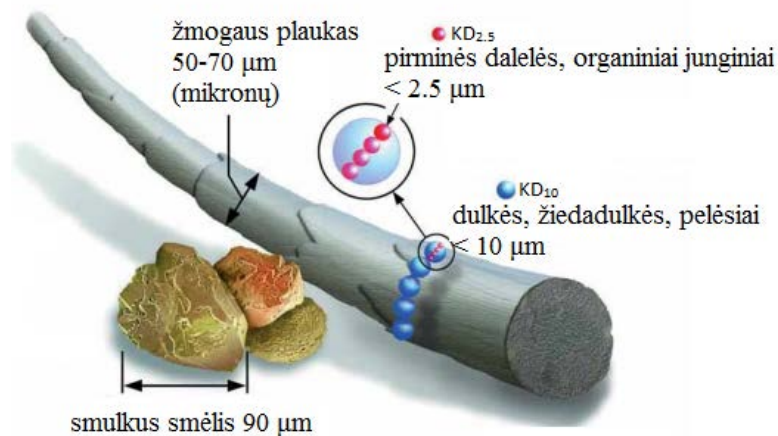
1 lentelė. Didžiausia leidžiama kai kurių lakiųjų organinių junginių (teršalų) koncentracija gyvenamosios aplinkos ore [20]

Cheminės medžiagos pavadinimas	Didžiausia leidžiama koncentracija, mg/m ³	
	Vienkartinė	Paros
Benzenas	1,5	0,1
Etilbenzenas	0,02	0,02
Etilo eteris (dietilo eteris)	1,0	0,6
Etilstirenas	0,05	–
m –, o –, p – etiltoluenai	0,03	–
Fenolis	0,010	0,003
Formaldehidas (skruzdžių aldehydas)	0,1	0,01
Toluenas	0,644	0,6
Stirenas	0,040	0,002
1,1,2,2 – tetrachlorešanas	0,06	–
Tetrachlorešanas (perchlorešanas)	0,50	0,06
1,1,1 – trichlorešanas (metilchloroformas)	2,0	0,2
Trichlorešanas	4	1

1.3. Kietosios dalelės

Kietosios dalelės – tai kietųjų dalelių ir skysčių lašelių mišinys, pakibęs ore, kuris yra įvairių dydžių ir gali būti sudarytas iš įvairių medžiagų. Pagal dydį kietosios dalelės, aptinkamos patalpose, yra skirstomos į:

- KD_{2.5} – smulkiąsias kietąsias daleles, kurių diametras yra 2.5 μm arba mažiau;
- KD₁₀ – kietąsias daleles, kurių diametras yra 10 μm arba mažiau.



2 pav. Kietųjų dalelių $\text{KD}_{2.5}$ ir KD_{10} dydžio pavaizdavimas lyginant su plauku [21]

Kietosios dalelės – dar žinomos kaip aerozoliai, gali būti skirstomos į pirmines arba antrines kietąsias daleles. Pirminės kietosios dalelės patenka į atmosferą tiesiogiai, pvz., iš kaminų. Antrinės kietosios dalelės susiformuoja atmosferoje oksiduojantis ir keičiantis pirminiams dujiniais teršalams [22]. Todėl patalpų ore esančių kietųjų dalelių lygiai priklauso nuo kelių veiksnių:

- lauke esančių kietųjų dalelių lygio;
- kokios filtravimo sistemos yra naudojamos;
- maisto ruošimo;
- deginimo (žvakės, smilkalai, židiniai, rūkymas, įvairūs šildytuvai);
- namuose, kuriuose nėra rūkoma arba nėra kitų šaltinių, kietųjų dalelių koncentracijos lygis; turėtų būti toks pat arba žemesnis už lauke esančių jų koncentraciją [23].

Vienas pagrindinių taršos kietosiomis dalelėmis šaltinių yra pramoniniai procesai, išskiriantys metalo, audinių dulkes. Dar vienas svarbus oro taršos kietosiomis dalelėmis šaltinis – katilinės, naudojančios iškastinį kurą. Tokiu būdu į aplinką yra išmetami pelenai bei suodžiai. Prie kitų šaltinių priskiriama dirvos erozija, transportas bei fotocheminiai procesai. Degimo metu susidariusios dalelės būna mažesnės už $1\ \mu\text{m}$, industrinės ir dirvos dalelės – didesnės už $1\ \mu\text{m}$.

Leidinio „Europos aplinka: būklė ir raidos perspektyvos 2015m“ apibendrinamojoje ataskaitoje nurodoma, jog valstybių sienų nepaisantis kietųjų dalelių ir ozono taršos pobūdis reikalauja nacionalinių, taip pat tarptautinių pastangų mažinant teršalų pirmtakų, pavyzdžiui, azoto oksidų, amoniako ir lakiųjų organinių junginių, emisiją [24].

Svarbu atkreipti dėmesį į tai, jog nors europiečiai praleidžia daugiau kaip 85 proc. viso laiko patalpose, šiuo metu nėra sukurtos specialios politikos sistemos, kurioje derėtų saugumo, sveikatos, energijos vartojimo efektyvumo ir tvarumo aspektai.

Apibendrinant šį skyrių galima teigti, jog pagrindiniai oro taršos patalpose šaltiniai yra aplinkos tarša, baldai bei statybinės medžiagos, paties žmogaus veikla, tokia kaip rūkymas ar gyvūnų laikymas, įvairūs patalpose vykstantys procesai, kaip, pavyzdžiui, kūrenimas ar vėdinimas. Teršalų rūšių, priklausomai nuo šaltinių, yra daug ir įvairių.

Pagrindiniai teršalai, sukeltantys sveikatos problemas, yra lakieji organiniai junginiai ir kietosios dalelės.

1.4. Patalpų oro valymo technologijos teoriniai aspektai

Norint gyventi tikrai saugioje, komfortiškoje aplinkoje, neužtenka mažinti taršos jos susidarymo šaltinyje ar taikyti ventiliaciją, o būtina taikyti efektyvias ir tikrai saugias oro valymo technologijas. Šios oro valymo technologijos gali būti nuo pačių paprasčiausių iki kompleksinių priemonių. Plačiausiai naudojamos technologijos yra aptariamose skyriuose „Patalpų oro valymo technologijos“.

2. PATALPŲ ORO VALYMO TECHNOLOGIJOS

Oro valymo prietaisai yra pritaikyti įvairiems gyvenamųjų patalpų ore esantiems teršalams šalinti bei pritaikyti naudoti namų sąlygomis. Ginestet et al. (2012) išskiria šiuos teršalų šalinimo mechanizmus:

- mechaninis filtravimas;
- adsorbicija;
- elektrostatinis nusodinimas;
- fotokatalizė;
- terminė arba neterminė plazma [25].

Patalpų oro valymo technologija, tinkanti pašalinti įvairaus pobūdžio teršalus, privalo būti efektyvi, sudaryti kuo mažiau atliekų, naudoti nedaug energijos ir būti įperkama. Todėl per pastaruosius dešimtmečius buvo sukurta alternatyvių filtrų, naudojant kompleksines patalpų oro valymo technologijas. Paprastai patalpų oro valymo technologijos šalina vienos rūšies teršalus (pvz.: tik kvapus, tik kietąsias daleles ir kt.). Tačiau Ginestet (2012) pagal šalinimo būdą jas siūlo sugrupuoti į tris dalis:

- pašalinimas (mechaninis filtravimas, elektrostatinis nusodinimas, adsorbicija);
- teršalo cheminis pakeitimas (adsorbicija);
- suskaidymas (fotokatalizė, plazma).

Šiame darbe yra tikslinga atskirai aptarti kiekvieną patalpų oro valymo technologiją. Šiame poskyryje bus apžvelgiamos septynios patalpų oro valymo technologijos. Praktinėje šio darbo dalyje bus aptariami kompleksiniai patalpų oro valymo mechanizmai, kuriuos sudaro elektrostatiniai filtrai, fotokatalizinė oksidacija, neterminė plazma, UV šviesa bei ozonavimas.

2.1.1. Mechaninis filtravimas

Mechaniniai filtrai yra vienas paprasčiausių ir plačiausiai naudojamų būdų, siekiant išvalyti ore pasklidusius teršalus. Nors ši technologija ir nesulaiko dujinių teršalų, tačiau efektyviai šalina kietąsias daleles.

Filtracijos efektyvumo tyrimai apima skirtingas teršalų grupes: nuo mikroorganizmų iki labai mažų dalelių. Atlikti tyrimai parodo, jog mechaninis filtravimas efektyviau pašalina didesnes kietąsias daleles.

Filtuose kietosios dalelės gali būti sulaikomos naudojant kelis metodus:

- prikibimo;
- sulaikymo;
- susidūrimo.

Valomasis dujų srautas – oras patenka per pluoštinę medžiagą, kuri efektyviai sulaiko kietąsias daleles, tačiau ne dujinius teršalus. Pluoštai sudėti sluoksniais, kurie yra sudaryti iš atsitiktinai sudėliotų nanomedžiagų, tokių kaip anglies, polimerinės nanotūbelės.

Filtrai dažniausiai yra nedideli, kompaktiški ir plačiai naudojami, tačiau jų išvalymo efektyvumas mažėja jiems užsiteršus. Šiuose filtruose taip pat gali kauptis mikroorganizmai. Tuomet dalelės, esančios filtruose, gali vėl patekti į aplinkos orą. Šių filtrų veikimas priklauso nuo filtro tipo, jame naudojamų medžiagų, oro srauto greičio, kokie teršalai yra valomi [26].

Įprastai naudojami filtrai turi trūkumą – slėgio nuostolius, jeigu dalelių išvalymo laipsnis yra aukštas. Tai reiškia, jog didelis išvalymo laipsnis yra pasiekiamas dėl sąlyginai didelio elektros suvartojimo. Dar vienas trūkumas yra tai, kad šie filtrai užsikemša ir privalo būti pakeičiami naujais.

Aukštą išvalymo laipsnį pasiekiantys filtrai turi daug pritaikymo sričių, tokių kaip panaudojimas medicinos srityje, automobiliuose ar namuose.

F7 filtrai išvalo valomą orą nuo kietųjų dalelių, kurių dydis yra didesnis arba lygus 0,4 μm , 57 % efektyvumu.

Apibendrinant, mechaniniai filtrai gali efektyviai pašalinti kietąsias daleles, bet nėra efektyvūs šalinant organinius bei neorganinius dujinius junginius. Panaikinti šį trūkumą galima naudojant aktyvintos anglies filtrus. Esminis tokių filtrų minusas yra tai, jog jie gali patys išmesti teršalus, jei nėra teisingai naudojami ir prižiūrimi.

2.1.2. Adsorbicija

Dujiniai teršalai, skirtingai nei kietosios dalelės, yra surenkami ir pakeičiama jų būseną. Oro valymo technologija paremta ne mechaniniu filtravimu, o kitu būdu – adsorbicija. Adsorbicija yra procesas, kurio metu oro teršalai yra adsorbuojami ant adsorbento. Teršalas nėra sunaikinamas, tačiau yra pakeičiama teršalo terpė, todėl tokiu būdu atsiranda pavojingos atliekos.

Adsorbentu gali būti tokios medžiagos kaip aktyvuotoji anglis, ceolitas, kiti polimeriniai junginiai, kurios išvalo orą nuo jame esančių LOJ.

Parmar (1991) teigimu [27], adsorbicija yra vienas efektyviausių būdų, skirtų iš oro pašalinti dujinius teršalus. Dujų šalinimas pagrįstas molekulių prisijungimu prie naudojamos filtro medžiagos (adsorbento) paviršiaus. Minėtieji mokslininkai teigia, jog adsorbicijos efektyvumą lemia sorbcijos mechanizmas, adsorbento paviršiaus plotas, poringumas, sorbcijos – desorbicijos pusiausvyra, teršalo difuzijos koeficientas.

Ši oro valymo technologija turi ir trūkumų. Vienas jų – adsorbentas gali būti greitai prisotintas, o norint išgauti 75 – 95 % desorbcijos efektyvumą, reikalinga 300 ° C temperatūra [28]. Dėl šios priežasties atsiranda potencialus teršalų išmetimo pavojus, nes prisotintas adsorberis nebegali pašalinti iš oro teršalų.

Lyginant su kitomis oro valymo technologijomis, nustatyta, kad adsorbicija yra efektyvi LOJ valymo technologija, išvalanti patalpų orą nuo lakiųjų organinių junginių 90 % efektyvumu [29].

2.1.3. Elektrostatiniai filtrai

Šios technologijos veiklos principas yra paremtas tuo, jog yra sukuriamas elektrinis laukas, kuris yra skirtas sugaudyti įkrautas daleles. Elektrostatiniai nusodintuvai dažnai derinami su jonų generatoriais, įkraunančiais daleles. Nors šių filtrų teršalų išvalymo efektyvumas yra ypač aukštas, tačiau valant orą jie gali sudaryti naujų teršalų, tokių kaip ozonas arba kiti junginiai [30].

Yra du elektrostatinių filtrų tipai:

- elektroniniai nusodintuvai – kai dalelės yra jonizuojamos ir yra pritraukiamos prie priešingo krūvio įkrauto strypo.
- jonizatoriai – kai įkrauti jonai yra pasklaidomi ore ir jie prisijungia prie ore esančių dalelių. Šios įkrautos dalelės patenka į jonizatoriaus filtrus arba sudarydamos stambesnes daleles, veikiamos gravitacijos jėgos, nukrenta ant žemės.

2.1.4. Ozonavimas

Ozonas, sugeneruotas UV spindulių iškrovos, reaguoja su teršalais ir juos oksiduoja. Tuo pačiu metu padidėja ozono koncentracija. Atlikti tyrimai parodė, kad reakcijos tarp ozono ir organinių junginių generuoja tarpinius produktus – antrinius teršalus. Verta paminėti, kad Amerikos plaučių asociacija dėl šalutinio poveikio nerekomenduoja šių technologijų orui valyti [31].

2.1.5. Fotokatalizė

Fotokatalizė – tai procesas, skirtas suardyti ir šalinti dujines molekules ir mikroorganizmus. Fotokatalizei naudojamas ultravioletinės spinduliuotės šaltiniu apšvitintas katalizatorius, ant kurio paviršiaus susiformuoja reaktyvūs radikalai. Šie radikalai reaguoja su mikroorganizmais ir teršalų molekulėmis. Dažniausiai pasitaikantis katalizatorius yra TiO_2 , pasižymintis ilgaamžiškumu ir inertiškumu. Didžiojoje dalyje studijų, kurių metu buvo analizuojama fotokatalizinė oksidacija, katalizatoriumi buvo naudojamas titano dioksidas (TiO_2). Kai kuriuose moksliniuose tyrimuose siekiant pagerinti katalizatoriaus poveikį, buvo naudojamas ozonas [32]. Fotokatalizinė oksidacija įprastai gali nukenksminti beveik visų rūšių teršalus: aldehydus, alkanus, aromatinius angliavandenilius ir kvapus.

Fotokatalizinės oksidacijos metu aukštos energijos ultravioletinė spinduliuotė naudojama kartu su fotokatalizatoriumi TiO_2 , siekiant sukurti reaktyvius hidroksido radikalus, kurie gali oksiduoti daugumą organinių teršalų. Šviesai jautrūs puslaidininkiai, tokie kaip TiO_2 , sugeria UV spindulius ir aplinkoje esant deguoniui bei vandens garams, susidaro OH radikalai. Šie laisvieji radikalai reaguoja su teršalais ir taip jie yra mineralizuojami iki CO_2 ir vandens [33].

2.1.6. UV šviesa

UV – C šviesa gali pašalinti ore esančius įvairius mikroorganizmus (bakterijas, grybus ar mieles) per kelias sekundes, tam nereikalaujant jokių papildomų medžiagų.

Šis procesas yra paprastas, patikimas ir ekonomišką ir gali būti panaudojamas vienas arba su kitomis patalpų oro valymo technologijomis.

UV spinduliai skatina fotocheminę reakciją, kuri veiksmingai pažeidžia DNR molekulę taip, kad ląstelių dauginimosi procesas šiai dalijantis nebesikartoja. Šis procesas vadinamas baktericidinio poveikio spektru, kuris efektyvus prie 265 nm bangos ilgio.

Yra daug mikroorganizmų – bakterijos, virusai, mieles, pirmuonys – jie visi skirtingai reaguoja į UV spindulius. Taip gali būti dėl įvairių priežasčių – ląstelės dydžio, ląstelės sienelės struktūros ir kitų priežasčių.

Todėl norint išvalyti aplinkos orą nuo mikroorganizmų, UV įrangą reikia parinkti taip, kad būtų atsižvelgta į UV spindulių kiekį. Svarbūs tokie faktoriai kaip kambario tūris, oro temperatūra. Reikalingas energijos kiekis dažnai būna tarp 10 mJ/cm^2 ir 100 mJ/cm^2 .

Šis mikroorganizmų šalinimas pasitelkiant UV šviesą yra eksponentinis procesas. Kuo ilgiau yra veikama UV, tuo daugiau mikroorganizmų yra pašalinama. Norint išvalyti orą 99 % efektyvumu, reikia dvigubai mažiau energijos nei pasiekiant 99,9 % efektyvumą [34].

2.1.7. Neterminė plazma

Be anksčiau minėtų teršalų valymo mechanizmų, taip pat yra technologijos, pagrįstos neterminė plazma.

Orą valant plazma, naudojama aukšta įtampa, kurios reikia oro jonizavimui. Jonizacijos metu sukuriama reaktyvūs radikalai, kurie reaguoja su teršalais bei juos suardo.

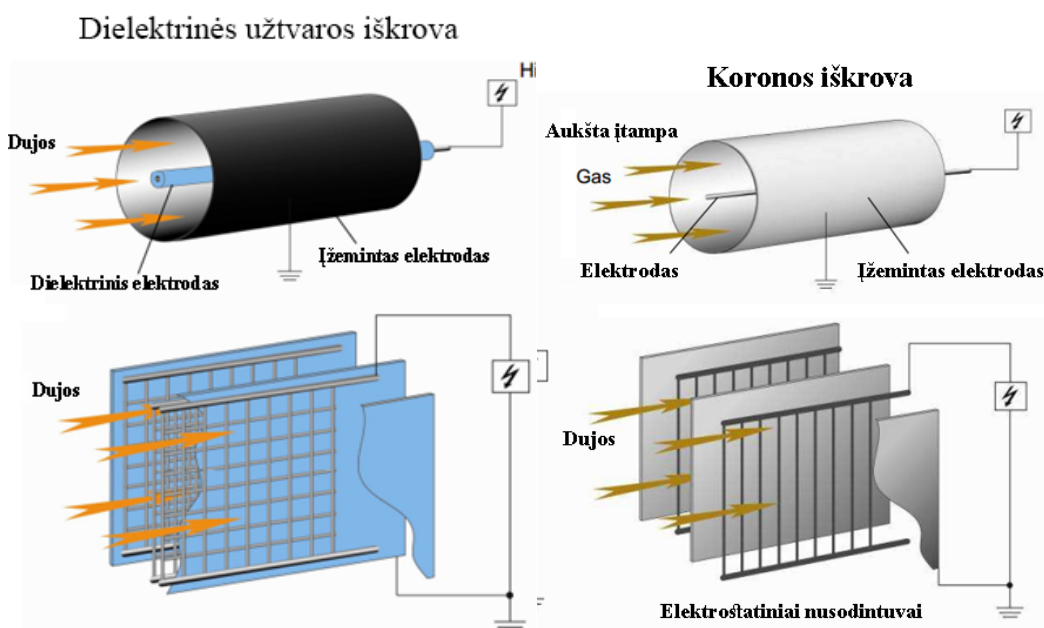
Paprastai išskiriami du plazmos tipai: esanti pusiausvyroje ir nesanti pusiausvyroje plazma. Plazmoje, kuri yra pusiausvyroje, visos krūvį turinčios dalelės ir neutralios dalelės yra tos pačios temperatūros. Plazma, esanti pusiausvyroje, vadinama termine plazma.

Mažinant laiką ir energiją skirtą plazminei iškrovai, yra galimybė kontroliuoti energijos kaupimąsi elektronuose, todėl yra išvengiama pusiausvyros tarp dalelių, elektronų ir dujų temperatūra lieka beveik nepakitusi. Ši plazma yra vadinama nesanti pusiausvyroje plazma arba kitaip tariant – neterminė plazma. Neterminė plazma nepasižymi aukšta temperatūra, tačiau ji vis tiek sugeba skaidyti teršalų junginius į antrinius produktus turinčius paprastesnę junginio struktūrą iki kol suskaidomi iki galutinio produkto – anglies dioksido (CO_2) ir vandens (H_2O) [35].

Neterminės plazmos technologija tinkama taikyti norint išvalyti ore esančius dujinius teršalus, pavyzdžiui, lakiuosius organinius junginius. Ši neterminė plazma gali būti sužadinta elektronų spinduliais ar elektrine iškrova. Iškrovos yra keletas tipų:

- koronos iškrova;
- dielektrinės užtvaros iškrova;
- paviršinis išlydis.

Žemiau esančiame paveikslėlyje pavaizduoti pirmieji du tipai.

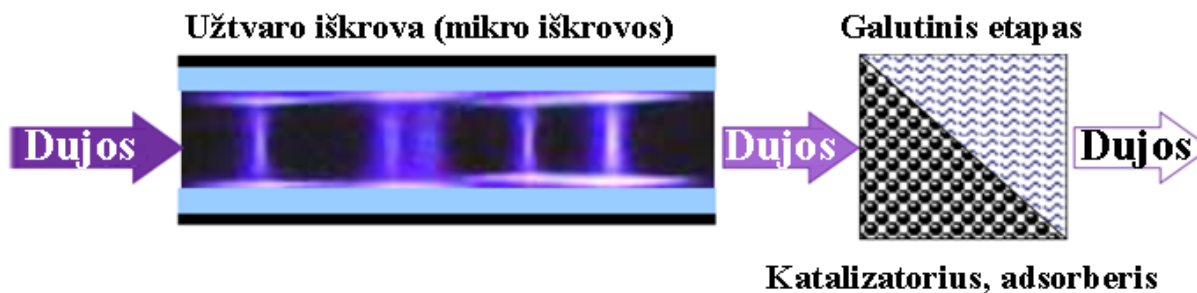


3 pav. Dielektrinės užtvaros ir koronos iškrova [36]

Neterminės plazmos elektrinė iškrova susidaro tuomet, kai susiformuoja pakankamai stiprus elektrinis laukas, tai yra, kai tarp dviejų – dielektrinio ir įžeminto – elektrodų yra paleidžiama aukšta srovė. Sukuriama srovė priklauso nuo tarpo tarp šių dviejų elektrodų, valomų dujų. Paprastai ši srovė kinta tarp 10 kV ir 30 kV [37]. Kuomet paduodama tinkama srovė, prasideda šie procesai:

- suardymas (jonizacija, disociacija, sužadinimas);
- reakcijos fazė (jonų ir radikalų rekombinacija ir konversija);

- galutinis etapas (difuzija, šilumos ir medžiagų transformavimas, cheminės reakcijos, aerozolių formavimas, adsorbicija) [38].



4 pav. Oro valymo technologija panaudojant neterminę plazmą: principinis veikimas [39]

2.2. Patalpų oro valymo technologijų aplinkosaugos vertinimas

Nors šios technologijos padeda valyti patalpų orą nuo teršalų, tačiau jos pačios galimai sukelia poveikį aplinkai, kuris pasireiškia per žaliavų išgavimą, elektros sąnaudas naudojimosi laikotarpiu bei sugeneruotas atliekas. Šis oro valymo technologijų poveikis gali būti atliekamas pasinaudojant būvio ciklo analizės metodu.

Būvio ciklo analizė yra metodas, naudojamas įvertinti proceso, produkto daromą įtaką gamtai ir žmogui. Būvio ciklo analizę galima pritaikyti ne tik visam produktui, bet ir jo gamybos etapams. Taip nustatoma, kuri būvio ciklo vieta daro didžiausią poveikį gamtai ir pradedama ieškoti alternatyvių sprendimų. Pilna būvio ciklo analizė apima žaliavų išgavimą, gamybą, transportavimą, platinimą, naudojimąsi, eksploataciją, perdirbimą ir išmetimą.

Šis metodas jau yra pritaikytas kai kurioms oro valymo technologijomis, pvz.: kaip voro šilkas. Voro šilkas yra daug potencialo turintis pluoštas su ypatingomis savybėmis. Nustatyta, kad voro šilką naudojant oro siurblių filtruose, yra sutaupoma 5,73 MJ energijos, 55 g pluošto filtrui, lyginant su paprastu polimeriniu audiniu [40].

Palyginami adsorbicijos technologijai skirti adsorbentai: aktyvuotos anglies granulės ir aktyvuotos anglies pluoštas skirti sugaudyti izobutanui.

Nustatyta, kad pluoštas iš aktyvuotos anglies sunaudoja mažiausiai energijos naudojimosi laikotarpiu – 3,4 TJ/metus. Kai tuo tarpu granulės iš aktyvuotos anglies – 8,7 TJ/metus [41].

Apibendrinant galima teigti, jog norint gyventi tikrai saugioje, komfortiškoje aplinkoje neužtenka mažinti taršos jos susidarymo šaltinyje ar taikyti ventiliaciją, o būtina taikyti efektyvias ir tikrai saugias oro valymo technologijas. Šios oro valymo technologijos gali būti nuo pačių paprasčiausių

iki kompleksinių priemonių. Norint įsitikinti jų ekologiškumu naujiems įrenginiams, būtina atlikti būvio ciklo analizę ir įvertinti jų draugiškumą aplinkai.

2.3. Būvio ciklo vertinimo metodai

„CML – IA“ metodas

„CML – IA“ yra būvio ciklo analizės poveikio vertinimo metodas. Šio metodo rezultatai grupuojami pagal vidurio taškų kategorijas vertinant pagal įprastus mechanizmus (pvz., klimato kaitos pokyčius) arba įprastas grupes (pvz., ekotoksiškumas).

Remiantis technine apžvalga, nustatyta, kad „CML – IA“ metodas nėra išsamus kategorijų ar kategorijų rodiklių atžvilgiu, todėl šis metodas nėra patikimas teikti rezultatus ar teiginius apie tvarumą [42].

„Ecological scarcity 2013“ metodas

Šis galutinio taško metodas pasveria aplinkai daromą poveikį – teršalų išmetimus ir išteklių suvartojimą panaudojant „ekologinius faktorius“.

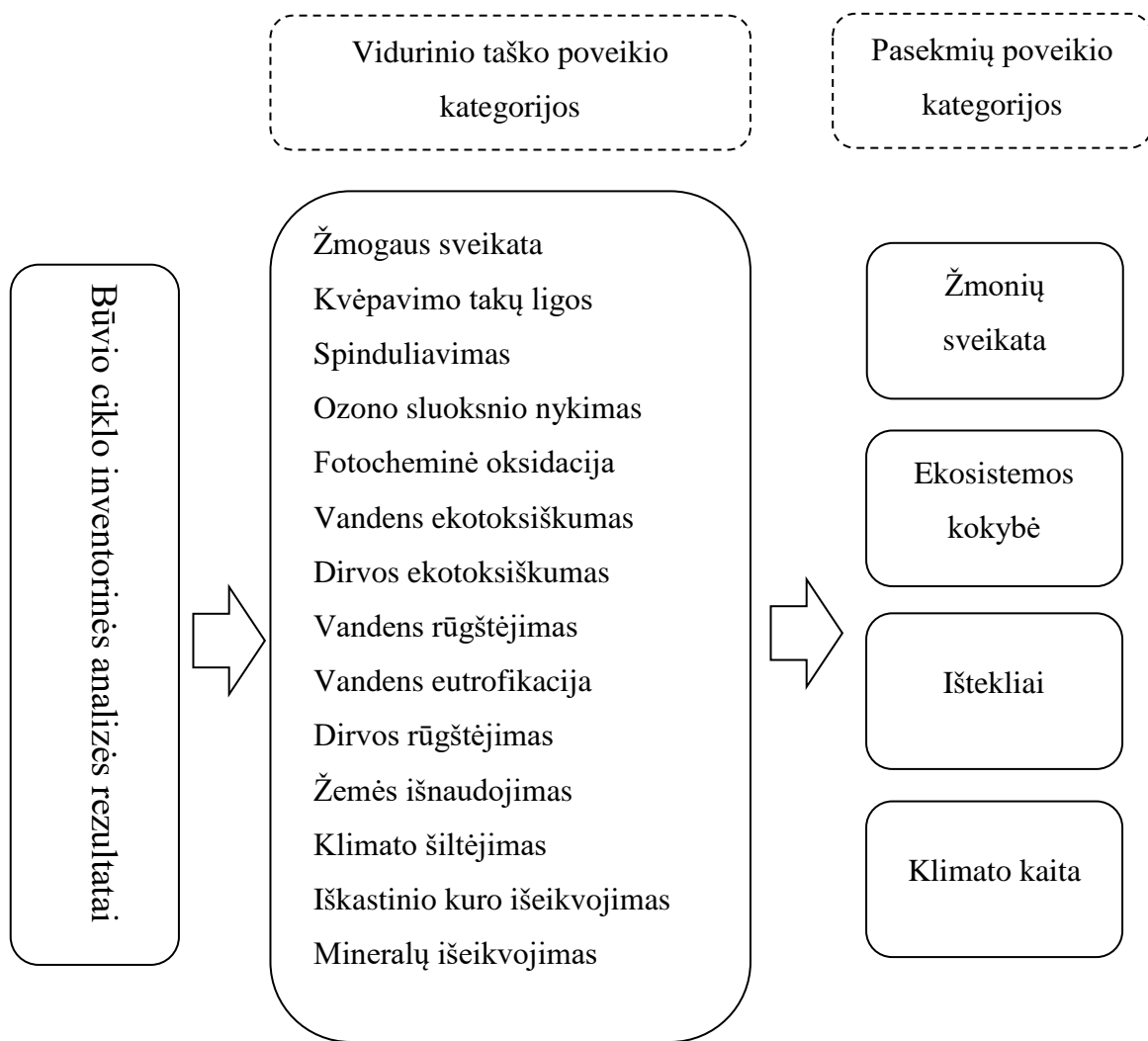
Šis medžiagos ekologinis faktorius atsiranda iš aplinkosaugos įstatymų arba tam atitinkančių politinių siekių. Kuo daugiau viršijamas įstatymų nustatytas teršalų išmetimo lygis, tuo ekologinis faktorius tampa didesnis. Šis faktorius yra kilęs iš ISO 14044 standarto normalizacijos, charakterizacijos ir svertinio metodo [43].

„EPD 2013“ metodas

EPD vidurinio taško metodas yra skirtas apžvelgti gaminio kategorijos taisyklingumą (angl. product category rule).

„Impact 2002+“ metodas

„IMPACT 2002+“ yra ne tik vidurinio taško, bet ir žalos – galutinio taško gyvavimo ciklo poveikio vertinimo metodas. Būvio ciklo inventorinės analizės rezultatai per vidurinio taško 14 kategorijų yra įvertinami iki keturių poveikio kategorijų: žmonių sveikata, ekosistemų kokybė, klimato kaita ir ištekliais [44].



5 pav. Pagrindinė „IMPACT 2002+“ metodo santykio tarp būvio ciklo inventorinių duomenų per vidurinio taško poveikio kategorijas iki pasekmių poveikio kategorijų, grupavimo procedūros iliustracija [44]

„ReCiPe 2016“ metodas

„ReCiPe 2016“ yra atnaujinta „ReCiPe 2008“ versija. Kaip ir „ReCiPE 2008“, 2016 metų versija apima vidurinį tašką (angl. midpoint) ir galutinį tašką (angl. endpoint), kurių yra trys tipai – individualus (I), hierarchinis (H) ir egalitarinis (E).

Šis gyvavimo ciklo poveikio vertinimas padeda susisteminti išmetamų teršalų kiekį, išteklių gavimą į optimizuotus poveikio aplinkai rezultatus, kurie yra vadinami vidurinio ar galutinio taško kategorijomis.

Yra du būdai, kaip gauti šiuos apibūdinimo veiksnius. „ReCiPe 2016“ metode yra apskaičiuojamos:

- 18 vidurio taškų kategorijos;
- 3 galutinio taško kategorijos.

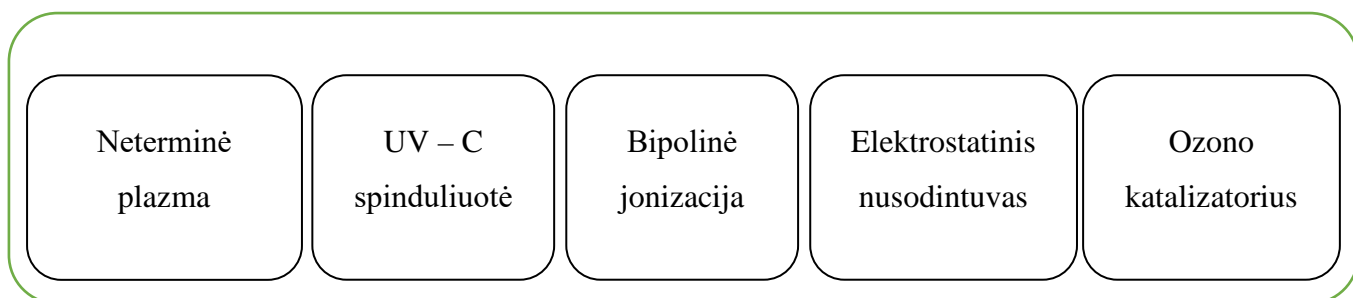
Apibūdinimo veiksniai baigiamajame taške paprastai atspindi žalą vienoje iš trijų apsaugos sričių, į kurias įeina žmonių sveikata, ekosistemų kokybė ir išteklių trūkumas.

Šie du metodai papildo vienas kitą dėl to, kad vidurinio taško apibūdinimas yra glaudžiau susijęs su srautais ir apskritai yra susijęs su žemesniu parametru neapibrėžtumu, o baigiamasis taškas padeda lengviau suprasti aplinkos srautų svarbą [45].

2.3.1. Teorinės dalies apibendrinimas

Dalis tradicinių technologijų, jeigu jas vertintume aplinkosaugos požiūriu, nėra draugiškos aplinkai. Nors jos ir išvalo tam tikrus teršalus, tačiau pačios sukelia nemažą poveikį aplinkai. Technologijų palyginimas ir atsakymas į klausimą ar naudojama technologija daro mažą poveikį aplinkai yra ganėtinai svarbus.

Patalpų oro valymo technologija, tinkanti visiems teršalams, turi turėti aukštą efektyvumo laipsnį, sudaryti kuo mažiau atliekų, nenaudoti daug energijos ir būti įperkama. Vienas iš būdų nustatyti pasirinktos technologijos poveikį aplinkai yra atlikti būvio ciklo vertinimą. Toliau pateikiama metodika ir rezultatai pasirinktoms vidaus patalpų oro valymo technologijoms.



6 pav. Nagrinėjama kompleksinį įrenginį sudarančios technologijos

3. METODINĖ DALIS

3.1. Būvio ciklo vertinimas

Šiame darbe naudojama metodologija yra būvio ciklo vertinimas (toliau – BCV). BCV yra tam tikro produkto ar paslaugos sukeliama poveikio aplinkai tyrimas ir įvertinimas. Tam tikslui yra renkami ir vertinami tiriamo produkto proceso medžiagų įėjimų, išėjimų srautai ir galimas poveikis aplinkai visą jo gyvavimo ciklą, nuo pagaminimo iki išmetimo, jeigu sistemos ribose nėra numatyta kitaip. Būvio ciklo analizė atliekama pagal ISO 14044:2007 standartą ir ją sudaro šie etapai:

- tikslas ir taikymo sritys;
- inventorinė analizė;
- poveikio vertinimas;
- duomenų interpretavimas [46].

3.1.1. Tikslas ir taikymo srities apibrėžimas

Taikymo sritis – palyginti oro valymo technologijų naudojamus išteklius, energiją bei susidariusias atliekas.

Vidaus patalpų oro išvalymo procese vanduo ir dirvožemis nebuvo naudoti, todėl emisijos į šias matricas nebus įtrauktos.

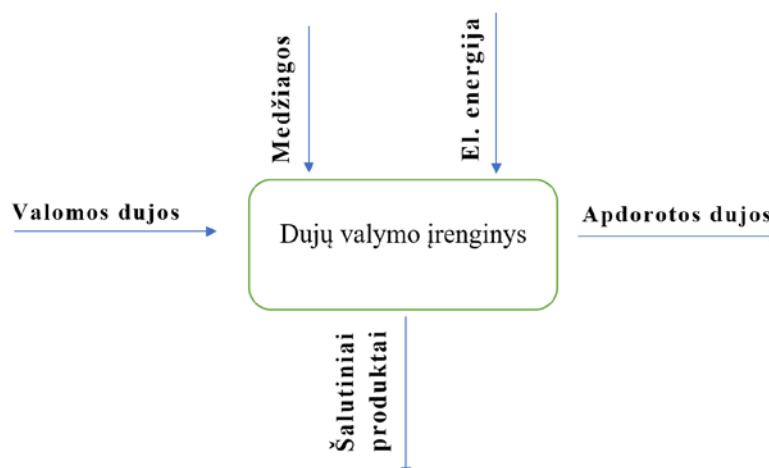
3.1.2. Sistemos ribos

Sistemos ribos šiai būvio ciklo analizei buvo įrenginių, kurie valo lakiuosius organinius junginius esančius vidaus patalpų ore gamyba ir veikimas.

Žaliavos ir energija bei sudaromos atliekos buvo įtrauktos į abi valdymo sistemas šiais etapais:

- apskaičiuojami perdirbti, iš gamtos išgauti, ištekliai pirminių žaliavų gamybai;
- tuomet šios žaliavos paverčiamos cheminėmis medžiagomis ir energija, kurios tiesiogiai naudojamos jo veikimo periodu.

Todėl tyrimui buvo pasirinktos šios sistemos ribos:



7 pav. Sistemos ribos nagrinėjamos technologijoms

Numatomas oro valymo įrenginių procesas vyksta 24 valandas per parą 182 dienas per metus. Po 5 metų naudojimo įrengimai yra vežami perdirbti. Perdirbimas į sistemos ribas neįeina.

Būvio ciklo analizės vertinimui numatytos procesų sistemos ribos yra nuo įrangos surinkimo iki oro valymo įrenginio veikimo pusės metų laikotarpiui jam veikiant visą parą.

Funkcinis vienetas – 200 m³/val. Šis skaičius pasirinktas todėl, kad norint užtikrinti pakankamą oro kokybę, pusė patalpoje esančio oro tūrio turi būti pakeista per valandą. Lietuvoje vidutinis namas yra 160 m² dydžio, vidutinis patalpos aukštis – 2,5 m. Tokios kvadratūros namo tūris yra 400 m³.

Metodologinėje dalyje aptariama nagrinėjamiems procesams reikalingi energijos kiekiai, žaliavos ir būvio ciklo analizės metodai. Aprašomas nagrinėjamas procesas. Pagrindžiamas nagrinėjamų technologijų pasirinkimas.

Pradinė teršalų koncentracija parinkta pagal higienos normas (žr. 1 lentelė), nes norint pasiekti ypač švarų orą patalpose buvo pasirinkta pasiekti teršalų koncentraciją ore iki 0,06 mg/m³, tuo tarpu higienos normos įstatyme didžiausia dienos teršalo tolueno norma – 0,6 mg/m³.

Projektuojant kompleksinį oro valymo įrenginį buvo orientuotasi į individualaus namo, kurio kubatūra yra 400 m³, oro patalpų valymą. Dėl šios priežasties dujų debitas pasirenkamas 200 m³/val.

Renkantis klasikinę – palyginamąją technologiją buvo atsižvelgta į šiuos kriterijus:

- kietųjų dalelių pašalinimą;
- organinių junginių pašalinimą.

Magistro baigiamojo projektas yra orientuotas į lakiųjų organinių junginių šalinimą, tačiau kad kietosios dalelės esančios valomų patalpų ore neužkimštų LOJ filtrų, todėl yra valomos ir kietosios dalelės. Tai reiškia, kad oro valymo sistema turi pašalinti ne tik kietąsias daleles, bet ir lakiuosius organinius junginius.

Atsižvelgus į šiuos kriterijus, buvo parinkti keli scenarijai oro patalpų valymo palyginamajam vertinimui:

- scenarijus nr. 1 susideda iš F7 filtro, kuris pašalina 0,4 µm dydžio kietąsias daleles 57 % efektyvumu. Šis filtras sukelia slėgio nuostolius ir užsipildęs kietosiomis dalelėmis tampa toksiška ir pavojinga atlieka. Lakiesiems organiniams junginiams sulaikyti parinkta aktyvinta anglis, kuri adsorbuoja valomus dujinius teršalus, pavyzdžiui, tolueną. Prisotinta granuliuota aktyvinta anglis tampa pavojinga – toksiška atlieka. Filtro gale pridedamas F7 klasės filtras, kuris sugaudo daleles išeinančias iš anglies sorbento. F7 filtras tampa pavojinga atlieka;
- scenarijus nr. 2 susideda iš neterminės plazmos. Neterminė plazma suskaido lakiuosius organinius junginius iki CO₂ ir H₂O;
- scenarijus nr. 3 kompleksinis valymo įrenginys susideda iš neterminės plazmos, UV spindulių, bipolinės jonizacijos, elektrostatinio nusodintuvo ir ozono katalizatoriaus. Neterminė plazma suskaido lakiuosius organinius junginius ne iki CO₂, nes tai reikalautų didesnių elektros energijos kiekių, tačiau iki kietųjų dalelių. UV – C lempa sunaikina mikroorganizmus, bipolinė jonizacija „suriša“ smulkias kietąsias daleles. Elektrostatinis nusodintuvas sugaudo kietąsias daleles ir jas nusodina. Ozono katalizatorius sugeria iš įrenginio išeinantį ozoną, kad ozonas liktų tik uždaroje sistemoje. Ši technologija iš oro valo ne tik kietąsias daleles, lakiuosius organinius junginius, bet ir mikroorganizmus.

Šiame magistro baigiamajame projekte ventiliacija nebuvo vertinama.

3.1.3. Inventorinė analizė

Inventorinė analizė yra sunkiausias ir daugiausiai laiko reikalaujantis būvio ciklo vertinimo etapas.

Remiantis Lauterbach et. al. (2015), Davidu et al. (2016) ir Tichá M. et. al. (2016) adsorbcijos proceso (scenarijus nr. 1) būvio ciklo analizei atlikti reikalingi šie įvesties duomenys:

- aktyvuotos anglies arba kitos įkrovos reikalingas kiekis
- vandens kiekis (jei tai regeneracinė adsorbcija);

- elektros energijos kiekis, kuris yra sunaudojamas adsorbcijos įrenginyje [47, 48, 49];

Remiantis Mustafaa et al. (2018) ir Stasiulaitiene et al. (2016) neterminės plazmos (scenarijus nr. 2) būvio ciklui įvertinti reikalingi šie įvesties duomenys:

- vario kiekis;
- plastiko kiekis;
- elektronika;
- plienas;
- elektros energija [50, 51].

Tiriamajam kompleksiniam įrenginiui (scenarijus nr. 3) duomenys bus surinkti šioms technologijoms:

- UV-C;
- neterminėi plazmai;
- bipolinei jonizacijai;
- elektrostatiniui nusodintuvui;
- ozono katalizatoriui.

Inventoriniai duomenys surinkti iš įvairių šaltinių:

- mokslinių straipsnių;
- gamintojų ataskaitų;
- duomenų bazių;
- atlikus matavimus;
- atlikus savus skaičiavimus.

3.1.4. Aktyvintos anglies kiekio skaičiavimas

Pagal Williamo (2002) parengtą metodiką suskaičiuojamas reikalingos aktyvuotos anglies kiekis [52]:

Aktyvintos anglies kiekiui, reikalingam teršalų šalinimui skaičiuoti naudojama formulė, kg :

$$M_c = \frac{m_{VOC}}{w_c} \theta_A \left(1 + \frac{N_D}{N_A} \right); \quad (3.1)$$

Kur:

m_{VOC} – VOC teršalų kiekis, kg/val ;

w_c – adsorbcijos geba;

N_D – desorbcijos kolonų kiekis;

N_A – adsorbcijos kolonų kiekis;

Adsorbcijos kolonos diametru skaičiuoti naudojama formulė, m:

$$D = \frac{0,127M_c v_b}{Q'}; \quad (3.2)$$

Kur:

v_b – adsorbcijos paviršinis greitis, m/min;

Q' – debitas;

Įkrovos ilgiui apskaičiuoti naudojama formulė, m:

$$L = \frac{7.87}{M_c} \left(\frac{Q'}{v_b} \right); \quad (3.3)$$

Paviršiaus plotui apskaičiuoti naudojama formulė, m²:

$$S = \pi D \left(L + \frac{D}{2} \right); \quad (3.4)$$

3.1.5. F7 stiklo pluošto filtro masės kiekio skaičiavimas

Pagal išsivestas formules suskaičiuojamas reikalingo F7 filtro kiekis.

Paviršiaus plotui apskaičiuoti naudojama formulė, S:

$$S_{\text{filtro}} = \frac{L \times b \times h}{n_{\text{sielės}} \times 2}; \quad (3.5)$$

Kur:

L – filtro ilgis, m;

b – filtro plotis, m;

h – filtro aukštis, m;

$n_{\text{sielės}}$ – filtre esančių sienelių skaičius.

Filtro masei apskaičiuoti naudojama formulė, kg:

$$m = S_{\text{filtro}} \times \rho; \quad (3.6)$$

3.1.6. Poveikio vertinimo metodas

Šiame projekte yra naudojama „SimaPro 8.5.2.0“ programinė įranga.

Rezultatų gavimui yra pasirenkamas atitinkamas metodas pačioje programinėje įrangoje, kuriais apskaičiuojame poveikio kategorijas. Pagrindinis metodas taikytas magistro baigiamajame projekte yra „IMPACT 2002+“. Taip pat šiame magistro baigiamajame projekte bus palyginti du metodai „IMPACT 2002+“ ir „ReCiPe 2016“.

„IMPACT 2002+“ ir „ReCiPe 2016“ būvio ciklo vertinimo metodo normalizacijos koeficientai:

2 lentelė. IMPACT 2002+ metodo baigties taško indikatorių normalizacijos koeficientai (SimaPro 8.5.2.0 duomenų bazė)

Baigties taško indikatoriai	Normalizacijos koeficientai	Matavimo vienetas
Žmogaus sveikata	0,0077	DALY
Ekosistemos	4650	PDF m ² metai/žmonės/metai
Klimato kaita	9950	kg CO ₂ eq
Resursai	152000	MJ

3 lentelė. ReCiPe 2016 metodo baigties taško indikatorių normalizacijos koeficientai (SimaPro 8.5.2.0 duomenų bazė)

Baigties taško indikatoriai	Normalizacijos koeficientai	Matavimo vienetas
Žmogaus sveikata	49,5	DALY
Ekosistemos	5530	Rūšys per metus
Resursai	0,00324	\$

3.1.7. Poveikio vertinimo duomenų interpretavimas

Didžiausias poveikis aplinkai yra apibūdinamas skirtingais rezultatų interpretavimo būdais. Pagrindiniai yra klasifikavimas ar charakterizavimas, o palyginimui yra naudojami normalizavimo ir svėrimo būdai.

Tuo tarpu naudojantis svoriniu vertinimu – perskaičiuoti ir, galbūt, sujungti rodiklių rezultatus pagal poveikio kategorijas, naudojant skaitmeninius veiksnius, pagrįstus vertės pasirinkimu.

Skirtingai nuo klasifikacijos ir žalos apibūdinimo, normalizacija ir svorinis vertinimas nėra privalomi darant būvio ciklo analizę.

Klasifikacija

Klasifikavimo metu nustatomas poveikio aplinkai kategorijos ir kiekvienai jų priskiriami inventoriniai duomenys. Bendrąsias nagrinėjamas poveikių aplinkai kategorijas sudaro žmonių sveikata, išteklių vartojimas ir ekologinės pasekmės. Šios trys pagrindinės kategorijos gali būti toliau skirstomos į grupes.

Norminimas

Būvio ciklo analizėje normalizavimas parodo apskaičiuotos kategorijos mastą bendro rezultato mastu. Pagrindinis kategorijos rodiklių rezultatų normalizavimo tikslas yra geriau suprasti santykinę reikšmę ir reikšmę šioms vertėms studijuojamai sistemai. Normalizacija padeda paaiškinti būvio ciklo analizės rezultatus nurodant ar pateikiami rezultatai yra galimi apskritai. Gali būti naudojama palyginti gautus rezultatus su kitos analizės rezultatais, patikrinti ar nėra neatitikimų rezultatuose, pateikti reikšmingą kategorijos indikatorius rezultatų informaciją ir pasiruošti kitoms procedūroms kaip svertinis metodas ir duomenų interpretavimas.

Nors ir naudojama kaip žingsnis, kuris padeda suprasti bei interpretuoti gautus analizės rezultatus, normalizacija nėra privaloma būvio ciklo analizės dalis, nes neįeina į aplinkosaugos poveikio kokybinį potencialo vertinimą. Rezultatai yra pateikiami bedimensiais vienetais.

Lyginamasis svorinis vertinimas

Lyginamasis svorinis vertinimas yra neprivalomas poveikio vertinimo etapas, kuriame normalizuoti kiekvienos poveikio kategorijos rezultatai priskiriami skaitiniams veiksniams pagal jų santykinę svarbą.

Svorinis vertinimas gali palengvinti priimti sprendimus ten, kur tarp poveikio kategorijų neįmanoma padaryti pasirinkimo, tai yra, kažkurios vienos kategorijos iškelti aukščiau kitų.

3.2. Jautrumo analizė

Jautrumo analizė yra priemonė skirta ištirti rezultatų patikimumą ir jų jautrumą tiems veiksniams, kurie yra neįvertinti būvio ciklo analizėje. Tokie veiksniai gali būti kaip sistemos ribų, duomenų rinkimo metodų netikslus parinkimas.

Jautrumo analizė šiuo atveju skirta suprasti, kaip įvesties srautuose atsiradę netikslumai atskleidžia modelio klaidas. Tai yra ar pakeitus įvesties duomenis rezultatas išlieka logiškas.

Jautrumo analizė taip pat yra naudojama gauti geresnį rezultatų aprašymą ir nustatyti labiausiai modelį įtakojančius veiksnius, parametrus. Teisinga jautrumo analizė padeda ateities tyrimams [53].

Jautrumo analizės tyrimo metu tikrinama kokią įtaką gautiems rezultatams turi tam tikrame diapazone keičiami duomenys.

Planuojama jautrumo analizę atlikti pagal elektros energijos kiekio kitimą. Keitimo intervalas yra -20 ir +20 procentų.

3.3. Inventorinės analizės rezultatai

Inventoriniai duomenys – įvediniai ir išvediniai – apskaičiuoti naudojantis šiomis pradinėmis sąlygomis:

4 lentelė. Inventorinės analizės pradiniai duomenys

Procesas				
		Adsorbcija	NTP	Kompleksinis įrenginys
Parametrai	Dimensijos			
Dujų debitas	Nm ³ /val	200	200	200
Veikimo laikotarpis	val.	4380	4380	4380
Valomo teršalo koncentracija (toluenas)	mg/m ³	20	20	20
Išvalymo efektyvumas	%	98	85	99

Naudojantis metodologinėje dalyje pateiktomis formulėmis gauti šie inventoriniai duomenys:

5 lentelė. Pasirinktų patalpų oro valymo technologijų inventoriniai duomenys

Procesas				
		Aktyvintos anglies ir F7 filtras (scenarijus nr. 1)	Neterminė plazma (scenarijus nr. 2)	Kompleksinis įrenginys (scenarijus nr. 3)
Įvesties duomenys				
Pradinis teršalų kiekis (toluenas)	kg	4×10^{-5}	4×10^{-5}	4×10^{-5}
Aktyvintos anglies kiekis	kg	17,52	–	–

F7 filtro kiekis	g	200	–	–
Polietilenas	g	–	–	1105

5 lentelės tęsinys

Plienai	g	–	700	1716
Teflonas	g	–	640	640
Aliuminis	g	–	1000	1300
Kvarcas	g	–	–	263
Laidai	g	–	–	622
Elektronika	g	–	500	550
Varis	g	–	1000	1000
Polipropilenas	g	–	1000	1500
Reikalingas elektros energijos kiekis	kWh	1620	3504	471
Išvesties duomenys				
Susidariusios atliekos	kg	17,52	–	–
Likutinis tolueno kiekis	kg	$6,0 \times 10^{-8}$	$5,2 \times 10^{-8}$	$6,0 \times 10^{-8}$

Detali kompleksinio įrenginio procesų inventorinė analizė randama prieduose (žr. 1 Priedas).



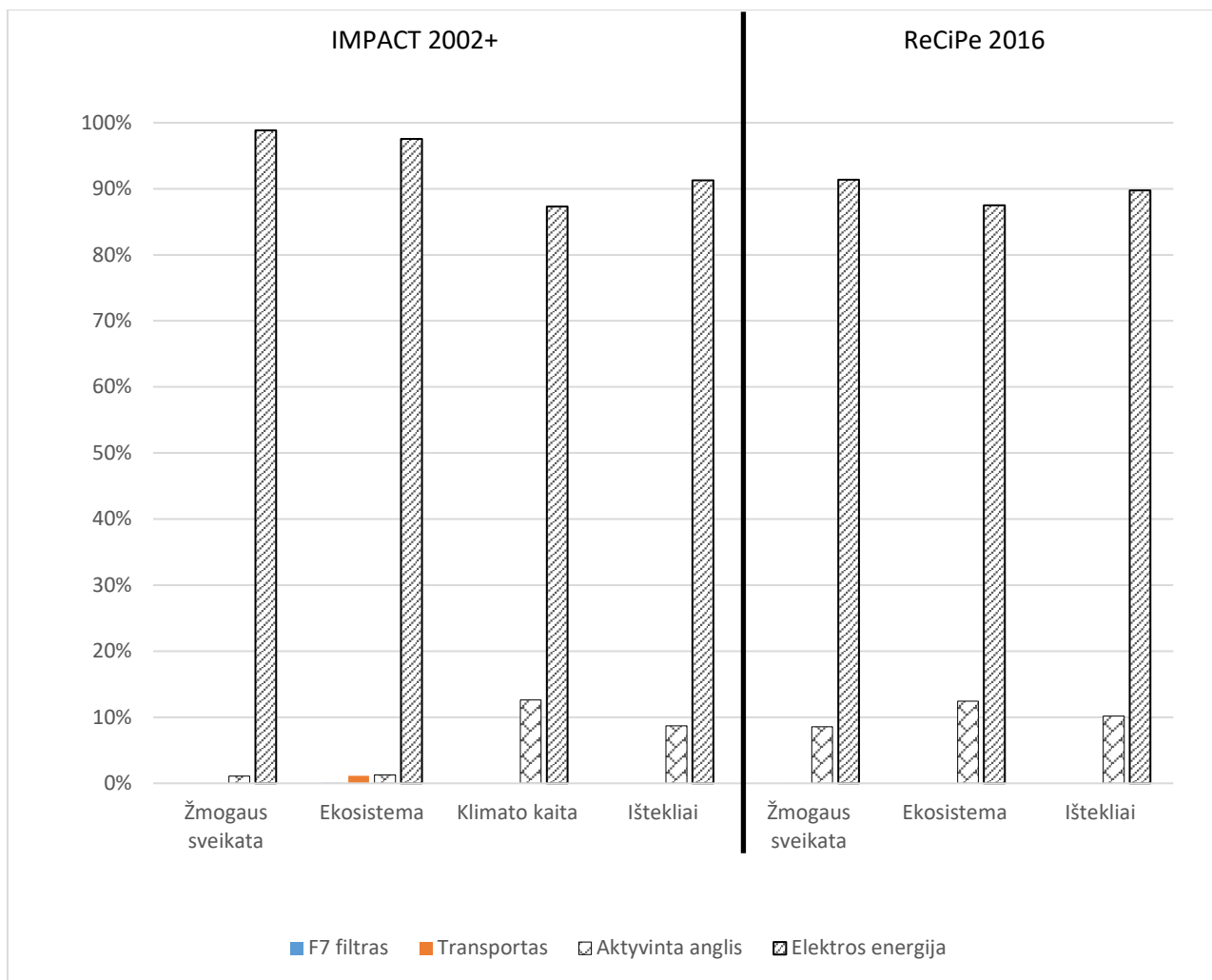
8 pav. Kompleksinis įrenginys (scenarijus nr. 3)

3.4. Poveikio vertinimas

3.4.1. Poveikio vertinimo metodų palyginimas naudojant scenarijų nr. 1

Kadangi normalizuoti duomenys yra skirti rezultatų palyginimui, todėl palyginant metodus pateikiau normalizavimo grafiką. Metodo palyginimas taip pat buvo svarbus prieš pasirenkant kurį taikyti tolesniuose skaičiavimuose.

Klasifikacijos grafikai yra pateikiami prieduose (žr. 2 priedas).



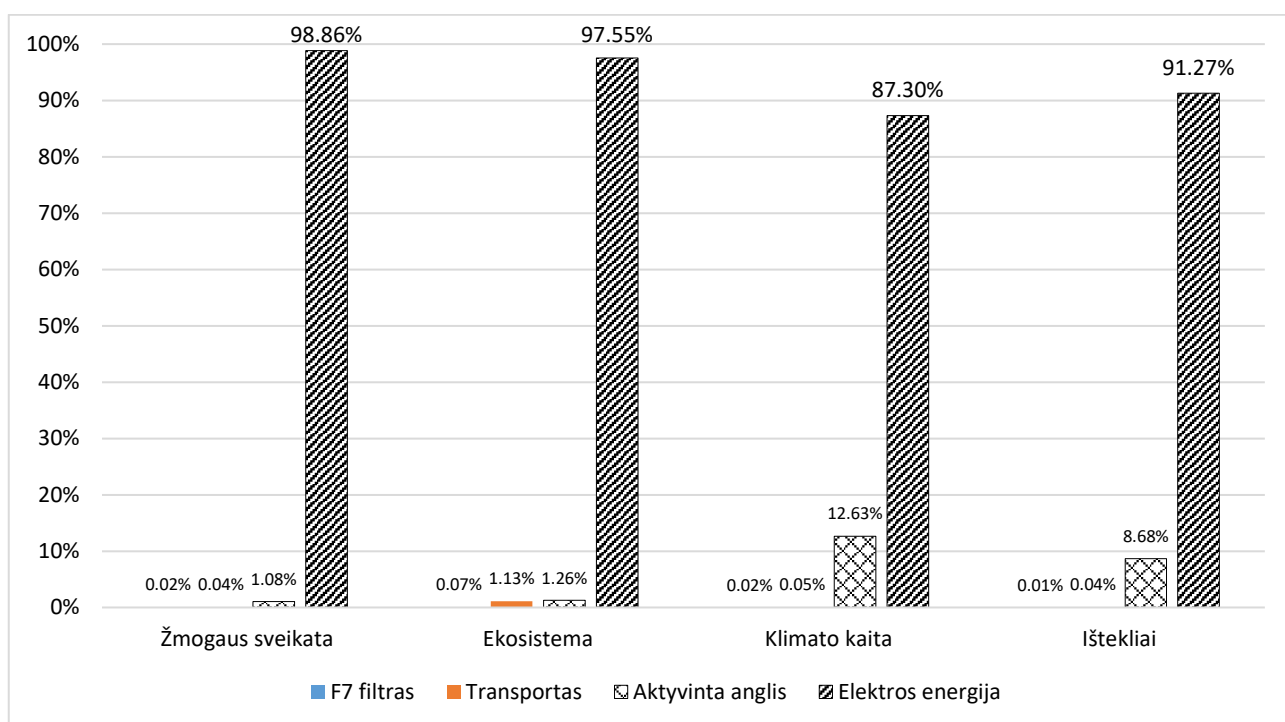
9 pav. Aktyvintos anglies ir F7 filtro (scenarijus nr. 1) poveikio žmogaus sveikatos, ekosistemai, ištekliams ir klimato kaitos kategorijoms pagal normalizuoti būvio ciklo vertinimas pagal IMPACT 2002+ ir ReCiPe 2016 metodus

Atlikus skaičiavimus pirmam scenarijui ir gavus normalizuotus rezultatus, pastebima, kad „IMPACT 2002+“ ir „ReCiPe 2016“ metodai yra skirtingi ir gaunamos skirtingos reikšmės galiniuose taškuose. Žmogaus sveikatos kategorijoje „IMPACT 2002+“ rodo 1,14 kartų daromą didesnę poveikį nei „ReCiPe 2016“ metodas. Taip yra todėl, kad „ReCiPe 2016“ orientuojasi į galutinį poveikį

aplinkai, o „IMPACT 2002+“ į toksiškumą. Nors poveikio kategorijos yra tokios pačios, bet rezultatai gaunami skirtingi dėl skirtingų baigties taško indikatorių koeficientų.

„IMPACT 2002+“ metodas pasirinktas dėl klimato kaitos kategorijos. Klimato kaitos kategorija reikalinga dėl to, nes visi procesai naudoja daug elektros energija, kurios gamavimo veikla prideda daug neigiamo poveikio klimato kaitos kategorijai. Taip pat, „IMPACT 2002+“ yra orientuotas į toksiškumą, o patalpų ore aptinkami lakieji organiniai junginiai pasižymi toksiškumu.

3.4.2. Scenarijaus nr. 1 poveikio kategorijoms palyginamasis vertinimas naudojant žalos apibūdinimo metodą



10 pav. Aktyvintos anglies ir F7 filtro poveikio žmogaus sveikatai, ekosistemai, klimato kaitai, ištekliams daromas poveikis naudojant žalos apibūdinimo vertinimą

Atlikus aktyvintos anglies ir F7 filtro būvio ciklo analizę gauti žalos apibūdinimo duomenys.

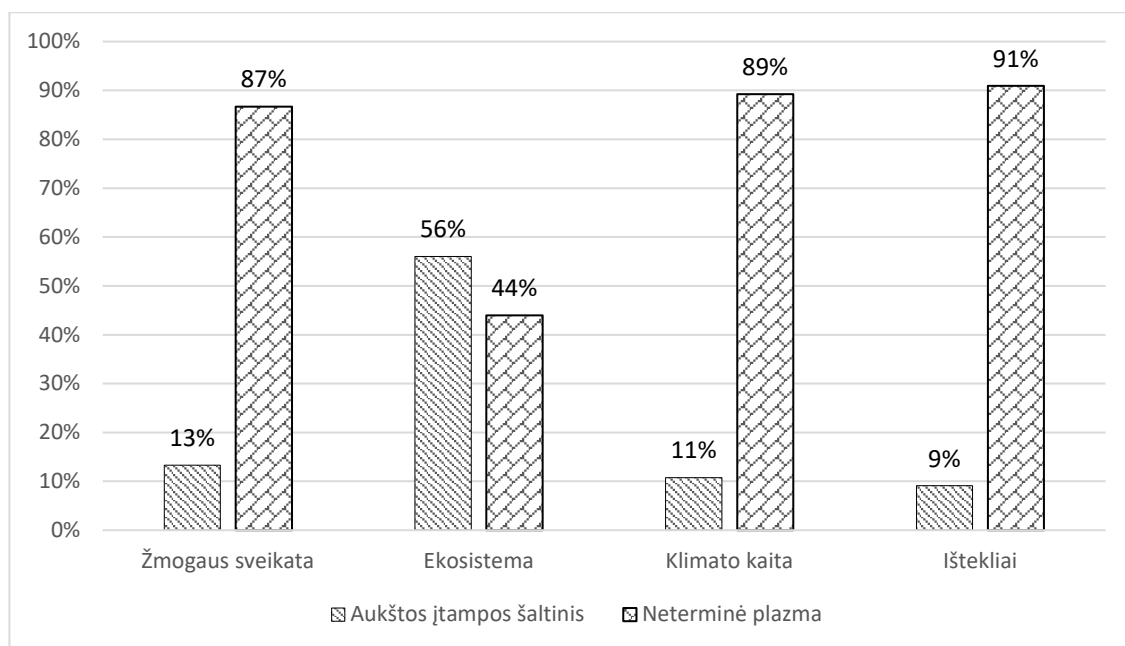
Bendras aktyvintos anglies ir F7 filtro poveikis žmogaus sveikatai – $0,0018$ DALY. Išsiaiškinta, kad didžiausią poveikį žmogaus sveikatai iš filtrams naudojamuose ištekliuose sudaro aktyvinta anglis – 2×10^{-5} DALY, F7 filtras – $4,26 \times 10^{-7}$ DALY. Elektros energija yra suvartojama tik oro tiekimui į filtrą, todėl elektros energija yra išskiriama atskirai. Siurblio daromas poveikis žmogaus sveikatai – $1,83 \times 10^{-3}$. Pavojingos atliekos yra transportuojamos į AB „Akmenės cementas“, kuris nuo Kauno nutolęs 180 km atstumu. Šio proceso daroma įtaka žmogaus sveikatai $7,11 \times 10^{-7}$ DALY.

Bendras aktyvintos anglies ir F7 filtro poveikis ekosistemai – 73,58 PDF×m²×metai. Didžiausią poveikį ekosistemai daro suvartojama elektros energija – 71,8, transportavimas – 0,829, aktyvintos anglies filtras – 0,925, F7 filtras – 0,0516 PDF×m²×metai.

Bendras aktyvintos anglies ir F7 filtro poveikis klimato kaitai – 1339,93 kg CO₂ eq. Didžiausią poveikį klimato kaitai daro suvartojama elektros energija – 1170, transportavimas – 0,67, aktyvinta anglis 169, F7 filtras – 0,227 kg CO₂ eq.

Bendras aktyvintos anglies ir F7 filtro poveikis ištekliams – 23532 MJ. Didžiausią poveikį ištekliams daro suvartojama elektros energija – 21500, transportavimas – 9,72, aktyvintos anglies filtras – 2040, F7 filtras – 3,48 MJ.

3.4.3. Scenarijaus nr. 2 poveikio kategorijoms palyginamasis vertinimas naudojant žalos apibūdinimo metodą



11 pav. Neterminės plazmos poveikio ištekliams, žmogaus sveikatai ir ekosistemai daromas poveikis pagal žalos apibūdinimo vertinimą

Atlikus neterminės plazmos būvio ciklo analizę gauti normalizuoti duomenys.

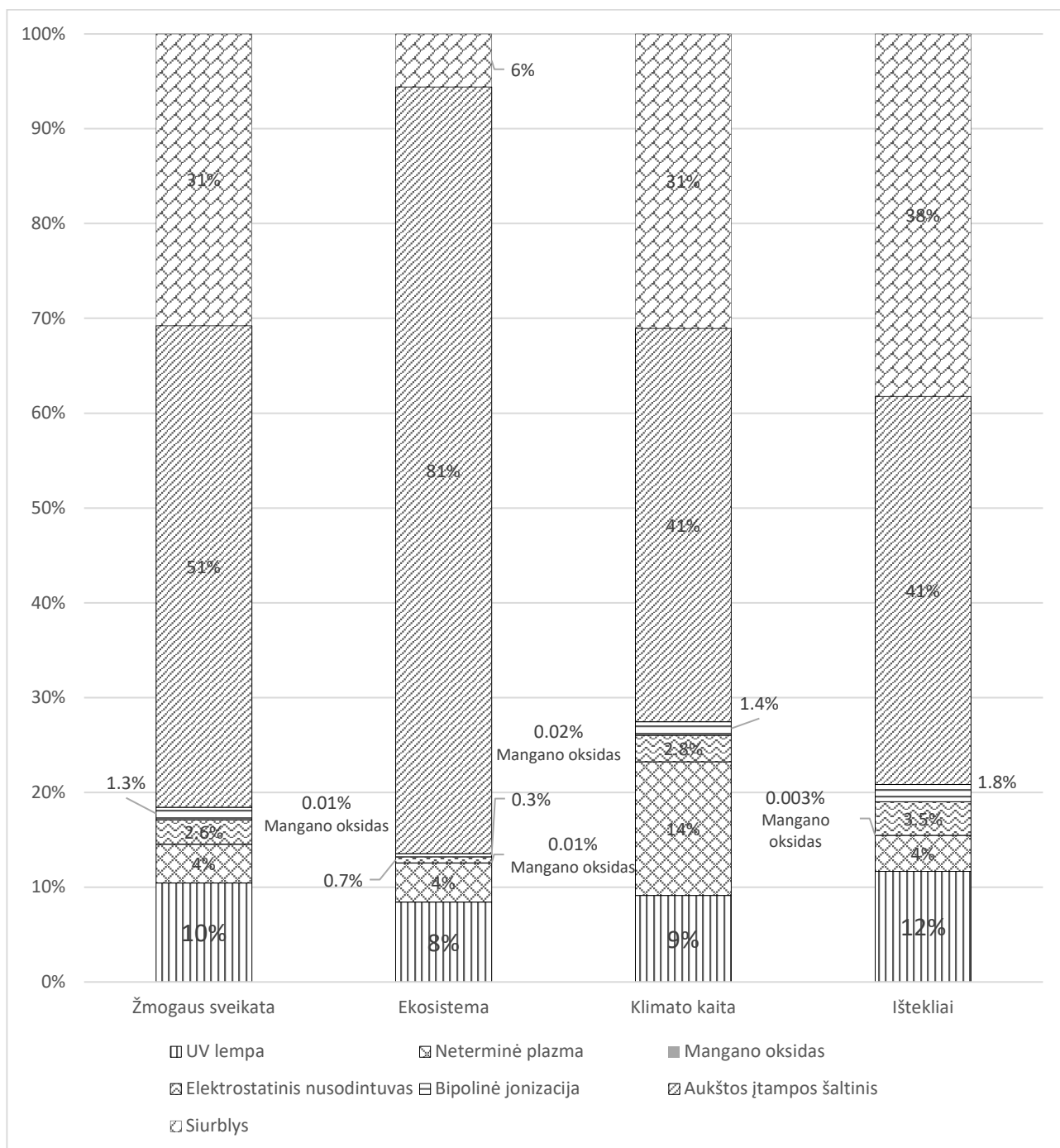
Išsiaiškinta, kad didžiausią poveikį žmogaus sveikatai daro neterminė plazma – 0,0040 DALY, aukštos įtampos šaltinis, neterminė plazma – 0,0006 DALY.

Didžiausią poveikį ekosistemai daro aukštos įtampos šaltinis – 210,6 PDF×m²×metai, neterminė plazma – 165,2 PDF×m²×metai.

Didžiausią poveikį klimato kaitai daro neterminė plazma – 2624,2 kg CO₂ eq, aukštos įtampos šaltinis – 316,8 kg CO₂ eq.

Didžiausią poveikį ištekliams daro netermine plazma – 46637 MJ, aukštos įtampos šaltinis – 4661,9 MJ.

3.4.4. Scenarijaus nr. 3 poveikio kategorijoms palyginamasis vertinimas naudojant žalos apibūdinimo metodą



12 pav. Kompleksinį įrenginį sudarančių technologijų poveikis ištekliams ir žmogaus sveikatai daromas poveikis pagal žalos apibūdinimo vertinimą

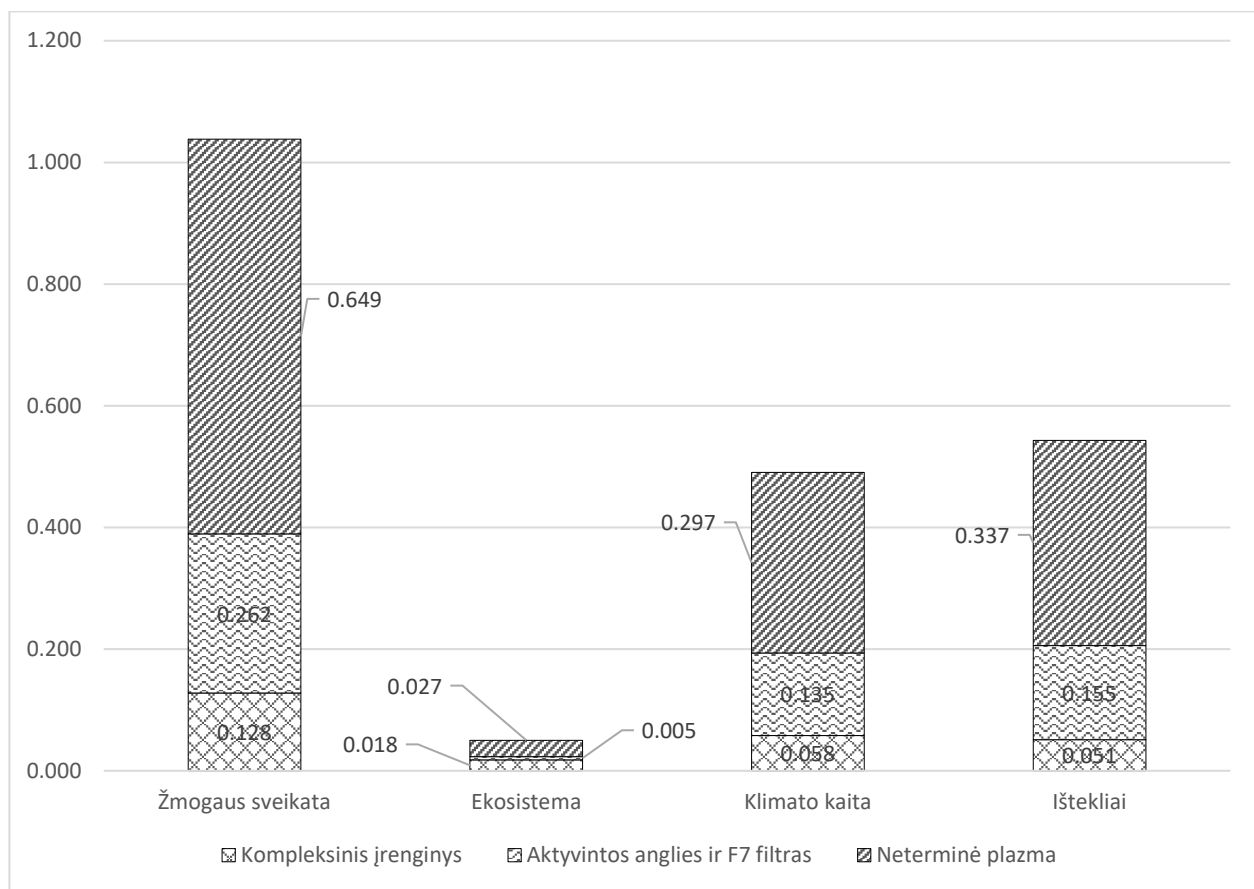
Atlikus būvio ciklo analizę gauti normalizuoti duomenys. Bendras kompleksinio įrenginio poveikis žmogaus sveikatai – 0,0012 DALY. Kompleksinį įrenginį sudarančių technologijų didžiausią poveikį žmogaus sveikatai daro aukštos įtampos šaltinis – $1,26 \times 10^{-4}$, siurblys – $3,72 \times 10^{-4}$, UV – C lempa – $1,26 \times 10^{-4}$, neterminė plazma – $4,96 \times 10^{-5}$, elektrostatinis nusodintuvas – $3,11 \times 10^{-5}$, bipolinė jonizacija – $1,60 \times 10^{-5}$, mangano oksidas – $1,36 \times 10^{-7}$ DALY.

Bendras kompleksinio įrenginio poveikis ekosistemai – 260 PDF \times m² \times metai. Didžiausią poveikį ekosistemai daro aukštos įtampos šaltinis – 210,56, UV – C lempa – 21,94, siurblys – 14,55, neterminė plazma – 14,55, elektrostatinis nusodintuvas – 1,71, bipolinė jonizacija – 0,87, mangano dioksidas – 0,02 PDF \times m² \times metai.

Bendras kompleksinio įrenginio poveikis klimato kaitai – 763 kg CO₂ eq. Didžiausią poveikį klimato kaitai daro aukštos įtampos šaltinis – 316,82, siurblys – 237,11, neterminė plazma – 107,61, UV–C lempa – 69,75, elektrostatinis nusodintuvas – 21,27, bipolinė jonizacija – 10,95, mangano dioksidas – 0,12 kg CO₂ e.

Bendras kompleksinio įrenginio poveikis ištekliams – 113686 MJ. Didžiausią poveikį ištekliams daro aukštos įtampos šaltinis – 4661, siurblys – 4353, UV–C lempa – 1327, neterminė plazma – 432, elektrostatinis nusodintuvas – 403, bipolinė jonizacija – 207, mangano dioksidas – 0,38 MJ.

3.4.5. Scenarijų nr. 1, 2, 3 poveikio kategorijoms palyginamasis poveikio vertinimas naudojant normalizacijos metodą



13 pav. Aktyvintos anglies ir F7 filtro, neterminės plazmos ir kompleksinį įrenginį sudarančių technologijų poveikis ištekliams ir žmogaus sveikatai normalizuotas vertinimas

Normalizuoti rezultatai parodė, kad lyginant tris scenarijus, jog žmogaus sveikatai daromas poveikis yra 2 kartus mažesnis kompleksinio įrenginio negu aktyvintos anglies ir F7 filtro, o neterminės plazmos įrenginio daromas poveikis tai pačiai kategorijai yra 5 kartus didesnis už kompleksinio įrenginio.

Ekosistemai daromas kompleksinio įrenginio poveikis yra 3 kartus didesnis negu aktyvintos anglies ir F7 filtro, o neterminės plazmos įrenginio daromas poveikis tai pačiai kategorijai yra 1,5 karto didesnis už kompleksinio įrenginio.

Klimato kaitai daromas kompleksinio įrenginio poveikis yra 2,3 kartus mažesnis negu aktyvintos anglies ir F7 filtro, o neterminės plazmos įrenginio daromas poveikis tai pačiai kategorijai yra 5 kartus didesnis už kompleksinio įrenginio.

Tuo tarpu kompleksinio įrenginio klimato kaitos kategorijai daromas poveikis yra 3 kartus mažesnis už aktyvintos anglies ir F7 filtrą, o neterminės plazmos filtro 6,5 karto mažesnis už kompleksinio įrenginio daromą poveikį.

Pastaba: Kadangi, tai yra lyginamasis vertinimas tarp reikšmių, kurios turi skirtingus vienetus, todėl gaunami bedimensiai vienetai.

Norint sumažinti aktyvintos anglies ir F7 filtro, neterminės plazmos ir kompleksinio įrenginio daromą įtaką 4 žalos kategorijoms rekomenduojama optimizuoti filtruose naudojamus medžiagų kiekius, naudoti elektros energiją pagamintą iš atsinaujinančių šaltinių, kadangi suvartojamas elektros energijos kiekis sukelia didžiąją dalį poveikį žalos kategorijoms.

3.5. Jautrumo analizė

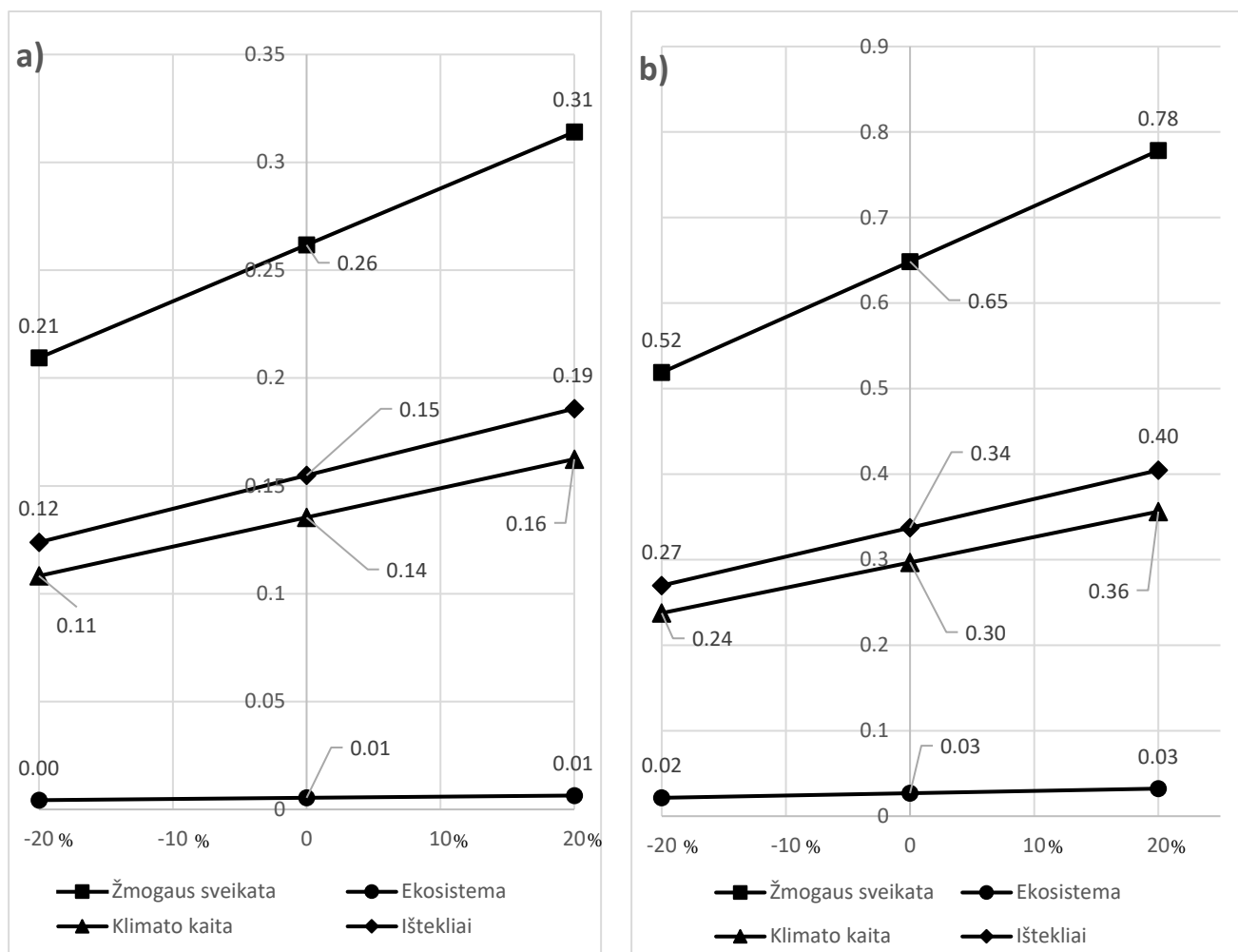
Dėl duomenų netikslumo sumažinimo ir modelio tvirtumo patikrinimo buvo atlikta jautrumo analizė.

Aktyvintos anglies ir F7 filtrui, neterminei plazmai ir kompleksiniam įrenginiui buvo priimtas -20 ir +20 procentų netikslumo intervalas. Suvartojami elektros energijos kiekiai po jautrumo analizės pateikia 6 lentelėje:

6 lentelė. Reikalingi elektros energijos kiekiai pritaikius jautrumo analizę

Procesas	Aktyvintos anglies ir F7 filtras (scenarijus nr. 1)		Neterminė plazma (scenarijus nr. 2)		Kompleksinis įrenginys (scenarijus nr. 3)	
	Reikalingas elektros energijos kiekis filtro veikimo laikotarpiui, kWh	1620		3504		471,3
Jautrumo analizei naudojamas intervalas, %	-20	+20	-20	+20	-20	+20
Reikalingas elektros energijos kiekis filtro veikimo polaikotarpiui pritaikius jautrumo analizę, kWh	1944	1296	4204	2803	566	377

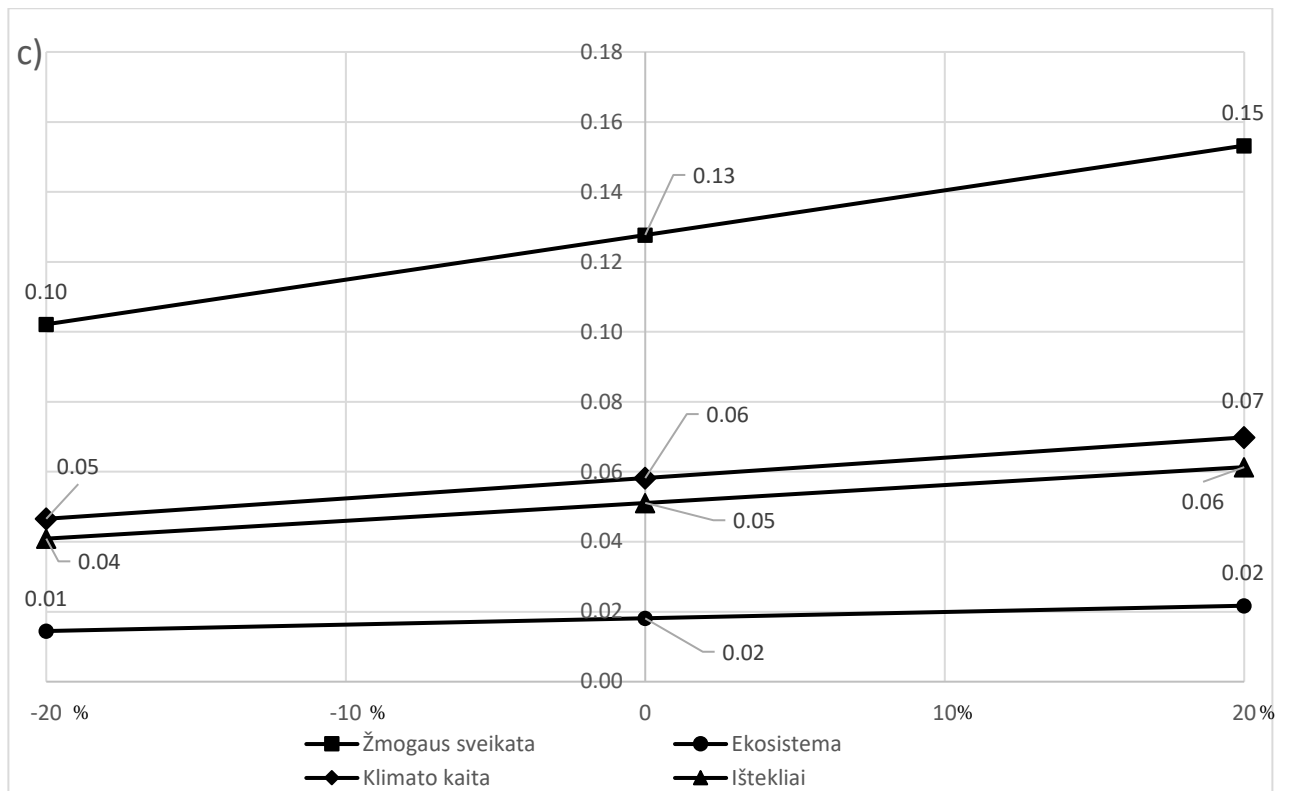
3.5.1. Scenarijų nr. 1, 2, 3 poveikio kategorijoms palyginamasis vertinimas naudojant normalizacijos metodą pritaikius jautrumo analizę



14 pav. Normalizuoti rezultatai. a) Aktyvios anglies ir F7 filtro (scenarijus nr. 1), b) neterminės plazmos (scenarijus nr. 2) daroma įtaka žmogaus sveikatai, ištekliams, klimato kaitai ir ekosistemai viso jo veikimo metu taikant jautrumo analizę

14 paveiksle matomas a) aktyvios anglies ir F7 filtro ir b) neterminės plazmos naudojamas elektros energijos kiekis po jautrumo analizės pritaikius -20 procentų ir +20 procentų intervalą. Tai reiškia, kad parinktas pradinis kiekis yra optimali reikšmė.

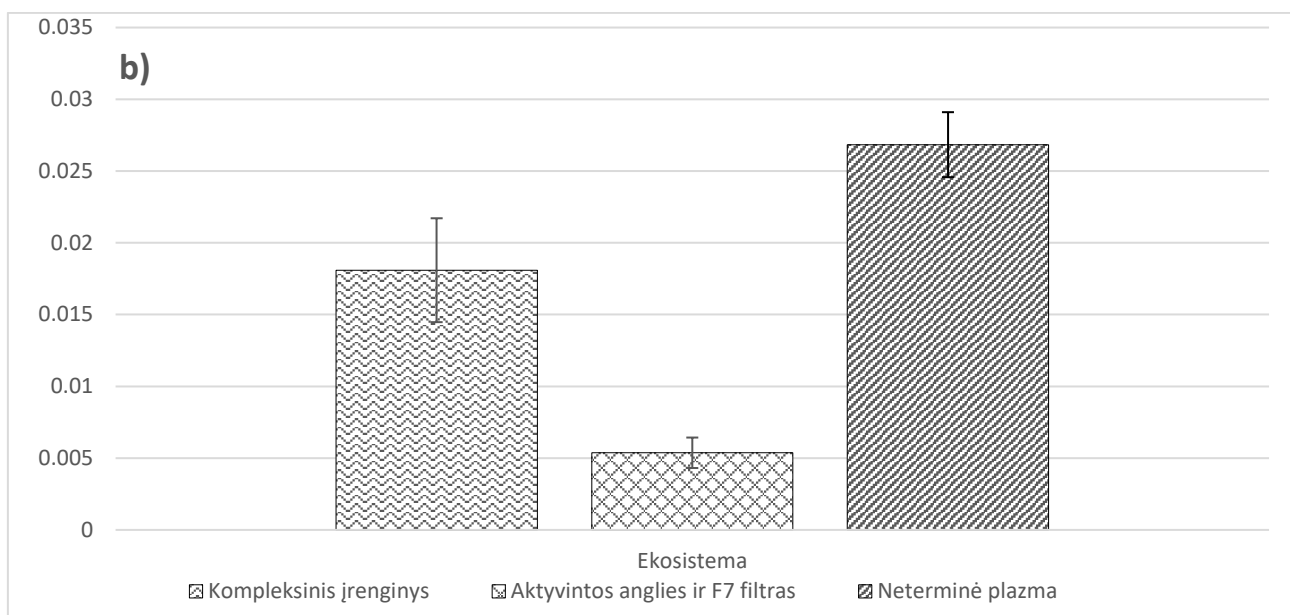
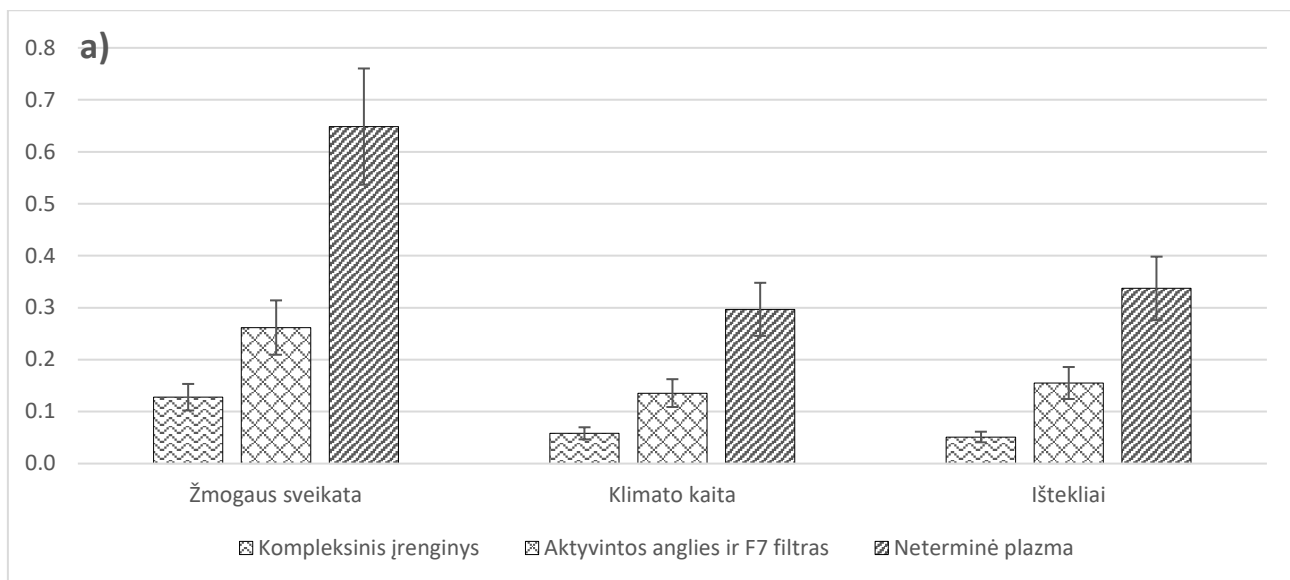
Pastaba: Kadangi, tai yra lyginamasis vertinimas tarp reikšmių, kurios turi skirtingus vienetus, todėl gaunami bedimensiniai vienetai.



15 pav. Normalizuoti rezultatai. c) Kompleksinio įrenginio (scenarijus nr. 3) daroma įtaka žmogaus sveikatai, ištekliams, klimato kaitai ir ekosistemai viso jo veikimo metu taikant jautrumo analizę.

15 grafike matomas c) kompleksinio įrenginio naudojamas elektros energijos kiekis po jautrumo analizės pritaikius -20 procentų ir +20 procentų intervalą. Tai reiškia, kad parinktas pradinis kiekis yra optimalios reikšmės.

Pastaba: Kadangi, tai yra lyginamasis vertinimas tarp reikšmių, kurios turi skirtingus vienetus, todėl gaunami bedimensiniai vienetai.



16 pav. Kompleksinio įrenginio, aktyvintos anglies ir F7 filtro, neterminės plazmos daroma žala pagal normalizuotus rezultatus naudojant „IMPACT 2002+“ metodą žmogaus sveikatai, klimato kaitai, ištekliams ir ekosistemai

Pritaikius -20 ir +20 procentų netikslumo intervalus gauti šie duomenys.

Normalizuoti rezultatai parodė, kad lyginant tris scenarijus, jog žmogaus sveikatai daromas poveikis yra 2 kartus mažesnis kompleksinio įrenginio negu aktyvintos anglies ir F7 filtro, o neterminės plazmos įrenginio daromas poveikis tai pačiai kategorijai yra 5 kartus didesnis už kompleksinio įrenginio.

Ekosistemai daromas kompleksinio įrenginio poveikis yra 3,3 kartus didesnis negu aktyvintos anglies ir F7 filtro, o neterminės plazmos įrenginio daromas poveikis tai pačiai kategorijai yra 1,4 karto didesnis už kompleksinio įrenginio.

Klimato kaitai daromas kompleksinio įrenginio poveikis yra 2,3 kartus mažesnis negu aktyvintos anglies ir F7 filtro, o neterminės plazmos įrenginio daromas poveikis tai pačiai kategorijai yra 5 kartus didesnis už kompleksinio įrenginio.

Tuo tarpu kompleksinio įrenginio išteklių kategorijai daromas poveikis yra 3 kartus mažesnis už aktyvintos anglies ir F7 filtrą, o neterminės plazmos filtro 6,5 karto mažesnis už kompleksinio įrenginio daromą poveikį.

Pastaba: Kadangi, tai yra lyginamasis vertinimas tarp reikšmių, kurios turi skirtingus vienetus, todėl gaunami bedimensiai vienetai.

IŠVADOS

1. Apžvelgus patalpų oro valymo technologijas nustatyta, kad lakiuosius organinius junginius iš vidaus patalpų oro racionalu šalinti ir aplinkosauginį vertinimą atlikti šioms technologijoms – aktyvintos anglies ir F7 filtrui, neterminei plazmai ir kompleksiniam įrenginiui.
2. Atlikus būvio ciklo vertinimą visiems trims scenarijams nustatyta, kad žmogaus sveikatai didžiausias daromas poveikis dėl neterminės plazmos – 0,00406, dėl aktyvintos anglies ir F7 filtro – 0,0018 DALY, dėl kompleksinio įrenginio – 0,0012 DALY. Didžiausias poveikis klimato kaitai dėl neterminės plazmos – 2941 kg CO₂ eq, aktyvintos anglies ir F7 filtro – 1339,93 kg CO₂ eq, dėl kompleksinio įrenginio – 763 kg CO₂ e.
3. Normalizuoti rezultatai parodė, kad lyginant tris scenarijus, jog žmogaus sveikatai daromas poveikis aktyvintos anglies ir F7 filtro yra 2 kartus didesnis negu kompleksinio įrenginio, o neterminės plazmos įrenginio daromas poveikis tai pačiai kategorijai yra 5 kartus didesnis už kompleksinio įrenginio. Tuo tarpu aktyvintos anglies ir F7 filtro klimato kaitos kategorijai daromas poveikis yra 2,3 kartus didesnis negu kompleksinio įrenginio, o neterminės plazmos įrenginio daromas poveikis tai pačiai kategorijai yra 5 kartus didesnis už kompleksinio įrenginio.
4. Normalizuoti rezultatai atlikus jautrumo analizę pagal suvartojamą elektros energijos kiekį intervale +20/-20% parodė, kad žmogaus sveikatai daromas poveikis dėl aktyvintos anglies ir F7 filtro yra 2 kartus didesnis nei kompleksinio įrenginio, o neterminės plazmos įrenginio daromas poveikis tai pačiai kategorijai yra 5 kartus didesnis už kompleksinio įrenginio. Tuo tarpu aktyvintos anglies ir F7 filtro klimato kaitos kategorijai daromas poveikis yra 2,3 kartus didesnis negu kompleksinio įrenginio, o neterminės plazmos įrenginio daromas poveikis tai pačiai kategorijai yra 5 kartus didesnis už kompleksinio įrenginio.
5. Atlikus aplinkosauginį vertinimą trims pasirinktiems scenarijams – aktyvintos anglies ir F7 filtrui (scenarijus nr. 1), neterminei plazmai (scenarijus nr. 2), kompleksiniam įrenginiui (scenarijus nr. 3), galima teigti, kad kompleksinis įrenginys daro mažesnę poveikį aplinkai už aktyvintą anglies ir F7 filtrą bei neterminę plazmą.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. K. W. Tham. *Effects of temperature and outdoor air supply rate on the performance of call center operators in the tropics*. 2014. Prieiga per DOI: 10.1111/j.1600-0668.2004.00280.x
2. Viktorija Buzytė. Aplinkos ir patalpų oro kokybės įtaka žmogaus sveikatai. 2014. [žiūrėta 2017 m. Gegužės 19 d.] Prieiga per internetą [interaktyvus]: <http://www.ve.lt/naujienos/sveikata/sveikata/aplinkos-ir-patalpu-oro-kokybes-itaka-zmogaus-sveikatai-1187502/>
3. Baltijos aplinkos forumas. *Pavojingų cheminių medžiagų kraujyje, namų dulkėse, patalpų ore ir gaminiuose tyrimų Lietuvoje, Latvijoje ir Estijoje ataskaita*. 2015. [žiūrėta 2017 m. Gegužės 19 d.] Prieiga per internetą: https://issuu.com/balticenvironmentalforum/docs/test-your-environment_lt
4. Olli A. Seppänen & William Fisk. *Some Quantitative Relations between Indoor Environmental Quality and Work Performance or Health*. 2011. Prieiga per DOI: 10.1080/10789669.2006.10391446
5. World Health Organization. *World Health Statistics*. 2014. Prieiga per ISBN: ISBN 978 92 4 156471 7
6. Joshi SM. *The sick building syndrome*. 2008. Prieiga per DOI: 10.4103/0019-5278.43262
7. Faria, T et al. *Indoor air quality in urban office buildings*. 2016. Prieiga per DOI: 10.1504/IJETM.2016.082243
8. The Endocrine Society. *Why Test For VOCs?*. 2015. [žiūrėta 2017 m. liepos 10 d.] Prieiga per internetą [interaktyvus]: <https://certified-environmental.com/why-test-for-vocs.html>
9. Fernandes E. de O., Gustafsson H., Crump D., Silva G. V., Madureira J., Martins A. (2008). Coordination Action on Indoor Air Quality and Health Effects, WP3 Final Report, Characterisation of spaces and sources.
10. Bone A., Murray V., Myers I., Dengel A., Crump D. (2010). Will drivers for home energy efficiency harm occupant health? Royal Society for Public Health 2010 SAGE Publications ISSN 1757-9139.
11. Li Q., Jiang J., Wang S. et al. (2017). Impacts of household coal and biomass combustion on indoor and ambient air quality in China: Current status and implication. *Science of the Total Environment*, 576, p. 347 – 361.
12. Komisijos direktyva (ES) Nr. direktyva 2004/42/EB. *Dėl lakiųjų organinių junginių, susidarančių naudojant organinius tirpiklius tam tikruose dažuose, lakuose ir transporto*

- priemonių pakartotinės apdailos produktuose, išmetamų kiekių ribojimo ir iš dalies keičianti Direktyvą 1999/13/EB. Briuselis: Europos komisija, 2004.*
13. Missia L, Dafni A, Demetriou E, Michael N, Tolis EI, Bartzis JG. *Indoor exposure from building materials: a field study*. 2010.
 14. United States Environmental Protection Agency. *Volatile Organic Compounds' Impact on Indoor Air Quality*. [interaktyvus]. [žiūrėta 2017 m. Gegužės 19 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/volatile-organic-compounds-impact-indoor-air-quality>
 15. Komalkirti Apte. *Household air pollution and its effects on health*. 2016. Prieiga per DOI: 10.12688/f1000research.7552.1
 16. B. Safford et al. *Use of an aggregate exposure model to estimate consumer exposure to fragrance ingredients in personal care and cosmetic products*. 2015. Prieiga per DOI: 10.1016/j.yrtph.2015.05.017
 17. Kaunelienė V. et al. *Indoor air quality in low energy residential buildings in Lithuania*. 2016. Prieiga per DOI: 10.1016/j.buildenv.2016.08.018
 18. Įsakymas dėl lakiųjų organinių junginių, susidarančių naudojant tirpiklius tam tikrų veiklos rūšių įrenginiuose, emisijos ribojimo tvarkos patvirtinimo. Valstybės žinios Valstybės žinios, 2003-02-12, Nr. 15-634 (aktuali redakcija 2018-01-01). [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.3449AA78250D/VmzbFHQqnc>
 19. Įsakymas dėl lakiųjų organinių junginių kiekių, susidarančių naudojant organinius tirpiklius tam tikrų dažų, lakų ir transporto priemonių pakartotinės apdailos produktų sudėtyje, ribojimo taisyklių patvirtinimo. Valstybės žinios, 2005-08-02, Nr. 93-3474 (aktuali redakcija 2011-10-19). [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.F665F04AFEC5/bIuGrPvrvK>
 20. Įsakymas dėl Lietuvos higienos normos HN 35:2007 „Didžiausia leidžiama cheminių medžiagų (teršalų) koncentracija gyvenamosios ir visuomeninės paskirties pastatų patalpų ore“ patvirtinimo. Valstybės žinios, 2007-05-19, Nr. 55-2162 (aktuali redakcija 2016-05-01). [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.34E2C5F24512/KxqHbGpHkM>
 21. European Environment Agency. *Air quality in Europe 2013 report*. 2013. [žiūrėta 2017m. Gegužės 14 d.]. Prieiga per internetą: http://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2013/at_download/file
 22. United States Environmental Protection Agency. *Volatile Organic Compounds' Impact on Indoor Air Quality*. [interaktyvus]. [žiūrėta 2017 m. Gegužės 19 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/indoor-particulate-matter>

23. Angela Luengas et al. *A review of indoor air treatment technologies*. 2015. Prieiga per DOI: 10.1007/s11157-015-9363-9
24. European Environment Agency. *Europos aplinka būkle ir raidos*. 2015. [interaktyvus]. [žiūrėta 2017 m. liepos 21 d.] Prieiga per internetą: <https://www.eea.europa.eu/soer-2015/synthesis/europos-aplinka-bukle-ir-raidos>
25. Ginestet A. *Development and evaluation of a new test method for portable air cleaners. Contributed report*. 2012.
26. Parmar, S. S., and D.Grosjean. 1991. Sorbent removal of air pollutants from museum display cases. *Environment International* 17:39–50
27. Energie & milieu–informatiesysteem voor het Vlaams Gewest (EMIS), Polymer adsorption. Prieiga per internetą: <http://www.emis.vito.be/node/19454>
28. W.K. Jo et al. *Granular-activated Carbon Adsorption Followed by Annular-type Photocatalytic System for Control of Indoor Aromatic Compounds*. 2009.
29. Chen, W et al. *Performance of air cleaners for removing multiple volatile organic compounds in indoor air*. 2005.
30. H. F. Hubbard et al. *Effects of an ozone-generating air purifier on indoor secondary particles in three residential dwellings*. 2005. Prieiga per DOI: 10.1111/j.1600-0668.2005.00388.x
31. United States Environmental Protection Agency. *Ozone Generators that are Sold as Air Cleaners*. 2017. [žiūrėta 2018 m. spalio 19 d.] Prieiga per internetą: <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/ozone-generators-are-sold-air-cleaners>
32. Kwong, C.W., Chao, C.Y.H., Hui, K.S., Wan, M.P. 2008. Catalytic ozonation of toluene using zeolite and MCM-41 materials. *Environmental Science & Technology* 42, p.8504 – 8509.
33. L. Zhong et al. *Photocatalytic air cleaners and materials technologies –Abilities and limitations*. 2015. Prieiga per DOI: 10.1016/j.buildenv.2015.01.033
34. [E. Gayan et al. *Environmental and biological factors influencing the UV-C resistance of Listeria monocytogenes*. 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fm.2014.08.011>]
35. Guieysse B. et al. *Biological treatment of indoor air for VOC removal: potential and challenges*. 2008. Prieiga per DOI: 10.1016/j.biotechadv.2008.03.005
36. Andraz Suligoj et al. *TiO₂–SiO₂ films from organic-free colloidal TiO₂ anatase nanoparticles as photocatalyst for removal of volatile organic compounds from indoor air*. 2015. Prieiga per DOI: 10.1016/j.apcatb.2015.11.007
37. Li M, et al. *Synergetic effect between adsorption and photodegradation on nanostructured TiO₂/activated carbon fiber felt porous composites for toluene removal*. 2017. Prieiga per DOI: 10.1016/j.jhazmat.2017.03.019

38. Eva Gallego, et al. *Experimental evaluation of VOC removal efficiency of a coconut shell activated carbon filter for indoor air quality enhancement*. 2013. Prieiga per DOI: 10.1016/j.buildenv.2013.05.003
39. ISO, 2006. *International Organization of Standardization 14040: Environmental Management–life Cycle Assessment–principles and Framework*. International Organization of Standardization, Geneva.
40. Anja Yvonne Lauterbach. *Life cycle assessment of spider silk woven meshes in an air filtration device*. 2015. Prieiga per DOI: 10.1680/gmat.14.00011
41. Callie W. Babbitt et al. *Design–based life cycle assessment of hazardous air pollutant control options at pulp and paper mills: a comparison of thermal oxidation to photocatalytic oxidation and biofiltration*. 2008. Prieiga per DOI: 10.1002/jctb.2105
42. [Technical Review of Life Cycle Impact Assessment Phase, with Specific Recommendations for Updating ISO 14044]
43. David L. Johnsen et al. *Environmental and Economic Assessment of Electrothermal Swing Adsorption of Air Emissions from Sheet–Foam Production Compared to Conventional Abatement Techniques*. 2016. Prieiga per DOI: 10.1021/acs.est.5b05004
44. Frischknecht R, Büsser Knöpfel S. 2013. *Swiss Eco–Factors 2013 according to the Ecological Scarcity Method. Methodological fundamentals and their application in Switzerland*. Environ studies no. 1330. Federal Office for the Environment, Bern.
45. Humbert, S., Margni, M., & Joliet, O. *IMPACT 2002+: user guide*. 2005.
46. ISO, 2006. *International Organization of Standardization 14040: Environmental Management–life Cycle Assessment–principles and Framework*. International Organization of Standardization, Geneva.
47. Tichá M. *Life cycle assessment comparison of photocatalytic coating and air purifier*. 2016. Prieiga per DOI: 10.1002/ieam.1786
48. Callie W. Babbitt. *Design–based life cycle assessment of hazardous air pollutant control options at pulp and paper mills: a comparison of thermal oxidation to photocatalytic oxidation and biofiltration*. 2008. Prieiga per DOI: 10.1002/jctb.2105
49. David L. Johnsen. *Environmental and Economic Assessment of Electrothermal Swing Adsorption of Air Emissions from Sheet–Foam Production Compared to Conventional Abatement Techniques*. 2016. Prieiga per DOI: 10.1021/acs.est.5b05004
50. Muhammad Farooq Mustafaa. *Volatile organic compounds (VOCs) removal in non–thermal plasma double dielectric barrier discharge reactor*. 2018. Prieiga per DOI: a10.1016/j.jhazmat.2018.01.021

51. Stasiulaitiene, I., Martuzevicius, D., Abromaitis, V., Tichonovas, M., Baltrusaitis, J., Brandenburg, R., ... & Schwock, A. 2016. *Comparative life cycle assessment of plasma-based and traditional exhaust gas treatment technologies*. *Journal of Cleaner Production*, 112, 1804–1812.
52. EPA Air Pollution Control Cost Manual. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. 2002.
53. Wei, W., Larrey-Lassalle, P., Faure, T., Dumoulin, N., Roux, P., & Mathias, J. D. 2014. How to conduct a proper sensitivity analysis in life cycle assessment: taking into account correlations within LCI data and interactions within the LCA calculation model. *Environmental science & technology*, 49(1), 377–385.

PRIEDAI

1 PRIEDAS. KOMPLEKSINIAME ĮRENGINYJE (SCENARIJUS NR. 3) NAUDOJAMI ĮVESTIES DUOMENYS.

Procesas		
UV lempa		
Įvesties duomenys		
Elektros energijos kiekis viso naudojimo laikotarpiu	kWh	200
Kvarcas	g	265
Plastmasė	g	105
Plienas	g	10
Aliuminis	g	300

Kompleksiniame įrenginyje (scenarijus nr. 3) naudojamos neterminės plazmos įvesties duomenys.

Procesas		
Neterminė plazma		
Įvesties duomenys		
Elektros energijos kiekis viso naudojimo laikotarpiu	kWh	40
Teflonas	g	640
Plienas	g	710

Kompleksiniame įrenginyje (scenarijus nr. 3) naudojamo elektrostatinio nusodintuvo įvesties duomenys.

Procesas		
Elektrostatinis nusodintuvas		
Įvesties duomenys		
Elektros energijos kiekis viso naudojimo laikotarpiu	kWh	50
Polietilenas	g	1000
Plienas	g	2000

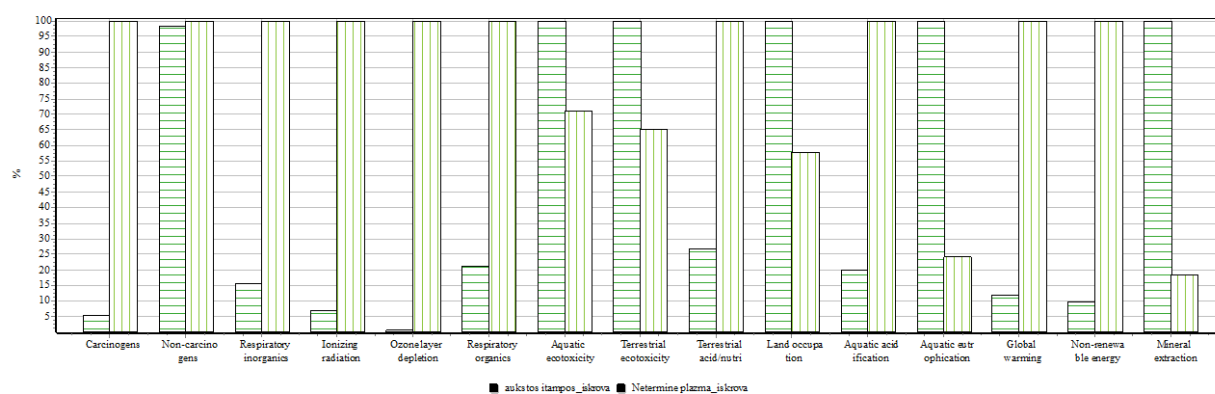
Kompleksiniame įrenginyje (scenarijus nr. 3) naudojamos bipolinės jonizacijos įvesties duomenys.

Procesas		
Bipolinė jonizacija		
Įvesties duomenys		
Elektros energijos kiekis viso naudojimo laikotarpiu	kWh	26
Polietilenas	g	500
Plienas	g	1000

Kompleksiniame įrenginyje (scenarijus nr. 3) naudojamos bipolinės jonizacijos įvesties duomenys.

Procesas		
Aukštos įtampos šaltinis		
Įvesties duomenys		
Varis	g	1000
Aliuminis	g	1000
Polipropilenas	g	1000
Elektronika	g	500

2 PRIEDAS. CHARAKTERIZAVIMO GRAFIKAI



Method: IMPACT2002+V2.14/IMPACT2002+ Characterization
Comparing 1 p 'aukštos įtampos_iskrova' with 1 p 'Neterminė plazma_iskrova'

