



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Asmeninių apsaugos priemonių būvio ciklo vertinimas

Baigiamasis magistro projektas

Viktorija Verkienė

Projekto autorė

Doc. Inga Stasiulaitienė

Vadovė

Kaunas, 2022



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Asmeninių apsaugos priemonių būvio ciklo vertinimas

Baigiamasis magistro projektas

Aplinkosaugos inžinerija (6211EX003)

Viktorija Verkienė

Projekto autorė

Doc. Inga Stasiulaitienė

Vadovė

Doc. Violeta Kaunelienė

Recenzentė

Kaunas, 2022



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Viktorija Verkienė

Asmeninių apsaugos priemonių būvio ciklo vertinimas

Akademinių 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.

Viktorija Verkienė

Patvirtinta elektroniniu būdu

Verkienė Viktorija. Asmeninių apsaugos priemonių būvio ciklo vertinimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovė doc. Inga Stasiulaitienė; Kauno technologijos universitetas, Cheminės technologijos fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: asmeninės apsaugos priemonės, apsauginės veido kaukės, COVID-19 pandemijos poveikis, būvio ciklo vertinimas.

Kaunas, 2022. 44 p.

Santrauka

COVID-19 pandemijai išplitus visame pasaulyje, viena iš pagrindinių priemonių, valdant viruso plitimą visuomenėje, tapo asmens apsaugos priemonės ir dezinfekcinės medžiagos. Jų sunaudojimas visame pasaulyje pakilo labai sparčiai. Ypač padidėjo apsauginių veido kaukių naudojimas, nes jos yra laikomos itin efektyvia priemone, stabdant ligos plitimą. Naudojimo apimtys skirtingose šalyse bei skirtingu metų laikotarpiu gali būti skirtingos, tačiau jų paklausa išlieka. Deja, kaukių gamyba ir išmetimas daro ženklų poveikį aplinkai, kurio mastą ne taip paprasta suvokti ir apibūdinti, ir dar labiau didina plastiko produktų gamybos ir išmetimo apimtis. Baigiamajame projekte, naudojant būvio ciklo vertinimo metodiką, pasirinkta įvertinti trijų populiariausių veido apsaugos priemonių (medicininės kaukės, respiratorių FFP1 ir FFP2) poveikį gamtai ir žmogui, bei tuo pačiu palyginti naujos, rinkoje dar nepasirodžiusios alternatyvos – permatomos kompozitinės veido kaukės – poveikį aplinkai. Būvio ciklo vertinimas yra metodologija, leidžianti nustatyti potencialų poveikį aplinkai ir jos ištekliams per visą produkto gyvavimo laikotarpį, t. y. nuo žaliavų paruošimo iki susidariusių atliekų apdorojimo. Būvio ciklo vertinimas yra atliekamas pagal LST EN ISO 14044:2007 standartą ir yra skirstomas į keturis pagrindinius etapus: tyrimo tikslų ir apimties apibrėžimą; būvio ciklo inventorinę analizę; būvio ciklo poveikio vertinimą; rezultatų interpretavimą. Atlikus skaičiavimus naudojant „SimaPro 9.0“ programą, gauti normalizuoti poveikio rezultatai parodė, kad visos kaukės didžiausią neigiamą poveikį daro žmogaus sveikatos kategorijai, o mažiausią išteklių kategorijai. Visoms trimis kategorijoms didžiausią neigiamą poveikį sudaro medicininė kaukė – žmogaus sveikatos kategorijai 92,7 % didesnę nei ekosistemoms ir 94,3 % didesnę poveikį nei ištekliams. Žmogaus sveikatos poveikio kategorijoje didžiausią įtaką turi medicininė kaukė, kurios daromas poveikis yra 65,5 % didesnis už permatomos kompozitinės kaukės, kuri turi mažiausią poveikį žmogaus sveikatai. Ekosistemų kategorijoje didžiausiu daromu poveikiu vėl pasižymi medicininė kaukė, kuris yra 59,5 % didesnis už permatomos kompozitinės kaukės. Medicininė kaukė išteklių kategorijoje taip pat sudaro didžiausią poveikį, kuris yra 52,0 % didesnis už FFP1 respiratoriaus (mažiausias poveikis išteklių kategorijoje). Apibendrinus visus rezultatus, galima teigti, kad permatoma kompozitinė kaukė daro mažiausią poveikį aplinkai. Lyginant jau esančius rinkoje produktus, didžiausias neigiamas poveikis aplinkai gautas medicininei kaukei. Tam įtakos turi sunaudojami produktų kiekiai, siekiant išlaikyti patikimą apsaugą numatytame laikotarpyje. FFP2 arba FFP1 respiratorių naudojimas būtų tvaresnis pasirinkimas, norint užsitikrinti aukštesnio lygio apsaugą.

Verkiene Viktorija. Life Cycle Assessment of Personal Protective Equipment. Master's Final Degree Project / supervisor doc. Inga Stasiulaitiene; Faculty of Chemical Technology, Kaunas University of Technology.

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

Keywords: personal protective equipment, protective face masks, impact of the COVID-19 pandemic, life cycle assessment.

Kaunas, 2021. 44 p.

Summary

With the global pandemic of COVID-19, personal protective equipment and disinfectants have become one of the key tools in controlling the spread of the virus in society. Their consumption has risen at an unprecedented rate worldwide. The use of protective face masks has increased, as they are highly effective means of curbing the spread of the disease. Usage levels may vary depending on different country or year, but demand remains. Unfortunately, the production and disposal of masks has a significant impact on the environment, the scale of which is quite hard to understand and describe, and further increases the production and disposal of plastic products. Therefore, this master thesis carried out a life cycle assessment for the three most popular face protection products (medical masks, FFP1 and FFP2 respirators) and a relatively new alternative to the market – the transparent composite face mask. Life cycle assessment is a methodology that identifies potential impacts on the environment and its resources throughout the life cycle of a product, i. y. from the production of raw materials to the treatment of the waste generated. Life cycle assessment is performed according to the LST EN ISO 14044: 2007 standard and is divided into four main stages: definition of the objectives and scope of the study; life cycle inventory analysis; life cycle impact assessment; interpretation of the results. The normalized results obtained from the life cycle assessment calculations in SimaPro 9.0 showed that all masks have the greatest adverse effects on the human health category and the least on the resource category. For all three categories, the medical mask has the largest negative impact, with the human health category having a 92.7% higher impact than for ecosystems and a 94.3% higher impact than for resources. In the category of human health effects, the medical mask has the greatest impact, with an exposure of 65.5% higher than that of the transparent composite mask, which has the least effect on human health. In the ecosystem category, the medical mask is again the most affected, being 59.5% larger than the transparent composite mask. The medical mask also has the highest exposure in the resource category, which is 52.0% higher than the FFP1 respirator (lowest exposure in the resource category). In conclusion, the transparent composite mask has a lower environmental impact than all other products concerned. Comparing the products already on the market, the greatest negative impact on the environment was obtained for the medical mask. This is influenced by the quantities of products consumed in order to maintain reliable protection for the intended period. The use of FFP2 or FFP1 respirators would be a more sustainable option to provide a higher level of protection.

Turinys

Lentelių sąrašas	7
Paveikslų sąrašas	8
Įvadas.....	9
1. Literatūros apžvalga	10
1.1. COVID-19 pandemijos laikotarpio poveikis cheminių medžiagų gamybai ir aplinkai	10
1.2. Padidėjusi aplinkos tarša asmeninėmis apsaugos priemonėmis ir cheminėmis medžiagomis dėl COVID-19 pandemijos.....	10
1.3. Veido kaukių naudojimas ir šalinimo būdai, jų poveikis aplinkai	11
1.4. Asmens apsaugos priemonių gamyba: naudojamos medžiagos ir technologijos	16
1.4.1. Dezinfekcinio skysčio gamyba.....	16
1.4.2. Vienkartinių pirštinių gamyba	17
1.4.3. Apsauginių veido kaukių gamyba	18
1.4.3.1. Lydalo išpūtimo būdas.....	20
1.4.3.2. Verpimas.....	21
1.4.3.3. Elektro-verpimas	22
1.5. Veido kaukių poveikio aplinkai vertinimas.....	23
1.6. Teorinės darbo dalies apibendrinimas	24
2. Tyrimų metodika	25
2.1 Būvio ciklo vertinimas.....	25
2.1.1. Tyrimo tikslų ir apimtį apibrėžimas	25
2.1.2. Būvio ciklo inventorinė analizė	26
2.1.3. Būvio ciklo poveikio vertinimas	27
2.1.4. Rezultatų interpretavimas	29
2.2. Jautrumo analizė	30
3. Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas.....	31
3.1. Inventorinės analizės rezultatai	31
3.2. Poveikio vertinimas charakterizuojant rezultatus.....	32
3.3. Poveikio vertinimas normalizuojant rezultatus	34
3.4. Rezultatų palyginimas su kitų autorių darbais.....	35
3.5. Jautrumo analizės rezultatai.....	36
Išvados	40
Literatūros sąrašas	41
Priedai.....	44
1 priedas. Apsauginių veido kaukių būvio ciklo vertinimas ir palyginimas skirtingoms poveikio kategorijoms. Žalos vertinimas	44

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Inventoriniai duomenys, kuriuos reikės surinkti ar apskaičiuoti, kad atlikti būvio ciklo vertinimą pasirinktų veido apsaugos priemonių.....	24
2 lentelė. Inventoriniai duomenys, kurie yra reikalingi norint atlikti apsauginių veido kaukių būvio ciklo vertinimą.....	30
3 lentelė. Jautrumo analizės atlikimui reikalingi duomenys.....	36

Paveikslų sąrašas

1 pav. Bendras išmetamų kaukių kiekis per savaitę skirtingose šalyse.....	11
2 pav. Apskaičiuotas polipropileno atliekų kiekis iš veido kaukių, susidarantis per savaitę.....	11
3 pav. Dažniausi veido kaukių išmetimo būdai.....	12
4 pav. Grėsmė paukščiams dėl netinkamo veido kaukių išmetimo.....	13
5 pav. Grėsmės vandens gyvūnams ir paukščiams dėl netinkamai išmetamų plastikinių kaukių atliekų.....	13
6 pav. Maišymo įrenginys, naudojamas dezinfekcinių skysčių/gelių gamybai.....	15
7 pav. Lateksinių pirštinių gamyba.....	16
8 pav. Nuo dulkių apsauganti kaukė.....	17
9 pav. Chirurginė kaukė ir trys jos sluoksniai.....	17
10 pav. Respiratorių sudarantys sluoksniai.....	18
11 pav. Schematiškas išlydymo – pūtimo proceso atvaizdavimas ir gaunamos neaustinės medžiagos struktūra.....	19
12 pav. Schematiškas verpimo proceso atvaizdavimas ir gaunamos neaustinės medžiagos struktūra.....	19
13 pav. Schematiškas elektro-verpimo proceso atvaizdavimas ir gaunamos neaustinės medžiagos struktūra.....	20
14 pav. Permatoma kompozitinė kaukė.....	20
15 pav. Būvio ciklo vertinimo struktūra (pagal standartą LST EN ISO 14044:2007).....	23
16 pav. Medicininių kaukių, FFP1/FFP2 respiratorių ir permatomos kompozitinės kaukės būvio ciklo vertinimo sistemos ribos.....	24
17 pav. Apsauginių veido kaukių būvio ciklo palyginimas, vertinant jų poveikį skirtingose poveikio kategorijose (charakterizuotas poveikis).....	31
18 pav. Apsauginių veido kaukių būvio ciklą vertinimas ir palyginimas skirtingose poveikio kategorijose.....	33
19 pav. Jautrumo analizė: normalizuotas apsauginių veido kaukių poveikis trimis skirtingoms poveikio kategorijoms.....	37
20 pav. Apsauginių veido kaukių būvio ciklą vertinimas ir palyginimas trimis skirtingoms poveikio kategorijoms (žalos vertinimo grafikas).....	44

Ivadas

COVID-19 pandemijai išplitus visame pasaulyje, šalys susidūrė su ekonominiais nuosmukiais, krize sveikatos apsaugos sistemoje ir didžiuliu užsikrėtusių žmonių skaičiumi. Viena iš pagrindinių priemonių, valdant viruso plitimą visuomenėje, tapo asmens apsaugos priemonės ir dezinfekcinės medžiagos. Jų sunaudojimas visame pasaulyje pakilo labai sparčiai. 2020 metų pavasarį jaustas šių priemonių trūkumas jau yra atlieptas, nes gamybos įmonės sugebėjo prisitaikyti prie padidėjusių mastų ir pagaminti reikiamą kiekį šių produktų. Dabar kiekviename prekybos centre galima įsigyti svarbiausių kiekvienam žmogui priemonių: veido kaukių, dezinfekcinio skysčio ir vienkartinį pirštinių. Ypač reikėtų atkreipti dėmesį į apsaugines veido kaukes, kurias savo kasdienybėje naudojo kiekvienas žmogus. Padidėjusi gamyba ir padidėjęs sunaudojimas šių iš plastiko pagamintų produktų taip pat turi savo pasekmių. Dauguma jų galiausiai atsiranda sąvartynuose ar tiesiog laukinėje gamtoje, teršia vandenį ir gali sukelti neigiamų pasekmių aplinkai. Kadangi poveikis aplinkai yra labai įvairiapusiškas ir plataus masto, jį įvertinti gali padėti produktų būvio ciklo vertinimo metodika. Gauti tyrimų rezultatai taip pat bus pristatyti tarptautinėje mokslinėje konferencijoje „Indoor Air 2022“, vyksiančioje birželio 12-16 dienomis, Suomijoje.

Baigiamojo projekto tikslas – atlikti pasirinktų veido apsaugos priemonių poveikio aplinkai vertinimą, remiantis būvio ciklo vertinimo metodika.

Uždaviniai:

1. atlikti literatūros apžvalgą apie asmens apsaugos priemonių gamybą ir naudojimą pandemijos laikotarpiu;
2. surinkti inventorinius skirtingų veido apsaugos priemonių gamybos ir šalinimo procesų duomenis;
3. atlikti būvio ciklo vertinimą skirtingoms veido apsaugos priemonėms, naudojantis SimaPro 9.0 programine įranga;
4. atlikti skirtingų veido apsaugos priemonių jautrumo analizę;
5. pateikti rekomendacijas ir išvadas.

1. Literatūros apžvalga

1.1. COVID-19 pandemijos laikotarpio poveikis cheminių medžiagų gamybai ir aplinkai

COVID-19 pandemija, sukelta SARS-Cov-2 viruso, tapo viena opiausių problemų pasaulyje dėl didžiulio susirgimų ir mirčių skaičiaus, bei greito išplitimo beveik visose šalyse. Visame pasaulyje buvo užfiksuota daugiau nei 179 mln. patvirtintų susirgimų atvejų ir daugiau nei 3 mln. mirčių pagal Pasaulio Sveikatos Organizacijos (PSO) pateiktus duomenis birželio 25 dienai, 2021 m. [1]. Ši pandemija sukėlė ne tik didžiulę žalą žmonių sveikatai, bet ir paveikė šalių ekonomikas, žmonių socialinį gyvenimą bei žinoma ir aplinką [2]. Įvesti griežti karantino ribojimai, laikinas šalių sienų uždarymas ir kitos viruso plitimą stabdžiusios priemonės sukėlė drastiškus pokyčius visame pasaulyje: pramonės įmonių veiklos sustabdymą ar net uždarymą, sumažėjusius transporto srautus sausumoje, vandenyse ir ore [2]. Viena iš šių pokyčiai pasekmių – oro taršos sumažėjimas. Pagrindinių oro teršalų anglies monoksido (CO), azoto oksidų (NO_x), metano (CH_4), sieros dioksido (SO_2), kietųjų dalelių (KD_{10} ir $\text{KD}_{2,5}$) koncentracijos ore smarkiai sumažėjo, taip pat buvo pastebimas ir triukšmo taršos sumažėjimas [3]. 2020 metų pavasarį šalyse kaip Kinija, JAV, Prancūzija, Italija, Ispanija ir kitos Europos šalys, kuriose gyventojų mobilumas buvo sumažintas apytiksliai 90 %, oro tarša sumažėjo apie 30 % [4]. Reikia paminėti, kad šie teigiami pokyčiai, atsiradę įvedus visuotinę izoliaciją pandemijos pradžioje, buvo tik laikini ir, įprastoms žmonių veikloms palaipsniui grįžtant į įprastą ritmą, jau pradėjo nykti [4]. COVID-19 pandemija sukėlė daugiau neigiamo poveikio aplinkai ir dar labiau paaštrino ir taip pasaulyje nesibaigiančias aplinkosaugos problemas: dirvožemio ir vandens taršą plastiką gaminiais, paviršiaus aktyviosiomis medžiagomis ir kitomis cheminėmis medžiagomis [2].

Per pastaruosius metus ypač išaugo muilų, skalbiklių, dezinfekavimo priemonių ir vienkartinio naudojimo plastiko produktų sunaudojimas [2]. Pačios svarbiausios ir pandemijos metu didžiausiais kiekiais gaminamos asmeninės apsaugos priemonės (AAP), pagamintos iš įvairių rūšių plastiko, tapo chirurginės kaukės, respiratoriai, vienkartinės pirštinės bei veido skydeliai, o staigų šių AAP naudojimo padidėjimą lėmė ne tik išaugęs jų poreikis ligoninėse ir kitose gydymo įstaigose, bet ir likusioje visuomenės dalyje [5]. Pandemijai neatsitraukiant, pasaulyje susidaro didžiuliai kiekiai klinikinės kilmės produktų atliekų, kurių kiekis keletą kartų viršija įprastą kiekį dar prieš išplintant virusui [6]. Toks staigus šių produktų naudojimo ir išmetimo padidėjimas gali sukelti neigiamų pasekmių aplinkai [6].

1.2. Padidėjusi aplinkos tarša asmeninėmis apsaugos priemonėmis ir cheminėmis medžiagomis dėl COVID-19 pandemijos

Dėl būtinos dezinfekcijos, per pandemijos laikotarpį visame pasaulyje matomas didesnis sunaudojimas muilo, dezinfekavimo priemonių, kurių sudėtyje yra didelė koncentracija alkoholių (ne mažesnė nei 60 %), pavyzdžiui, izopropanolis [7]. Alkoholio turintys produktai patekę su nuotekomis į paviršiaus vandenį sukelia toksišką poveikį vandens organizmams, o patekę į dirvožemį gali užteršti požeminius vandenius [7]. Dezinfekcinės priemonės, tokios kaip natrio hipochloritas ar chloras, yra plačiai naudojamos grindų ar tualetų paviršiams valyti ir dezinfekuoti. Šios cheminės medžiagos aplinkoje nesikaupia, nes greitai suyra esant kontaktui su organinės kilmės medžiagomis, tačiau yra labai reaktyvios ir patekusios į aplinką būtų toksiškos mikroorganizmams [8]. Antibakterinių muilų sudėtyje yra triklokarbano ir triklozano. Pavyzdžiui, triklozanas kelia pavojų sveikatai ir yra žinoma, kad dėl jo didelio kiekio atsiradimo aplinkoje vis daugiau atsiranda

antibiotikams atsparių bakterijų rūšių [9]. Šios cheminės medžiagos gali sukelti endokrininės sistemos sutrikimus, kepenų vėžį ir ar net tam trikus neurologinius pakitimus, yra žalingos vandens organizmams, sunkiai suvirsta ir sudaro apie 60 % visos masės vaistų, kurie yra randami nuotekose ir nuotekų valymo įrenginių dumble [9].

Vienkartinio naudojimo medicininės kaukės, respiratoriai, veido skydeliai, servetėlės, dezinfekcinio skysčio buteliai, pirštinės, vienkartiniai chalatai – visi šie iš plastiko pagaminti produktai yra ypač dideliais kiekiais sunaudojami visame pasaulyje [2]. Reikia nepamiršti ir to, kad žmonėms negalint patekti į restoranus ir kavines, ypač išaugo maisto užsisakymas į namus, kuris dažniausiai būna pristatomas vienkartinio naudojimo pakuotėse. Vienkartinio naudojimo plastiko gamybos įmonės be abejo stengiasi atliepti tokią padidėjusią paklausą ir išnaudoti galimybę užsidirbti [10]. Padidėjęs poreikis plastikinių pakuočių 40 % ir kitų plastiko produktų, įskaitant ir medicininių, rodo, kad tai veda į staigų plastiko produktų suvartojimo padidėjimą visame pasaulyje [2]. Dėl šių priežasčių tinkamas plastiko gaminių utilizavimas po naudojimo tapo dar rimtesniu rūpesčiu. Reikia paminėti, kad ne visi plastiko produktai yra tinkamai sutvarkomi ir jų vis daugiau galima rasti gatvėse, laukinėje gamtoje ir jūrose [10]. Netinkamai šių atliekų, ypač vienkartinio naudojimo kaukių, dažniausiai atsikrato žmonės, nedirbantys medicinos įstaigose, bet siekiantys apsisaugoti nuo viruso, vykdytys valstybės nurodytus karantino reikalavimus [10]. Toks nerūpestingas atliekų išmetimas kelia grėsmę ne tik gamtai, bet ir patiems žmonėms, nes SARS-CoV-2 virusas yra stabilesnis ant plastiko ir nerūdijančio plieno paviršių, nei ant varinių ar kartoninių, ir gali būti nustatomas iki 72 valandų po patekimo ant paviršiaus [11].

Per pandemijos laikotarpį ypač padidėjo ir biologiškai užterštų atliekų susidarymas, kurių dauguma taip pat yra pagamintos iš plastiko. Ekonomiškai stiprioje šalyse ligoninėse susidarančių biologiškai užterštų atliekų kiekis svyruoja nuo 1,7 kg iki 8,4 kg vienai ligoninės lovai priklausomai nuo ligoninės dydžio ir veiklos pobūdžio [12]. Europos ligoninėse susidarančių atliekų kiekis svyruoja nuo 1,7 kg (Nyderlandai) iki 3,6 kg (Vokietija), Artimųjų Rytų šalyse kaip pavyzdžiui Kuveitas apie 3,6 – 4 kg, o JAV skaičiai išauga iki 8,4 kg [12]. JAV šalina 5,9 mln. medicininių atliekų kasmet, o sveikatos priežiūros sektorius sudaro 8 % bendro CO₂ emisijų kiekio [12]. Susidarant tokiems didžiuliams papildomiems kiekiams biologiškai užterštų atliekų, vienu iš svarbiausių iššūkių tampa tinkamas jų tvarkymas ir toje srityje dirbančių darbuotojų apsaugojimas, kurie taip pat privalo būti aprūpinti apsauginėmis trijų sluoksnių kaukėmis, neperšlampamais chalatais, guminėmis pirštinėmis, guminiiais batais, apsauginiais akiniais ir dezinfekcinėmis priemonėmis [2]. Pagrindinis metodas taikomas tvarkant biologiškai užterštas medžiagas yra deginimas 800–1200 °C temperatūroje, kurioje žūva patogenai ir 90 % yra sumažinama bendra organinių medžiagų dalis [13]. Taip pat dar galima išskirti aukštos temperatūros pirolizę (iki 1093 °C) ir vidutinės temperatūros (iki 540 °C) mikrobangų metodą kaip dvi alternatyvas biologiškai užterštoms atliekoms tvarkyti [13]. Kaip paruošiamoji procedūra prieš mechaninį atliekų smulkinimą gali būti taikomas dezinfekavimas cheminėmis medžiagomis [13].

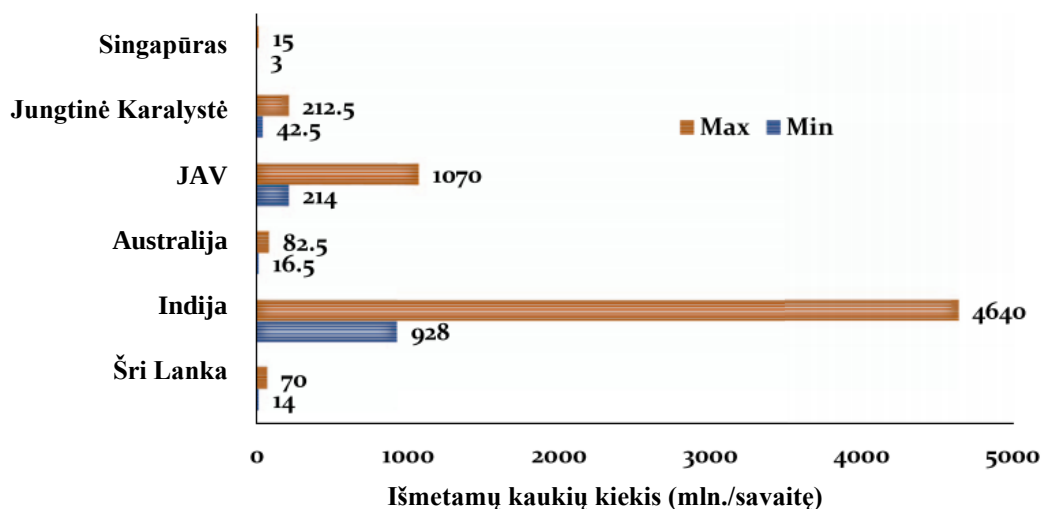
1.3. Veido kaukių naudojimas ir šalinimo būdai, jų poveikis aplinkai

Kaip jau yra žinoma virusas gali būti perduodamas tiesioginio arba netiesioginio kontakto būdu, tai yra, kontaktuojant su žmonėmis arba užterštais paviršiais ir oro lašeline būdu. Visgi pastarasis būdas yra laikomas pagrindiniu perdavimo būdu, kai virusas yra perduodamas tiesiogiai iš žmogaus žmogui iškvėpiamais vandens lašeliais (mažesniais nei 5 µm) [14]. Veido kaukių naudojimas yra laikomas pačia efektyviausia priemone, siekiant apsisaugoti nuo užkrato, o teisingas jų dėvėjimas yra lemiamas

veiksny, teigiamai prisidedantis valdant COVID-19 viruso plitimą visame pasaulyje, nes kaukės veikia kaip fiziniai barjerai, filtruojantys žmogaus įkvepiamą oro srautą ir taip apsaugantys nuo užkrato patekimo į organizmą [14]. Pasaulio Sveikatos Organizacija apskaičiavo, kad sveikatos priežiūros sektoriaus darbuotojams per mėnesį visame pasaulyje reikia 89 milijonų medicininių kaukių per COVID-19 pandemijos laikotarpį 2020 metais [15]. Norint patenkinti šį poreikį PSO paragino padidinti šių asmens apsaugos priemonių gamybą 40 % [15]. Kaip pavyzdys, Šveicarijoje, nacionalinė COVID-19 mokslinių tyrimų ir darbo grupė nustatė, kad 2020 metų balandžio mėnesį visa šalis per dieną sunaudavo apie 4 milijonus vienkartinę medicininių kaukių, esant COVID-19 krizei [15]. Pandemijos pradžioje, 2020 metų pavasarį, visame pasaulyje buvęs didžiulis trūkumas apsauginių kaukių tiek medicinos personalui, tiek likusiai visuomenei, ir importo ribojimai išprovokavo ne tik gamybos mastų padidėjimą bet ir naujų tipų kaukių gamybą [15]. Gausesnė kaukių gamyba, siekiant aprūpinti veido kaukėmis medicinos personalą bei visuomenę, sukėlė didesnę sunaudojimą medžiagų, pagamintų iš iškastinio kuro, taip pat daugiau atliekų [14].

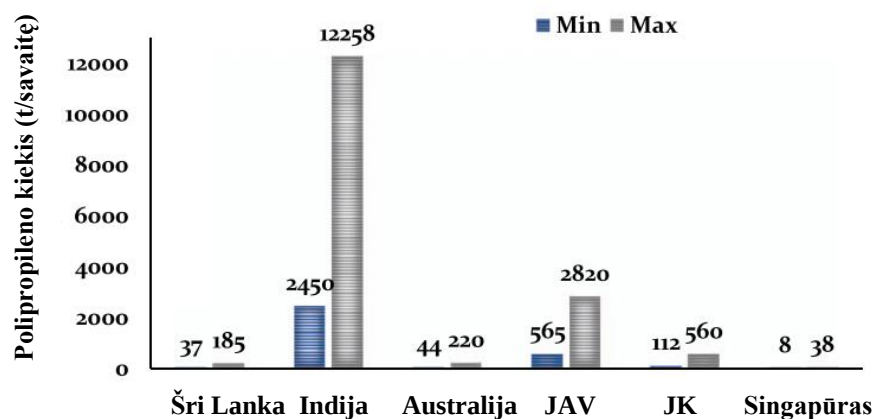
K. Selvaranjan'as (2020) tiria poveikį aplinkai, kurį sukėlė didesnis veido kaukių sunaudojimas pasaulyje, aprašo galimus sprendimus, siekiant sumažinti atliekų susidarymą [16]. Straipsnio autoriai atliko 1033 žmonių apklausą siekdami išsiaiškinti dažniausiai naudojamas veido kaukių rūšis ir kiek kaukių žmogus sunaudoja per vieną savaitę [16]. Nustatyta, kad apie 40 % tyrime dalyvavusių žmonių naudoja chirurgines kaukes, antroje vietoje pagal naudojimą yra medžiaginės kaukės (34 %), kurios šiuo metu dažniausiai yra siuvamos pačių žmonių ar smulkių įmonių, bet jų gamyba nėra paremta jokių standartu [16]. N95 respiratoriai yra ypač rekomenduojami PSO, nes suteikia didžiausią apsaugą iš visų kaukių, tačiau dėl gan aukštos kainos juos naudojo tik apie 9 % apklaustųjų [16]. Tyrime taip pat buvo bandoma nustatyti kiek kaukių panaudoja ir išmeta per savaitę vienas žmogus. Atsakymai skyrėsi priklausomai nuo kaukės rūšies, laiko tarpo kiek nešiojama viena kaukė, žmogaus higienos įpročių ir aplankytų vietų. Nustatyta, jog net 26 % apklaustųjų sunaudoja ir išmeta lauk daugiau nei penkias kaukes [16]. Apie 23 % apklaustųjų teigė, kad jiems prireikia tik vienos kaukės per savaitę [16].

Šio straipsnio autoriai taip pat rinko ir analizavo duomenis iš viso pasaulio, juos apibendrino, o 1 pav. pateikiamas kaukių atliekų kiekis, susidarantis įvairiose pasaulio šalyse [16]. Duomenys buvo apskaičiuoti, remiantis galimu minimaliu ir maksimaliu skaičiumi kaukių, sunaudojamu šalies populiacijos (žmonių nuo 16 iki 65 metų) per vieną savaitę [16]. 1 pav. pateikiami apibendrinti duomenys, kiek kaukių atliekų susidarė per savaitę Šri Lankoje, Indijoje, Australijoje, Singapūre, Jungtinėje Karalystėje ir JAV per intensyviausią pandemijos laikotarpį 2020 metų pavasarį ir vasarą [16]. Per pirmąją COVID-19 bangą daugumai šalių galiausiai nusprendus įvesti šalyje visuotinę karantiną ir izoliaciją, sumažėjo judėjimas šalyje transporto priemonėmis, vaikščiojimas gatvėse ir prekybos centruose ir tai galėjo nulemti mažesnę sunaudojimą veido kaukių [16]. Fiksuojant tokius skaičius išmetamų veido kaukių, neįkyla abejonių ir apie didesnę atliekų kiekio susidarymą, kurį nulėmė vienintelė priežastis – COVID-19 pandemija [16].



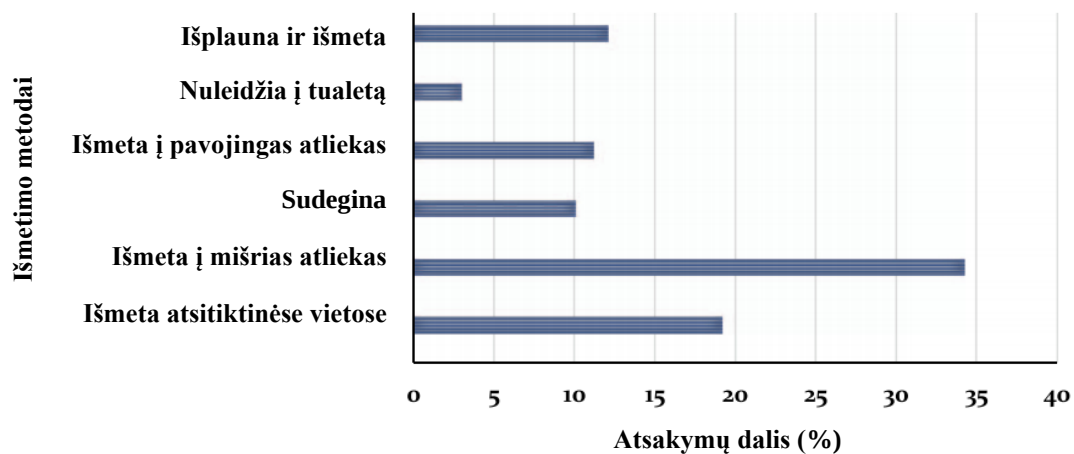
1 pav. Bendras išmetamų kaukių kiekis per savaitę skirtingose šalyse [16]

Taip pat autoriai savo tyrime bando apskaičiuoti galimą minimalų ir maksimalų polipropileno kiekį, esantį kaukėse ir išmetamą per savaitę skirtingose šalyse, remiantis išmetamų kaukių kiekiu (žr. 1 pav.) ir priimant, kad polipropilenas sudaro 4,5 g chirurginės kaukės ir 9 g N95 respiratoriaus [16]. 2 pav. atvaizduoti rezultatai parodo, kad net minimalūs kiekiai išmetamo lauk polipropileno gali siekti nuo keliasdešimt tonų per savaitę (kaip pavyzdžiui Šri Lankoje – 37 tonos per savaitę) iki kelių tūkstančių tonų per savaitę (kaip pavyzdžiui Indijoje – 2450 tonų per savaitę) [16]. Tai tik dar kartą įrodo, kad COVID-19 pandemija paveikia ne tik žmonių sveikatą ir šalies ekonomikas, bet ir padarys neigiamą įtaką aplinkai, ypač didelės problemos kils tose šalyse, kuriose susidaro didžiulis kiekis atliekų ir nėra jokios efektyvios sistemos joms tvarkyti [16].



2 pav. Apskaičiuotas polipropileno atliekų kiekis iš veido kaukių, susidarantis per savaitę [16]

Norint tinkamai suprasti poveikį aplinkai, ypač svarbu nustatyti kokiais būdais panaudotos kaukės yra atsikratomos, nes tik klinikų ir ligoninių biologiškai užterštų atliekų utilizavimas yra griežtai apibrėžtas ir kontroliuojamas, o likusi visuomenės dalis panaudotomis kaukėmis pasirūpina taip kaip patys jau nusprendžia [16]. Dėl šių priežasčių toje pačioje apklausoje autoriai įtraukė klausimą apie kaukių išmetimo būdus. 3 pav. atvaizduoti rezultatai parodo, kad net 34 % apklaustųjų kaukes išmeta į mišrias atliekas ir jų nerūšiuoja, o apie 18 % tiesiog išmeta atsitiktinėse vietose, gatvėse [16]. Ši dalis žmonių tampa atsakinga dėl neįrengtų atliekų didinimo aplinkoje ir jų atsiradimo sąvartynuose [16]. Atsiranda dalis (apie 10 %), kuri kaukes net degina ir taip prisideda prie oro taršos, išleisdama į aplinką degimo metu susidarantių pavojingų junginių [16].

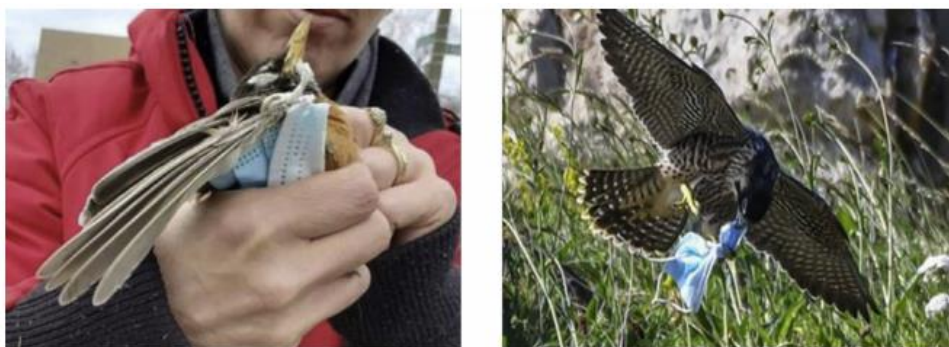


3 pav. Dažniausi veido kaukių išmetimo būdai [16]

Taigi pandemijai neatsitraukiant ir žmonėms toliau nesilaikant tinkamų būdų išmesti panaudotas kaukes, šios rūšies atliekų kiekis ateityje vis didės [16]. Dar reikia atsižvelgti ir į tai, kad tokiose šalyse ar dalyse jų regionų kaip Šri Lanka, Indija, Pakistanas ar Kinija nėra ištobulintos plastiko ar panaudotų kaukių surinkimo sistemos, kas ypač gali pabloginti situaciją visame pasaulyje, kai plastiko ir plastiko dalelių kiekis gamtoje tik dar labiau didėja [17]. Tokia situacija sukuria naują iššūkį aplinkosaugai [16]. Pati gamyba veido kaukių ir žaliavų kaukėms prisideda prie CO₂ emisijų didinimo: propileno gamybos procesas, aliuminio juostelių kaukėms gamyba ir polipropileno gamyba N95 respiratoriams ir chirurginėms veido kaukėms; audinių audimo, apdirbimo, dažymo ir medžiaginių kaukių siuvimo procesai. Apskaičiuota, kad respiratoriaus N95 gamyba išleidžia į aplinką 50 g CO₂-ekv/vienai kaukei, išskyrus transportavimo procesą; chirurginės kaukės gamyba prisideda prie CO₂ emisijų 59 g CO₂-ekv/vienai kaukei ir didžiausia dalis tenka šių kaukių transportavimui; medžiaginių kaukių gamyba išskiria į aplinką vidutiniškai 60 g CO₂-ekv/vienai kaukei, neįskaitant transportavimo [18]. Šie kiekiai tikrai turės svarią įtaką oro taršai, nes milijonai kaukių buvo pagaminta ir dar yra toliau gaminama, siekiant suvaldyti pandemiją [16]. Atlikti tyrimai Jungtinėje Karalystėje parodė, kad, jei vienas žmogus kiekvieną dieną panaudotų ir išmestų vieną chirurginę kaukę, tuomet būtų sugeneruojama daugiau nei 124 tūkst. tonų nerūšiuojamo plastiko atliekų, 66 tūkst. tonų užterštų biologiškai atliekų ir 57 tūkst. tonų plastikinių pakuočių [19]. Šiuo metu nėra sukurto centralizuoto tokio pobūdžio atliekų surinkimo iš gyventojų, todėl didžioji dalis kaukių patenka arba į mišrias atliekas, arba būna priskiriamos prie plastiko atliekų, arba tiesiog išmetamos gatvėse [16]. Iš ligoninių ir klinikų surinktos kaukės ir respiratoriai, kartu su kitomis AAP atliekomis yra gabenami deginimui [18]. Medicininių atliekų deginimui PSO rekomenduoja, kad tinkamiausios temperatūros yra 900–1200 °C, siekiant užtikrinti pilną medžiagų destruktiją [18]. Visgi, šis metodas nėra pats tinkamiausias, nes deginimo metu susidaro pavojingų junginių pėdsakų kaip dioksinų, furanų, kurie yra kenksmingi žmogaus ir gyvūnų sveikatai [18]. Transportavimas šių atliekų iš surinkimo taškų į tvarkymo vietą taip pat sunaudoja energiją ir į aplinką išskiria šiltnamio efektą sukeliančias dujas, kaip pavyzdžiui, 10 t polipropileno atliekų, kuriose taip pat yra veido kaukės, transportuojant 10 km iki reikiamo jų apdorojimo taško būtų išskiriama 2,75 kg CO₂ – ekv [16].

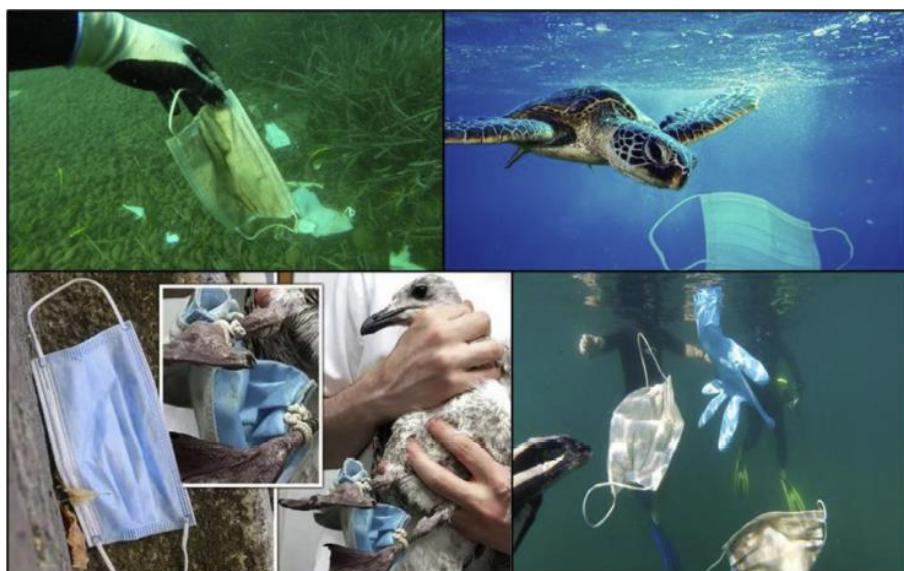
Veido kaukių atliekos, išmestos atsitiktinėse vietose, ne tik teršia dirvožemį, bet gali daryti tiesioginę žalą gyvūnams. Pavyzdžiui Kolumbijoje buvo užfiksuotas atvejis, kai paukštis įsipainiojo į išmestą veido kaukę ir mirė nepajėgdamas išsilaivinti, jai apsvyniojus aplink kūną ir snapą (žr. 4 pav.) [16].

Gana dažnai nutinka ir tai, kad kaukės būna sumaišomos su maistu ir jas prarijus plastikas užkemša virškinimo traktą, kitas maistas nebepatenka į organizmą ir gyvūnas miršta iš bado [16].



4 pav. Grėsmė paukščiams dėl netinkamo veido kaukių išmetimo [16]

Veido kaukių atliekos pakliūva į upes, o paskui į jūras, todėl vyksta tarša vandeninės terpės (žr. 5 pav.). Jūrose ir vandenynuose atsiduriančios plastiko atliekos adsorbuoja toksinus ir kitas organines medžiagas ir taip padeda susidaryti toksiškoms plėvelėms ant plastiko paviršiaus [20]. Jūrų gyvūnams, sumaišius atliekas su maistu ir prarijus jas, iškyla apsinuodijimo cheminėmis medžiagomis tikimybė, dėl to juos gali ištikti mirtis arba susilpnėję gali nebesugebėti savęs apginti nuo kitų grėsmių [10]. Nuryti plastiko gabalėliai gali sutrikdyti visas organizmo funkcijas, vėlgį sukelti mirtį iš bado, o įsipainiojimas į veido kaukių ar kitos rūšies plastiką taip pat gali pražudyti jūrų paukščius, vandens gyvūnus [10]. Dar viena problema kyla kai prasideda kaukes sudarančio plastiko makromolekulių irimas dėl fotodegradacijos ir atmosferos veiksnių į mikro plastikus [21]. Šie mikro plastikai patenka kartu su maistu į gyvūnų organizmus, kaip pavyzdžiui įvairios rūšies žuvų, kaupiasi juose kartu su sunkiaisiais metalais ir kitais patvariais organiniais teršalais, kurie gali adsorbuotis ant plastikų paviršių, ir per mitybos grandinę galiausiai patenka ir į žmonių organizmus [21].



5 pav. Grėsmės vandens gyvūnams ir paukščiams dėl netinkamai išmetamų plastikinių kaukių atliekų [22], [23]

1.4. Asmens apsaugos priemonių gamyba: naudojamos medžiagos ir technologijos

COVID-19 pandemijos laikotarpiu visuomenės daugiausiai naudojamos ir svarbiausios, siekiant suvaldyti užkrato plitimą, asmens apsaugos priemonės tapo įvairios veido kaukės, skydeliai ir vienkartinės pirštinės, bei dezinfekcinis skystis, kuris plačiai naudojamas prekybos vietose, darbo vietose ir ofisų patalpose, klinikose ir ligoninėse bei kitose viešose vietose [24]. Be to, nemaža dalis žmonių nešiojasi dezinfekcinį skystį su savimi, kad užtikrinti rankų švarą. Taip greitai išaugus paklausai, pasaulio gamintojai turėjo pradėti gaminti žymiai didesnius kiekius šių produktų, stengdamiesi atliepti atsiradusį jų poreikį, o padidėjusios gamybos apimtys reiškia didesnę žaliavų ir energijos sunaudojimą, kuris taip pat turi įtakos aplinkai [24].

1.4.1. Dezinfekcinio skysčio gamyba

Dezinfekavimo skysčio gamintojai, kurie stengiasi gaminti kokybišką produktą, remiasi Pasaulio Sveikatos Organizacijos pateiktomis gairėmis ar kitų atsakingų tarnybų nurodytais reikalavimais. Vienas pagrindinių reikalavimų yra tai, kad veiksminga rankų dezinfekavimo priemonė savo sudėtyje turi turėti ne mažiau kaip 60 % alkoholio [25].

Rankų dezinfekavimo priemonių sudėtyje kaip aktyvieji ingredientai dažniausiai yra naudojami etanolis ir izopropanolis [25]. Šios cheminės medžiagos, naudojamos kaip žaliavos, turi būti ganėtinai aukštos koncentracijos, nemažiau 96 %, tam, kad užtikrinti pakankamą aktyviųjų komponentų koncentraciją galutiname produkte, kai jos yra sumaišomos su likusiais ingredientais [25]. Kaip papildomi priedai gali būti: vandenilio peroksidas 3 %, kuris yra naudojamas deaktyvuoti bakterijų sporoms, kurios gali užteršti tirpalą, bet tai nėra aktyvioji medžiaga rankų dezinfekcijai; 98 % grynumo glicerolis, naudojamas kaip drėkinančioji medžiaga, tačiau būna naudojamos ir kitos odą drėkinančios medžiagos, svarbu atsižvelgti, kad jos būtų nebrangios, netoksiškos, lengvai prieinamos, gerai maišytųsi su vandeniu ir alkoholiu ir nekeltų alergijų; sterilus distiliuotas vanduo [25]. Visi kiti priedai kaip dažai, pridedami kad atskirti produktą nuo kitų skysčių, ar kvapiosios medžiagos negali būti toksiški, kelti alergijas ar reaguoti su tirpale esančiomis medžiagomis [25]. Šių priedų naudojimas nėra rekomenduojamas dėl galimų nepageidaujamų poveikių, bet jei jų yra sudėtyje, tai turi būti aiškiai pažymėta ant etiketės [25]. Gamintojai, kurie siekia pagaminti gelio konsistencijos produktą, naudoja dar papildomą medžiagą karbopolį [25].

Gamybos procesas nėra sudėtingas, svarbiausia efektyvus ir pilnas sudedamųjų medžiagų išmaišymas, kuris yra atliekamas maišymo įrenginiuose (žr. 6 pav.), kuriuose galima esamuoju metu stebėti gaminio parametrus, tiekti tiek birias, tiek skystas medžiagas ir užtikrinti gerą išmaišymą [25]. Galima išskirti keturis pagrindinius žingsnius:

1. vanduo ir karbopolis yra išmaišomi iki klampaus gelio. Norint išgauti mišinį be konglomeratų, svarbu užtikrinti, kad maišant būtų išvengta aeracijos;
2. antroje maišymo stadijoje yra pridedamas reikalingas kiekis alkoholio ir toliau vykdomas maišymas, kol susidaro vienodos konsistencijos produktas, o alkoholio koncentracija atskiedžiama iki numatytos pagal tiekiamų produktų santykį;
3. trietanolaminas gali būti pridedamas siekiant sureguliuoti mišinio pH, kad nedirgintų odos;
4. galiausiai pridedamos odą drėkinančios medžiagos (glicerolis) ir kiti konservantai (vandenilio peroksidas), priklausomai nuo numatytos produkto sudėties [25].

Gaminant gelinės konsistencijos dezinfekantą ir norint išgauti tolygios konsistencijos mišinį yra naudojamos greitaeigės maišyklės [26]. Didelės šlyties maišyklės mentės užtikrins karbopolio dispersiją į skystį ir apsaugos nuo aeracijos [26]. Oro burbuliukai patekę į gelio mišinį sukelia drumstumą ir gali pakenkti tolimesnei išpilstymo į tarą stadijai [26]. Naudojant automatines išpilstymo mašinas, produktas yra išdalinamas į buteliukus ar kitą tarą ir paskui sandariai uždaromas, užklijuojamos etiketės [26].



6 pav. Maišymo įrenginys, naudojamas dezinfekcinių skysčių/gelių gamybai [26]

1.4.2. Vienkartinių pirštinių gamyba

Yra išskiriamos keturios pagrindinės vienkartinių pirštinių rūšys, kurios naudojamos medicinos srityje [27]. Tai būtų lateksinės, nitrilinės, polivinilchlorido (dažniausiai vadinamos vinilinėmis) ir polichloropreno (dažniausiai vadinamo neoprenu) pirštinės [27]. Medicininės pirštinės gali turėti tam tikrą polimerinę dangą ar būti specifiškai apdorotos, bet negali būti apibarstytos jokiais milteliais [27]. Visų jų gamybos būdas yra ganėtinai panašus, skiriasi tik žaliavinės medžiagos [27].

Lateksinės pirštinės yra gaminamos iš natūralaus kaučiuko [27]. Iš kaučiukmedžio išgautos sultys yra išlaikomos tam tikrą laiką su amoniaku, tuomet sukonzentruojamos atskiriant vandenį ir išvalomos nuo kitų priemaišų [27]. Po sumaišymo su papildomais reikalingais reagentais, lateksas jau yra paruoštas pirštinių gamybai [27]. Iš visų pirštinių rūšių lateksinės yra elastingiausios ir patvariausios, biologiškai skaidžios ir geriausiai apsaugo nuo virusų ir bakterijų prasiskverbimo [27]. Vis dėl to, kai kurie žmonės yra alergiški lateksui, o kai kuriems alergija gali išsivystyti pastoviai kontaktuojant su šia medžiaga [27]. Vinilinės vienkartinės pirštinės yra pagamintos iš polivinilchlorido (PVC) ir plastifikatorių, kurie suteikia medžiagai elastingumą [28]. Šios rūšies pirštinės yra pačios pigiausios, nesuteikia aukšto lygio apsaugos, todėl daugiausiai naudojamos situacijose, kuriose nereikalinga didelė apsauga nuo kenksmingų mikroorganizmų [28]. Nitrilinės pirštinės yra gaminamos iš kopolimero – nitrilo butadieno kaučiuko [28]. Šis polimerinė medžiaga yra gaunama akrilnitrilo ir butadieno kopolimerizacijos proceso metu [28]. Nitrilinės pirštinės yra stipresnės ir patogesnės dėvėti nei lateksinės, geriau priglunda nei vinilinės, bei apsaugo nuo cheminių medžiagų ir virusų [28]. Neopreninės pirštinės yra pagamintos iš polichloropreno (chloropreno kaučiuko) [27]. Iš šios

medžiagos pagamintos pirštinės nėra labai dažnai naudojamos, bet gerai priglunda prie rankų, yra patvarios, nealergizuoja ir gerai apsaugo nuo cheminių medžiagų ir kūno skysčių [27].

Visų rūšių pirštinių gamybai visų pirma turi būti paruošiami rankos formos keramikiniai ar aliumininiai šablonai ir pritvirtinami ant konvejerio (žr. 7 pav.) [27]. Šie šablonai būna panardinami į talpas su karštu chloruotu vandeniu ir paskui išdžiovinami [27]. Toks paruošimas padeda nuplauti medžiagų likučius nuo šablonų, likusius iš ankstesnių partijų [27]. Toliau šablonai yra panardinami į kalcio nitrato, kuris sukelia kaučiuko koaguliaciją, ir kalcio karbonato, kuris neleidžia pirštinės visiškai prilipti prie šablono, mišinį. Išdžiovinus šablonus, jie yra panardinami į rezervuarus su reikalinga medžiaga: lateksu, nitrilo butadieniu kaučiuku ar polivinilchloridu [27]. Toliau procesas pradeda skirtis, priklausomai nuo to iš kokios medžiagos gaminamos pirštinės [27].

Latekso pirštinių storį nulemia laiko trukmė, kurią šablonai išbūna įmerkti į rezervuarą [27]. Ištraukus formas, jas pradeda sukti, o paskui yra pakartojamas plovimas karštame chloruotame vandenyje [27]. Šis procesas padeda pašalinti latekso perteklių ir kitas pridėtines medžiagas [27]. Tuomet formos yra džiovinamos ir vykdoma vulkanizacija [27]. Atlikus antrą plovimą, kurio metu pašalinamas visas likęs lateksas, pirštinės praeina seriją besisukančių šepečių, kurie suformuoja pirštinių rankogalius [27]. Pirštinės nuo šablonų nuimamos oro srovės pagalba ir tuomet yra tiekiamos pakavimui [27].

Nitrilinių ir vinilinių pirštinių gamyboje šablonai lygiai taip pat yra nardinami į rezervuarą, pripildytą reikalingos medžiagos, paskui yra vykdoma vulkanizacija ir džiovinimas [28]. Po to pirštinės gali būti papildomai apdorojamos, siekiant pagerinti jų savybes kaip, pavyzdžiui, slydimą užsidedant ar nusiimant [28]. Chloravimo metu, paveikiant pirštines chloru, jos tampa tvirtesnės ir slidesnės, o paviršiaus padengimas polimerine danga taip pat gali suteikti geresnį slydimą [28]. Baigus šią stadiją, pirštinės yra nuimamos nuo šablonų rankiniu būdu, nes yra storesnės nei lateksinės, ir tuomet tiekiamos pakavimui [28].



7 pav. Lateksinių pirštinių gamyba [27]

1.4.3. Apsauginių veido kaukių gamyba

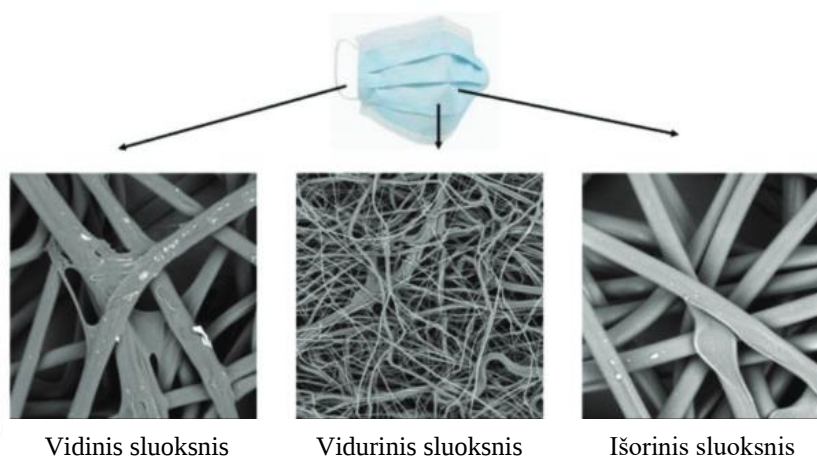
Kaukes galima skirstyti atsižvelgiant į jų porų dydį ir į dalelių dydį, kurias kaukė gali išfiltruoti [29]. Kaukės apsaugančios nuo dulkių yra vienkartinės, pasižymi lankstumu ir geba apsaugoti nuo dulkių, pelėsių, žiedadulkių, bet neapsaugo nuo virusų (8 pav.) [29]. Taip pat galima išskirti vienkartinio

naudojimo kaukės, kurios yra pagamintos iš vieno sluoksnio neaustinio audinio arba iš popieriaus sluoksnio ir yra labai plonos [29]. Tokios kaukės gali apsaugoti tik nuo stambių dulkių dalelių [29].



8 pav. Nuo dulkių apsauganti kaukė [29]

Chirurginės kaukės gali būti apibūdinamos kaip neaptempti, vienkartinio naudojimo produktai, sukuriantys fizinį barjerą tarp žmogaus burnos, nosies ir aplinkoje esančių kenksmingų teršalų ar mikroorganizmų [29]. Chirurginės kaukės yra sudarytos iš 3 sluoksnių (9 pav.) [29]. Vidinis sluoksnis yra pagamintas iš medžiagos, kuri absorbuoja drėgmę, iškvepiamą žmogaus [29]. Vidurinis sluoksnis atlieka filtravimo funkciją, o išorinis medžiagos sluoksnis yra hidrofobinis ir neleidžia kaukei peršlapti [29]. Chirurginė kaukė skirta užkirsti kelią didelėms dalelėms, purslams ar aerozoliams didesniems nei 100 mm patekti į žmogaus nosį ar burną [29]. Šios kaukės taip pat padeda sumažinti paties dėvinčiojo kaukę seilių ir kvėpavimo takų sekreto plitimą aplinkoje [29]. Visgi, chirurginės kaukės negali sulaikyti labai smulkių dalelių (nm dydžio) įkvepiamų iš oro, todėl nesuteikia patikimos apsaugos nuo virusų ar kitų teršalų [29].

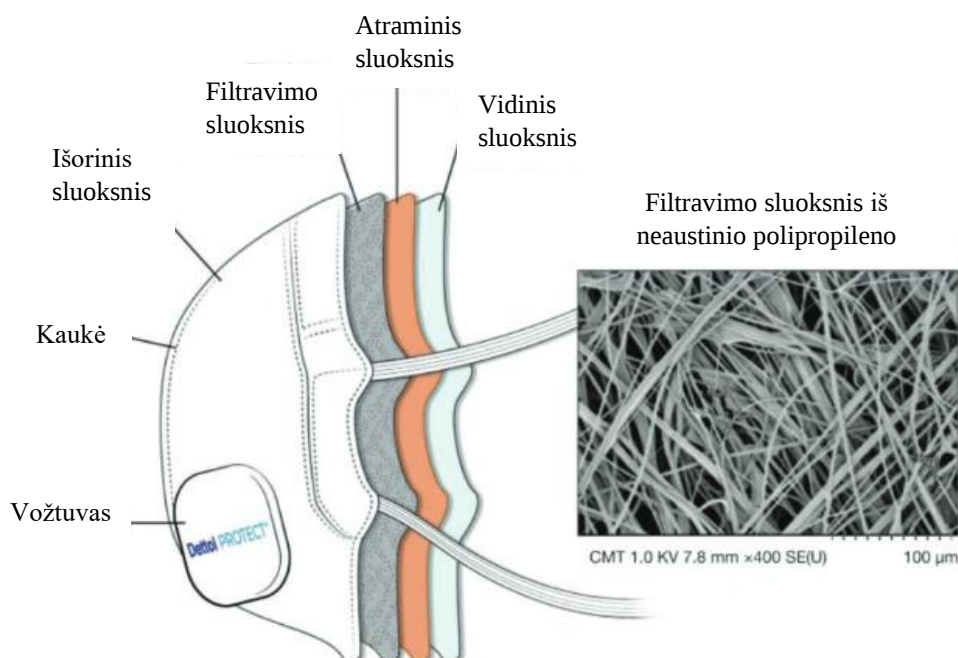


9 pav. Chirurginė kaukė ir trys jos sluoksniai [29]

N95 respiratorius – tai asmeninė apsaugos priemonė, sukurta taip, kad labai gerai priglustų prie veido ir efektyviai filtruotų įkvepiamo oro srautą, nepraleidžiant cheminių medžiagų ar pavojingų dalelių, įskaitant ir virusus, bakterijas [29]. N tipo respiratoriai nėra atsparūs aliejinėms medžiagoms ir yra klasifikuojami į N95, N99 ir N100 [29]. N95 respiratorius gali išfiltruoti mažiausiai 95 % dalelių, kurios yra didesnės nei 0,3 μm , o N99 respiratorius gali išfiltruoti mažiausiai 99 % tokių dalelių [29]. Respiratorių sudaro milijonai polipropileno mikropluoštų, kurie yra susluoksniuoti vienas ant kito ir

elektrostatiskai įkrauti [29]. Šis elektrinis krūvis yra būtinas tam, kad išlaikyti respiratoriaus filtruojančias savybes [29]. Respiratoriai yra efektyvūs filtruojant COVID-19 virusą [29].

Alternatyvus būdas, siekiant padidinti vartotojo komfortą ir sumažinti poveikį sveikatai, yra vožtuvų įrengimas filtruojančiame paviršiuje [30]. Vožtuvas padidina iškvepiamų dujų srautą iš kaukės, bet neleidžia orui patekti į kaukę per vožtuvą, taip užtikrinant efektyvų viso oro srauto filtravimą [30]. Respiratoriaus filtruojanti medžiaga yra sudaryta iš hidrofobinio neaustinio polipropileno išorinio sluoksnio, kuris apsaugo kaukę nuo drėgmės [30]. Filtruojantį sluoksnį sudaro išlydytas neaustinis polipropileno sluoksnis, kuris sulaiko nealiejinio pagrindo daleles [30]. Sekantis sluoksnis yra modakrilo atraminis sluoksnis, kuris suteikia tvirtumo ir prideda storio kaukei [30]. Vidinis sluoksnis taip pat sudarytas iš hidrofobinio neaustinio polipropileno, kuris sumažina patenkantį į kaukę drėgmės kiekį [30]. Drėgmė daro neigiamą įtaką filtravimo efektyvumui, todėl vienkartinio naudojimo kaukės turi būti periodiškai keičiamos [30]. 10 pav. esantis schema parodo visus keturis respiratoriaus sluoksnius [30].



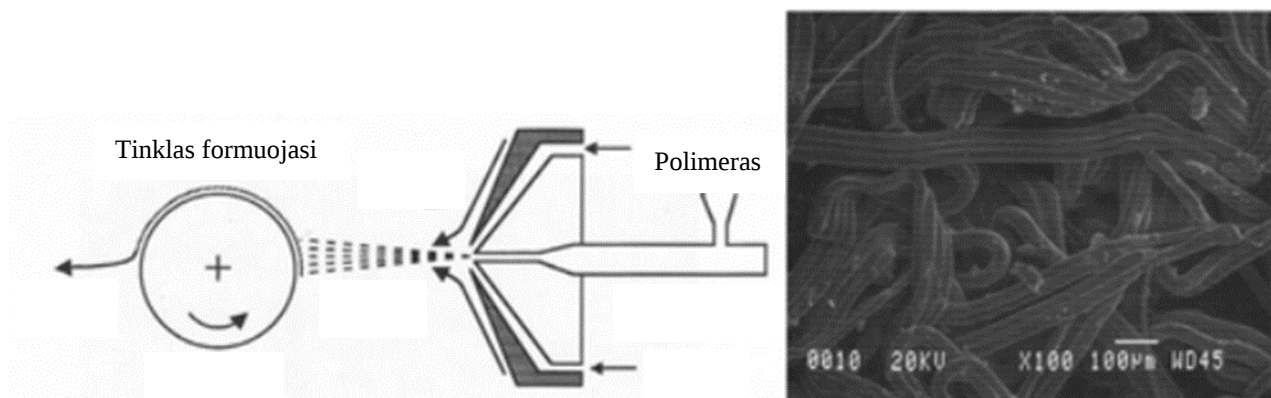
10 pav. Respiratorių sudarantys sluoksniai [30]

Natūralus atsitiktinis pluoštų išsidėstymas padidina tikimybę, kad dalelės užstrigs tarpeliuose tarp pluoštų [29]. Taigi, kaukės filtravimo efektyvumas priklauso nuo pluošto tipo, gamybos būdo, tinklo struktūros ir pluošto skerspjūvio [29]. Medicininės kaukės dažniausiai yra gaminamos iš neaustinės medžiagos, nes tokia medžiaga gali suteikti geresnį filtravimo efektyvumą, negu austa arba nerta [29]. Taip yra dėl to, kad neaustinės medžiagos pluoštai yra išsidėstę atsitiktinai ir pasižymi tridimensine struktūra, kuri užtikrina efektyvesnį dalelių sulaikymą [29]. Pagrindiniai metodai, skirti gaminti neaustinę medžiagą kaukių gamybai, yra lydalo išpūtimo būdas, verpimas ir elektro-verpimas [31].

1.4.3.1. Lydalo išpūtimo būdas

Šiame procese didelio greičio oras pučia išlydytą termoplastinę dervą iš ekstruderio per šimtus mažų purkštukų ant konvejerio arba paėmimo sieto, kad susidarytų smulkus pluoštinis ir savaime susijungiantis medžiagos sluoksnis [32]. Gautas pluoštas yra santykinai mažo skersmens (1–5 μm),

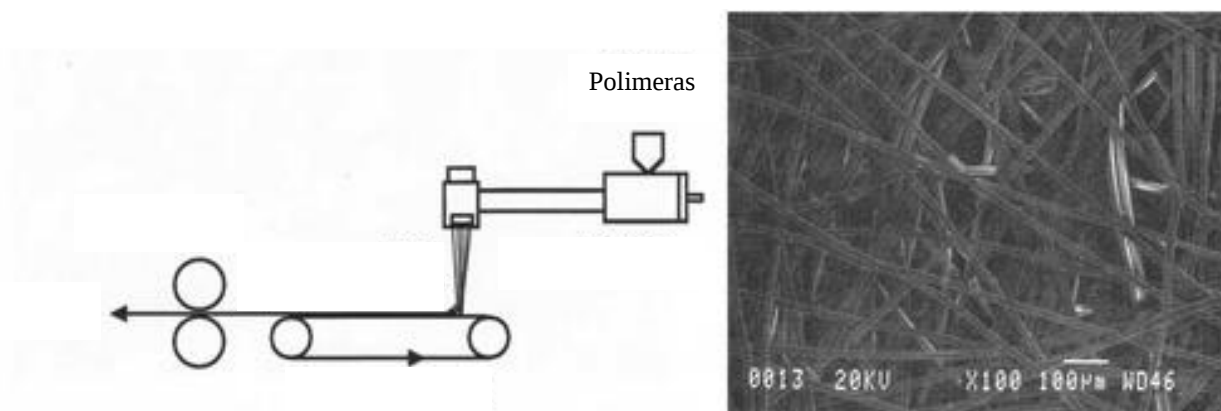
todėl neaustinės medžiagos porų dydis yra ypač mažas, todėl ji puikiai tinka atlikti oro filtravimo funkciją [32]. Filtravimo efektyvumas, oro drėgmės sorbcijos pajėgumas ir higieninis komfortas gali būti pagerinti į išlydytus polimerinius pluoštus įvedant elektrostatinis krūvius ir absorbuojantį polimerą [32].



11 pav. Schematiškas išlydymo – pūtimo proceso atvaizdavimas ir gaunamos neaustinės medžiagos struktūra [32]

1.4.3.2. Verpimas

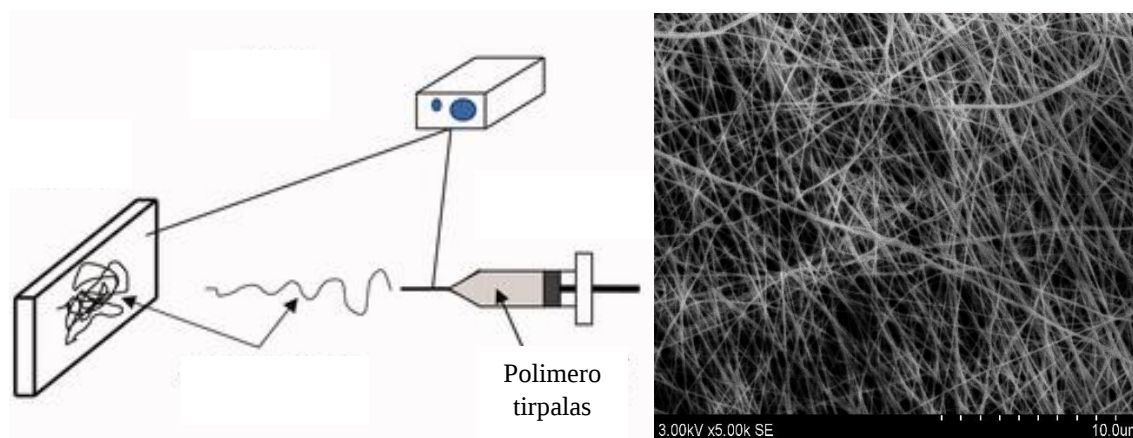
Verpimo procese išlydytas polimeras iš ekstruderio yra išspaudžiamas ant konvejerio juostos (žr. 12 pav.). Polimero drožlės tiekiamos į ekstruderį, kuriame yra besisukantis sraigtas kaitinamoje aplinkoje, kur polimero drožlės sumaišomos, išlydomos ir stumiamos per šampą, kuris suteikia pluoštams vienodą ploną formą ir gali atlaikyti aukštą temperatūrą. Susukti pluoštai aušinami vėsiu oru, o po to surenkami ant konvejerio juostos ir toliau sujungiami karščiu, cheminėmis arba mechaninėmis priemonėmis, kad būtų suformuota susukta neaustinė medžiaga, tada vyniotuvu audinys suvyniojamas į ritinį. Gauta neaustinė medžiaga turi atsitiktinę pluoštinę struktūrą, kurios bazinis svoris svyruoja nuo 5 iki 800 g/m², juostos storis svyruoja nuo 0,1 iki 4,0 mm, o pluošto skersmuo - nuo 1 iki 50 µm. Sumažėjus pluošto skersmeniui, audinio porų dydis mažėja; dėl to pluoštai pasiskirsto tolygiau, o tai padidina filtravimo efektyvumą [32].



12 pav. Schematiškas verpimo proceso atvaizdavimas ir gaunamos neaustinės medžiagos struktūra [32]

1.4.3.3. Elektro-verpimas

Elektro-verpimas yra procesas, kurio metu polimero tirpalas yra leidžiamas per elektrinį lauką (žr. 13 pav.). Kai tirpalas eina per elektromagnetinį lauką, jis plonėja ir nusėda ant plokštelės, todėl susidaro nanopluoštinis neaustinis tinklas. Elektro-verpimo metu purkštukas yra įkrautas teigiamu krūviu, o kolektorius – neigiamu. Įkrauta polimero srovė yra išspaudžiama per antgalį ir traukiama veikiant elektrostatinei jėgai. Srovei išibėgėjant ir plonėjant elektriniame lauke, dėl radialinio krūvio atstūmimo pirminė srovė suskaidoma į keletą gijų, vadinamą „išsiliejimu“, gaminant polimerinius nanopluoštus, kurie yra įsielektrinę ir surenkami ant kolektorių. Galutinį pluošto dydį pirmiausia lemia susidariusių papildomų srovių skaičius. Vidutinis pluoštų skersmuo svyruoja nuo 100 nm iki 500 nm [32].



13 pav. Schematiškas elektro-verpimo proceso atvaizdavimas ir gaunamos neaustinės medžiagos struktūra [32]

Šis metodas taip pat buvo panaudotas kuriant naują alternatyvą veido kaukių rinkoje – permatomą kompozitinę kaukę. Šios kaukės dizaino kūrimas yra dar tobulinimo stadijoje ir ji nėra gaminama masiškai. Kaukė gaminama iš poliamido 6 ir silikoninių nosies spaustukų. Ši kaukė galėtų būti naudojama visuomenės siekiant ne tik apsisaugoti nuo užsikrėtimo virusu, bet ir pagerintų žmonių socialinį bendravimą, suteikdama komfortą matyti per kaukę savo pašnekovo veidą (14 pav.).



14 pav. Permatoma kompozitinė kaukė

1.5. Veido kaukių poveikio aplinkai vertinimas

Norint apibūdinti ir įvertinti pandemijos laikotarpiu pagamintų ir išmestų apsauginių veido kaukių įtaką aplinkai galima naudoti vieną iš svarbiausių poveikį aplinkai įvertinančių įrankių – būvio ciklo vertinimo metodiką. Ši metodika dar kartais vadinama būvio ciklo analize arba nuo lopšio iki karsto analize ir yra skirta įvertinti poveikį aplinkai, susijusį su visomis produkto gyvavimo stadijomis (pradedant žaliavinių medžiagų išgavimu, gamyba, paskirstymu, naudojimu ir galiausiai išmetimu) [33]. Būvio ciklo vertinimo metodika turi konkrečią struktūrą ir yra atliekama pagal tarptautinį standartą ISO 14040 [33]. Neigiama veido kaukių ir kitų asmens apsaugos priemonių įtaka aplinkai tampa vis aktualesnė problema, kurią pastebi, nagrinėja ir stengiasi padėti spręsti mokslo ir technologijų srities specialistai.

N. B. Rodriguez'as (2021) lygino penkių skirtingų veido kaukių poveikį aplinkai: 3D atspausdintos daugkartinio naudojimo kaukės su filtru, chirurginės kaukės, skirtingų rūšių respiratorių – FFPs su arba be vožtuvo ir plaunamos medžiaginės daugkartinio naudojimo kaukės [14]. Vertinime buvo įtrauktas visas kaukės būvio ciklas: žaliavinių medžiagų gamyba, kaukių gamybos procesas, naudojimas, dezinfekavimas ir išmetimas [14]. Poveikio aplinkai nustatymui buvo naudojama būvio ciklo vertinimo metodika [14]. Buvo nagrinėjama 15 skirtingų poveikio kategorijų kaip, pavyzdžiui, globalinio atšilimo potencialas, nekancerogeninio toksiškumo žmonėms potencialas, jūrų ekotoksiškumo potencialas, gėlų vandenų ekotoksiškumo potencialas, stratosferos ozono sluoksnio irimo potencialas, žemės naudojimo potencialas ir kt [14]. Esminė išvada – daugkartinio naudojimo kaukės ir kaukės su keičiamu filtru potencialiai gali padėti sumažinti neigiamą poveikį aplinkai tiek poveikio, tiek žalos kategorijose [14]. Eko dizaino idėjos galėtų būti toliau vystomos, remiantis šių studijų rezultatais [14].

H. Kumar'as (2020) lygina asmens svarbiausių apsaugos priemonių rinkinio poveikį aplinkai, esant dviem jų išmetimo po panaudojimo scenarijams: išmetimo į sąvartyną arba deginimo (abiems atvejais centralizuotai ir necentralizuotai) [24]. Įvertinimui naudojama būvio ciklo vertinimo metodika ir yra pasirenkamos šešios poveikio aplinkai kategorijos: klimato kaitos potencialas, toksiškumo žmogui potencialas, eutrofikacijos potencialas, rūgštingumo potencialas, gėlų vandenų ekotoksiškumo potencialas ir fotocheminio ozono sluoksnio irimo potencialas [24]. Atlikus būvio ciklo vertinimą, buvo padarytos kelios pagrindinės išvados. Atsižvelgiant į tai kas dažniausiai sudaro AAP rinkinį, polipropileno kostiumo išmetimas turi didžiausią įtaką globalinio atšilimo potencialui, paskui seka pirštinės, akiniai [24]. Metalinių juostelių naudojimas veido kaukėse turi didžiausią įtaką toksiškumo žmogui potencialui [24]. Atliekų deginimo procesas (centralizuotas- 3816 kg CO₂ ekv. ir necentralizuotas – 3813 kg CO₂ ekv.) turi aukštą poveikį globalinio atšilimo potencialui, tačiau žymiai mažesnį poveikį rūgštingumo potencialui, eutrofikacijos potencialui, gėlų vandenų ekotoksiškumo potencialui, fotocheminio ozono sluoksnio irimo potencialui ir toksiškumo žmogui potencialui, palyginus su išmetimu į sąvartyną [24]. Gautus rezultatus apibendrinant, išmetimas į sąvartynus turi žymiai didesnę įtaką nei atliekų deginimas [24]. Taip pat nustatyta, kad necentralizuotas deginimas yra geresnis pasirinkimas aplinkosauginiu požiūriu tarp visų poveikio kategorijų, nes poveikis aplinkai yra pakankamai didelis dėl transportavimo ir negali būti laikomas nereikšmingu, ypač esant dideliems atstumams [24].

M. Schmutz'as (2020) atliko supaprastintą būvio ciklo vertinimą, siekiant palyginti chirurginės kaukės ir dviejų sluoksnių medvilninės kaukės įtaką aplinkai [15]. Tyrimų tikslas buvo identifikuoti ir išnagrinėti svarbius ekologinius faktorius, kurie galėtų padėti rasti būdų kaip medžiaginių kaukių

gamybą paversti tvaresne [15]. Supaprastinto būvio ciklo vertinimo rezultatai parodė, kad abiejų rūšių kaukių anglies pėdsakas yra panašaus dydžio [15]. Chirurginių kaukių gamyba reikalauja didesnio neatsinaujinančių energijos išteklių kiekio, bet jų gamyba pasižymi žymiai mažesniu vandens pėdsaku, lyginant su medvilninių kaukių gamyba [15]. Taip pat buvo nustatyta, kad medvilninių kaukių gyvavimo trukmė ir svoris yra du pagrindiniai kintamieji, nulemiantys poveikį aplinkai [15].

B. van Straten'as (2020) atliko vienkartinio ir po naudojimo išmetamo respiratoriaus ir vienkartinio ir po naudojimo perdirbamo respiratoriaus būvio ciklo vertinimą, siekiant palyginti jų poveikį aplinkai [12]. Tyrime buvo vertinamos 18 poveikio kategorijų tokių kaip klimato kaitos potencialas, iškastinių išteklių trūkumo potencialas, eutrofikacijos potencialas, kancerogeninio poveikio žmogui potencialas, toksiškumas vandens organizmams, stratosferos ozono irimas ir kt. [12]. Išvadose autoriai teigia, kad respiratorių perdirbimas turi mažesnę poveikį aplinkai CO₂ susidarymo ir vandens sunaudojimo atžvilgiu, lyginant su naujų respiratorių gamyba [12].

Atlikti autorių tyrimai parodo, kad būvio ciklo vertinimas gali būti atliekamas, ne tik siekiant įvertinti konkretaus produkto poveikį aplinkai, bet ir suteikia galimybę lyginti kelias alternatyvas, ieškoti geriausio sprendimo.

1.6 Teorinės darbo dalies apibendrinimas

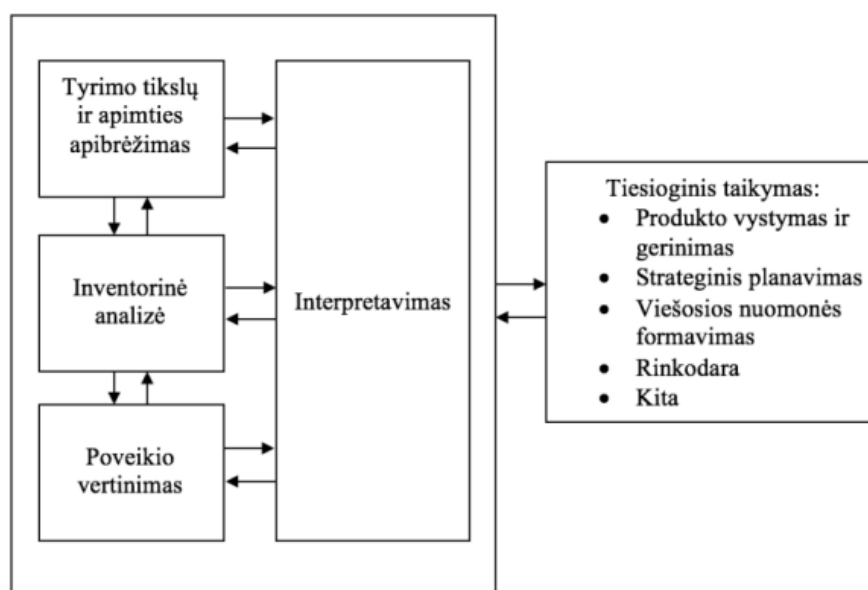
COVID-19 pandemijai nepasitraukiant, veido apsaugos priemonių naudojimas tiek sveikatos priežiūros įstaigose, tiek viešose vietose lieka svarbus veiksnys, siekiant valdyti ligos plitimą. Veido kaukių naudojimo apimtys skirtingose šalyse bei skirtingu metų laikotarpiu gali būti skirtingos, tačiau jų paklausa išlieka. Pagal ankstesniuose skyriuose apžvelgtą informaciją galima teigti, kad jų gamyba ir išmetimas daro ženklų poveikį aplinkai, kurio mastą ne taip paprasta suvokti ir apibūdinti, ir dar labiau didina plastiko produktų gamybos ir išmetimo apimtis. Baigiamajame projekte, naudojant būvio ciklo vertinimo metodiką, pasirinkta įvertinti trijų populiariausių veido apsaugos priemonių (medicininės kaukės, respiratorių FFP1 ir FFP2) poveikį gamtai ir žmogui, bei tuo pačiu palyginti naujos, rinkoje dar nepasirodžiusios alternatyvos – permatomos kompozitinės veido kaukės – poveikį aplinkai, tikintis, kad ši alternatyva galėtų suteikti ne tik efektyvią apsaugą nuo užkrato, bet ir darytų mažesnę poveikį aplinkai nei konkurencingi produktai, bei pagerintų bendravimo kokybę tarp žmonių. Atikus palyginamąjį būvio ciklo vertinimą, bus galima pateikti išvadas, kuris iš analizuojamų produktų sukelia mažesnę poveikį aplinkai.

2. Tyrimų metodika

2.1 Būvio ciklo vertinimas

Būvio ciklo vertinimas yra metodologija, leidžianti nustatyti potencialų poveikį aplinkai ir jos ištekliams per visą produkto gyvavimo laikotarpį, t. y. nuo žaliavų paruošimo iki susidariusių atliekų apdorojimo. Būvio ciklo vertinimas yra atliekamas pagal LST EN ISO 14044:2007 standartą ir yra skirstomas į keturis pagrindinius etapus:

1. tyrimo tikslų ir apimties apibrėžimas;
2. būvio ciklo inventorinė analizė;
3. būvio ciklo poveikio vertinimas;
4. rezultatų interpretavimas [34].



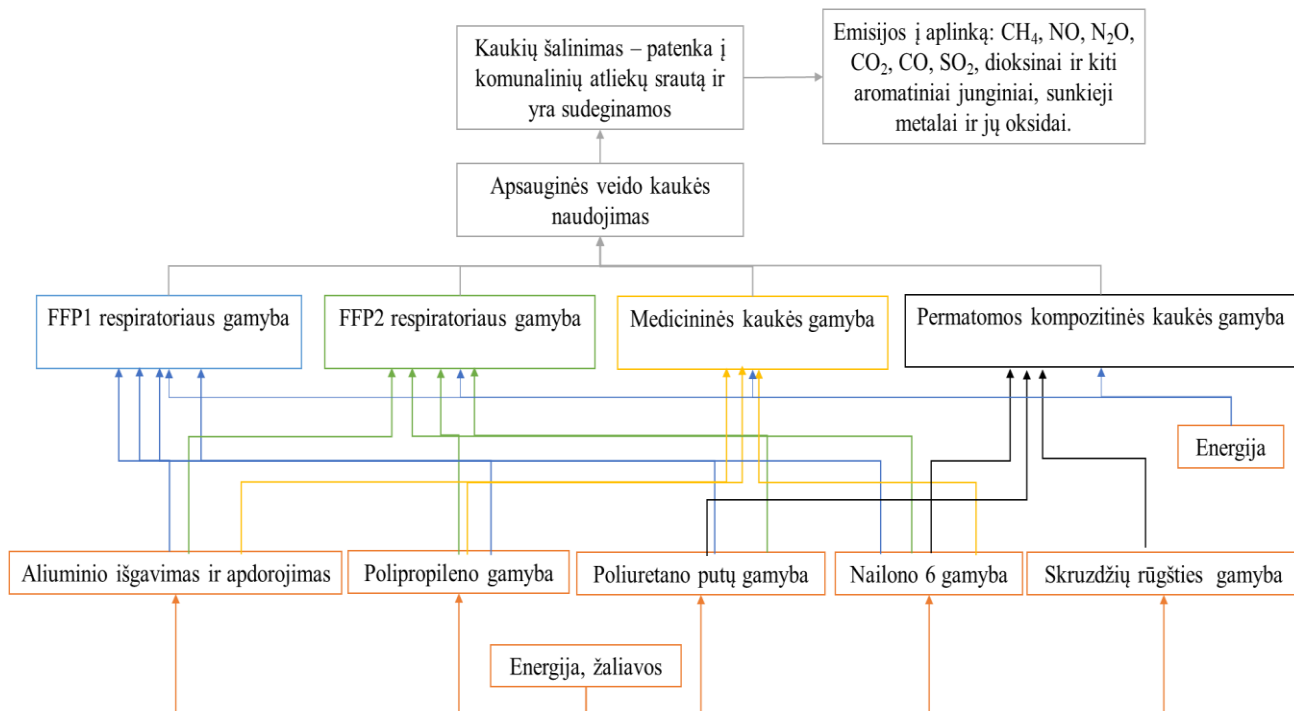
15 pav. Būvio ciklo vertinimo struktūra (pagal standartą LST EN ISO 14044:2007) [34]

2.1.1. Tyrimo tikslų ir apimties apibrėžimas

Pirmajame etape yra apibrėžiamas pagrindinis atliekamos poveikio aplinkai analizės tikslas, funkcinis vienetas, kuris yra reikalingas norint atlikti palyginimą tarp skirtingų alternatyvų, ir sistemos ribos, kuriose bus atliekamas palyginimas.

Šio projekto tikslas yra atlikti apsauginių veido kaukių būvio ciklo vertinimą ir palyginti jų poveikį aplinkai. Funkcinis vienetas yra vienos rūšies kaukių skaičius žmogui, kurio reikės, kad užtikrinti 70 – 95 % apsaugą nuo viruso 12 valandų. Projekte bus vertinami ir lyginami medicininė kaukė (3 vnt.), FFP1 (1 vnt.) ir FFP2 (1 vnt.) respiratoriai ir kompozitinė permatoma kaukė (1 vnt.) kaip nauja alternatyva, kuri šiuo metu yra dar tyrimų stadijoje. Atitinkami sunaudojamų kaukių kiekiai 12 valandų priimti pagal galiojančias rekomendacijas, kai patariama medicininę kaukę keisti ne rečiau kaip kas 4 valandas, o respiratorius kas 12 valandų arba kai sudrėksta ar susitepa.

Būvio ciklo vertinimo sistemos ribos apims visą apsauginių veido kaukių gyvavimo ciklą, pradedant nuo žaliavinių medžiagų išgavimo, gamybos ir baigiant produkto šalinimu jį panaudojus. Nebus vertinamas analizuojamų produktų (veido kaukių) pakavimas ir transportavimas į prekybos vietas.



16 pav. Medicininių kaukių, FFP1/FFP2 respiratorių ir permatomos kompozitinės kaukės būvio ciklo vertinimo sistemos ribos

Priimama, kad panaudotos apsauginės veido kaukės yra deginamos. Degant komunalinėms atliekoms, į aplinką išsiskiria įvairios medžiagos iš kurių kaip pagrindines galima išskirti: metaną, azoto oksidus, sieros oksidus, anglies dioksidą ir monoksidą, sunkiuosius metalus ir jų junginius bei ypač pavojingus sveikatai dioksinus ir kitus aromatinius junginius [35][36][37]. Apsauginių veido kaukių žaliavų gamybos procesų ir komunalinių atliekų deginimo proceso duomenys rinkti iš „SimaPo 9.0“ programinės įrangos duomenų bazės, todėl prie inventorinių duomenų analizės nebus pridedami.

2.1.2. Būvio ciklo inventorinė analizė

Būvio ciklo inventorinė analizė yra įvesties ir išvesties duomenų, susijusių su tiriamu projektu, suradimas ir apskaičiavimas. Tai apima tuos duomenis, kurie yra reikalingi užsibrėžtiems projekto tikslams pasiekti. Įtraukiamus į inventorinę lentelę kokybinius ir kiekybinius duomenis reikia surinkti kiekvienam įtraukiamam į sistemą procesui. Duomenims, kurie yra surenkami iš literatūros šaltinių, būtina nurodyti jų šaltinį. Siekiant išvengti klaidų ar kitų netikslumų (pvz., dvigubo apskaičiavimo, įteisinant ar pakartotinai naudojant surinktus duomenis), kiekvienas procesas turi būti aprašytas [34].

Ankstesniuose skyriuose išanalizavus medicininės kaukės, respiratorių FFP1 ir FFP2 ir permatomos kompozitinės kaukės gamybos procesą ir naudojamas medžiagas, sudaryta inventorinių duomenų lentelė (1 lentelė), į kurią įtrauktos produktų gamybai reikalingos medžiagos (apibūdinama kaip įvestis) ir emisijos į orą, vandenį ir dirvožemį (apibūdinama kaip išvestis).

1 lentelė. Inventoriniai duomenys, kuriuos reikės surinkti ar apskaičiuoti, kad atlikti būvio ciklo vertinimą pasirinktų veido apsaugos priemonių [14], [38]

	Medicininė kaukė (1 vnt.)	FFP1 respiratorius (1 vnt.)	FFP2 respiratorius (1 vnt.)	Permatoma kompozitinė kaukė (1 vnt.)
Įvestis				
Medžiagos				
Polipropilenas	x g	x g	x g	-
Poliuretano putos	-	x g	x g	x g
Aliuminis	x g	x g	x g	-
Nailonas 6	x g	x g	x g	x g
Skrudžių rūgštis (98%)	-	-	-	x g
Energija				
Elektra	x kWh	x kWh	x kWh	x kWh
Išvestis				
Emisijos į aplinką				
Į orą	x g	x g	x g	x g
Į vandenį	x g	x g	x g	x g
Į dirvožemį	x g	x g	x g	x g

2.1.3. Būvio ciklo poveikio vertinimas

Būvio ciklo poveikio vertinimo stadija turi apimti šias privalomas dalis:

1. poveikių kategorijų, kategorijų rodiklių ir apibūdinimo modelių parinkimą;
2. rezultatų priskyrimą parinktomis poveikio kategorijoms (klasifikavimą);
3. kategorijų rodiklių rezultatų skaičiavimą (apibūdinimą) [34].

Būvio ciklo vertinimo metu parenkant poveikio kategorijas, kategorijų rodiklius ir apibūdinimo modelius, reikia pateikti nuorodas į susijusią informaciją ir šaltinius. Tai taip pat liečia naujas apibrėžiamas poveikio kategorijas, kategorijų rodiklius ar apibūdinimo modelius. Poveikio kategorijoms ir kategorijų rodikliams reikia suteikti tikslus ir aprašomus pavadinimus. Poveikių kategorijų, kategorijų rodiklių ir apibūdinimo modelių parinkimas turi būti pateisintas ir atitikti būvio ciklo vertinimo tikslą ir apimtį. Kategorijų parinkimas turi atspindėti išsamų aplinkos klausimų, susijusių su tiriamas sistema, rinkinį, atsižvelgiant į tyrimo tikslą ir apimtį. Turi būti aprašyti poveikio aplinkai mechanizmas ir apibūdinimo modelis, kurie susieja būvio ciklo vertinimo rezultatus su kategorijos rodiklius ir sudaro apibūdinimo koeficientų pagrindą, taip pat turi būti aprašytas apibūdinimo modelio, naudoto kategorijos rodikliui gauti tyrimo tikslo ir apimties kontekste, tinkamumas. Turi būti nustatyti kitokie, bei į būvio ciklo vertinimą įtraukiami masės ir energijos srautų duomenys, būvio ciklo rezultatai ir turi būti nustatyta jų sąsaja su atitinkamų kategorijų rodikliais. Didžiajai būvio ciklo vertinimo tyrimų daliai bus parinktos esamos poveikio kategorijos, kategorijų rodikliai ar apibūdinimo modeliai. Apibūdinimo modeliai atspindi poveikio aplinkai mechanizmą, aprašydami sąsają tarp būvio ciklo vertinimo rezultatų, kategorijų rodiklių ir kai kuriais atvejais kategorijų galinio (-ių) taško (-ų). Apibūdinimo modelis naudojamas apibūdinimo koeficientams gauti. Poveikio aplinkai mechanizmas yra su poveikių apibūdinimu susijusių aplinkos procesų visuma [34].

Šiame darbe, siekiant įvertinti gaminių būvio ciklo poveikį aplinkai, bus naudojamas ReCiPe 2016 metodas, kuris yra įdiegtas „SimaPro 9.0“ programinėje įrangoje. ReCiPe 2016 metodas apima ir vidurio taškų (į problemą orientuotus), ir galutinių taškų (į žalą orientuotus) poveikio kategorijas. Apibūdinimo veiksniai yra reprezentatyvūs pasaulio mastu. Šį metodą sudaro dvi grupės poveikio kategorijų, kurių kiekviena turi atitinkamus charakterizavimo faktorius. Vidurio taškų lygis turi 18 poveikio kategorijų. Pabaigos taško lygmenyje, dauguma šių poveikio kategorijų yra padauginamos iš žalos faktoriaus ir sujungiamos į tris pabaigos taškų kategorijas:

1. žmogaus sveikata;
2. ekosistemos;
3. išteklių trūkumas [39].

Reikšmių pasirinkimas

Akivaizdu, kad aplinkos mechanizmai ir žalos modeliai yra neapibrėžtumo šaltiniai: modeliuojami santykiai atspindi naujausias žinias apie aplinkos mechanizmus, kurie turi tam tikrą neužbaigtumo ir neapibrėžtumo lygį. Kuriant ReCiPe 2016 metodą, buvo nuspręsta sugrupuoti skirtingus neapibrėžtumo šaltinius ir skirtingus pasirinkimus (reikšmes) į ribotą skaičių perspektyvų arba scenarijų, remiantis Thompsono 1990 m. „Kultūros teorija“ [39].

Skiriamos trys perspektyvos: individualistinis (I), hierarchistinis (H) ir egalitarinis (E). Šios perspektyvos nepretenduoja apibūdinti žmogaus elgesio archetipus, jos tik naudojamos sugrupuoti panašių tipų prielaidas ir pasirinkimus [39]. Pavyzdžiui:

1. individualistinė perspektyva (I) remiasi trumpalaikiais interesais, poveikio tipais, kurie yra neginčijamas technologinis optimizmas, susijęs su žmogaus prisitaikymu;
2. hierarchistinė perspektyva (H) remiasi labiausiai paplitusiais strategijų principais, atsižvelgiant į laiko trukmes ir kitus klausimus;
3. egalitarinė perspektyva (E) yra atsargiausia perspektyva, vertinanti ilgiausias laiko trukmes, poveikio tipus, kurie dar nėra visiškai patvirtinti, bet turi galimų indikacijų [39].

Charakterizavimas

Kai kiekvienos emisijos poveikis kiekybiškai modeliuojamas pagal pagrindinį aplinkos mechanizmą. Poveikis išreiškiamas kaip poveikio balas vienetu, kuris bendras visiems poveikio kategorijos įnašams, taikant apibūdinimo veiksnius [39].

Apibūdinimo koeficientas – tai konkrečiai medžiagai būdingas koeficientas, apskaičiuojamas naudojant apibūdinimo modelį, siekiant išreikšti konkretaus elementaraus srauto poveikį bendru kategorijos rodiklio vienetu. Šių poveikio kategorijų negalima lyginti tarpusavyje, nes jos turi skirtingus vienetus [39]. Išskiriamos šios poveikio kategorijos:

1. klimato kaita;
2. stratosferinio ozono sluoksnio irimas;
3. jonizuojanti spinduliuotė;
4. ozono susidarymas, žmogaus sveikata;
5. kietųjų dalelių formavimasis;
6. ozono susidarymas, sausumos ekosistemos;
7. sausumos rūgštėjimas;

8. gėlo vandens eutrofikacija;
9. jūrų vandens eutrofikacija;
10. sausumos eko-toksiškumas;
11. gėlo vandens eko-toksiškumas;
12. jūrų vandens eko-toksiškumas;
13. kancerogeninis toksiškumas žmogui;
14. nekancerogeninis toksiškumas žmogui;
15. žemės naudojimas;
16. mineralinių išteklių trūkumas;
17. iškastinių išteklių trūkumas;
18. vandens naudojimas [39].

Žalos vertinimas

ReCiPe metode naudojamas galutinio taško charakterizavimo faktorius galima apibūdinti taip:

1. žmogaus sveikata, išreikšta prarastų gyvenimo metų skaičiumi ir metų skaičiumi, esant neįgaliam. Matavimo vienetai yra metai [39];
2. ekosistemos, išreiškiamos kaip rūšių nykimas tam tikroje vietoje, per tam tikrą laiką. Matavimo vienetai yra metai [39];
3. išteklių trūkumas, išreiškiamas perteklinėmis būsimos išteklių gamybos sąnaudomis per begalinį laikotarpį (darant prielaidą, kad metinė gamyba pastovi). Matavimo vienetai yra 2013 USD. Priimama, kad iškastinių išteklių trūkumas neturi pastovaus vidurio ir pabaigos taško faktoriaus, bet turi individualų faktorių kiekvienai medžiagai [39].

Normalizavimas

Normalizavimas naudojamas supaprastinti rezultatų interpretavimą, tačiau nėra privalomas pagal ISO 14040/44 standartą. Daugelis poveikio skaičiavimo metodų, įdiegtų programinėje įrangoje, leidžia palyginti poveikio kategorijose gautus rezultatus su etalonine (arba normaliaja) verte, t. y. atlikti normalizavimą. Skaičiavimas atliekamas poveikio dydį tam tikrai kategorijai padalinant iš etaloninės vertės. Dažniausiai etalonas yra apskaičiuojamas vidutinę metinę aplinkos apkrovą, tenkančią šaliai arba žemynui, padalinant iš gyventojų skaičiaus. Taip normalizavimas išsprendžia vienetų nesuderinamumą ir to paties produkto ar proceso poveikis skirtingoms kategorijoms gali būti palyginamas [39].

Lyginamasis svertinis vertinimas

Šiame skaičiavimo metode atliekamas ir lyginamasis svertinis vertinimas tarp poveikio kategorijų. Tai reiškia, kad poveikio kategorijos rezultatai yra padauginami iš svorinių koeficientų ir sudedami, kad būtų sukurtas bendras arba vienas balas. Lyginamasis svertinis vertinimas gali būti taikomas normalizuotiems arba nenormalizuotiems rezultatams. Pagal ISO 14040/44 standartą šis žingsnis taip pat nėra privalomas [39].

2.1.4. Rezultatų interpretavimas

Būvio ciklo interpretavimo etapą sudaro keletas dalių:

1. reikšmingų klausimų identifikavimas pagal ankstesnių etapų rezultatus;

2. vertinimas, kuriuo svarstomi išsamumo, jautrio ir nuoseklumo tikrinimai;
3. išvados, apribojimai ir rekomendacijos [34].

Gautų rezultatų interpretavimas atliekamas, atsižvelgiant į tyrimo tikslas bei apimtį ir apimant reikšmingų įvedimų, išvedimų ir metodinių pasirinkimų vertinimą, siekiant suprasti rezultatų neapibrėžtį [34].

2.2. Jautrumo analizė

Jautrumo analizė yra svarbus etapas, tiriant rezultatų patikimumą ir jų jautrumą neapibrėžtumo veiksniams, atliekant būvio ciklo vertinimą. Atliekant jautrumo analizę pabrėžiamas svarbiausias modelio parametrų rinkinys, siekiant nustatyti, ar reikia gerinti duomenų kokybę, taip pat tai padeda patikslinti rezultatų interpretavimą. Dvi pagrindinės būvio ciklo vertinimo skaičiavimo proceso problemos yra būvio ciklo vertinimo skaičiavimo modelio sąveika ir būvio cikle naudojamos įvesties parametrų koreliacijos. Atlikus jautrumo analizę, keičiant tam tikrus kintamuosius, nustatoma ar galutiniai rezultatai išlieka tokie patys [40].

Šiame darbe produktų būvio ciklo jautrumo analizė bus atliekama paimant kiekvienos rūšies apsauginės veido kaukės trijų atsitiktinių skirtingų gamintojų produktus ir juos išardant į atskirus elementus pagal medžiagas. Išardytas kaukės sudarančios medžiagos bus pasveriamos, po to, bus apskaičiuojama kokį vidutiniškai svorį sudaro kiekviena medžiaga kiekvienos rūšies kaukėje. Apskaičiavus kokiu procentu gauti vidurkiai skiriasi nuo reikšmių iš literatūros, pasirinktų naudoti skaičiavimuose, per tokį patį procentinį dydį bus padidinami ir sumažinami kaukės sudarančių medžiagų kiekiai, atliekant skaičiavimus „SimaPro 9.0“ programoje. Taip bus nustatoma ar gautiems rezultatams gali turėti įtakos medžiagų masės kitimas skirtingų gamintojų produktuose. Kadangi kompozitinė kaukė nėra gaminama masiškai, medžiagų masės procentinis kitimas produkte bus priimtas 5 % (nailonui 6) ir 2 % (poliuretano putoms), kaip nurodė kaukės kūrėjai.

3. Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

3.1. Inventorinės analizės rezultatai

Inventoriniai duomenys (2 lentelė) apie kaukių gamyboje naudojamas medžiagas ir jų kiekius, bei sunaudojamą elektros energijos kiekį buvo surinkti remiantis mokslinės literatūros šaltiniais. Atliekų deginimo metu susidarantių ir į aplinką išmetamų medžiagų kiekiai vienai kaukei apskaičiuoti remiantis „SimaPro 9.0“ programinės įrangos duomenų bazėje esančiu komunalinių atliekų deginimo procesu. Šis procesas yra sukurtas, aprašant 1000 kg kietų komunalinių atliekų deginimo procesą. Pagrindinės medžiagos, kurios patenka į aplinką, yra metanas, azoto oksidai, sieros oksidai, anglies dioksidas ir monoksidas, sunkieji metalai ir jų junginiai, kietosios dalelės, dioksina ir kiti aromatiniai junginiai. Žemiau esančioje 2 lentelėje pateikiamas bendras medžiagų kiekis vienai kaukei, išmetamas į tam tikrą aplinkos terpę (orą, vandenį ar dirvožemį).

2 lentelė. Inventoriniai duomenys, kurie yra reikalingi norint atlikti apsauginių veido kaukių būvio ciklo vertinimą [14], [38]

	Medicininė kaukė (1 vnt.)	FFP1 respiratorius (1 vnt.)	FFP2 respiratorius (1 vnt.)	Permatoma kompozitinė kaukė (1 vnt.)
Įvestis				
Medžiagos				
Polipropilenas, g	2,56	3	5	-
Poliuretano putos, g	-	0,05	0,05	0,05
Aliuminis, g	0,44	0,95	0,95	-
Nailonas 6, g	0,1	0,1	0,1	1,122
Skrudžių rūgštis (98%), g	-	-	-	0,087
Energija				
Elektra, kWh	0,0045	0,0092	0,0115	0,033
Išvestis				
Emisijos į aplinką				
Į orą, g	$1,80 \cdot 10^{-3}$	$2,38 \cdot 10^{-3}$	$3,54 \cdot 10^{-3}$	$6,81 \cdot 10^{-4}$
Į vandenį, g	$1,55 \cdot 10^{-4}$	$2,05 \cdot 10^{-4}$	$3,05 \cdot 10^{-4}$	$5,86 \cdot 10^{-5}$
Į dirvožemį, g	$1,53 \cdot 10^{-7}$	$2,03 \cdot 10^{-7}$	$3,01 \cdot 10^{-7}$	$5,79 \cdot 10^{-8}$

Iš „SimaPro 9.0“ duomenų bazėje aprašyto proceso apskaičiuota, kad deginant 1000 kg kietų komunalinių atliekų į orą patenka $5,81 \cdot 10^{-1}$ kg, į vandenį $5,00 \cdot 10^{-2}$ kg ir į dirvožemį $4,94 \cdot 10^{-5}$ kg šių atliekų deginimo produktų. Žinant apsauginių veido kaukių svorį (medicininė kaukė – 3,1 g, FFP1 respiratorius – 4,1 g, FFP2 respiratorius – 6,1 g ir permatoma kompozitinė kaukė – 1,172 g), galima perskaičiuoti atliekų deginimo produktų masę vienai kaukei. Skaičiavimų pavyzdys medicininei kaukei:

$$0,0031 \cdot 0,581 / 1000 = 1,80 \cdot 10^{-6} \text{ kg} = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ g (emisijos į orą)}$$

$$0,0031 \cdot 0,050 / 1000 = 1,55 \cdot 10^{-7} \text{ kg} = 1,55 \cdot 10^{-4} \text{ g (emisijos į vandenį)}$$

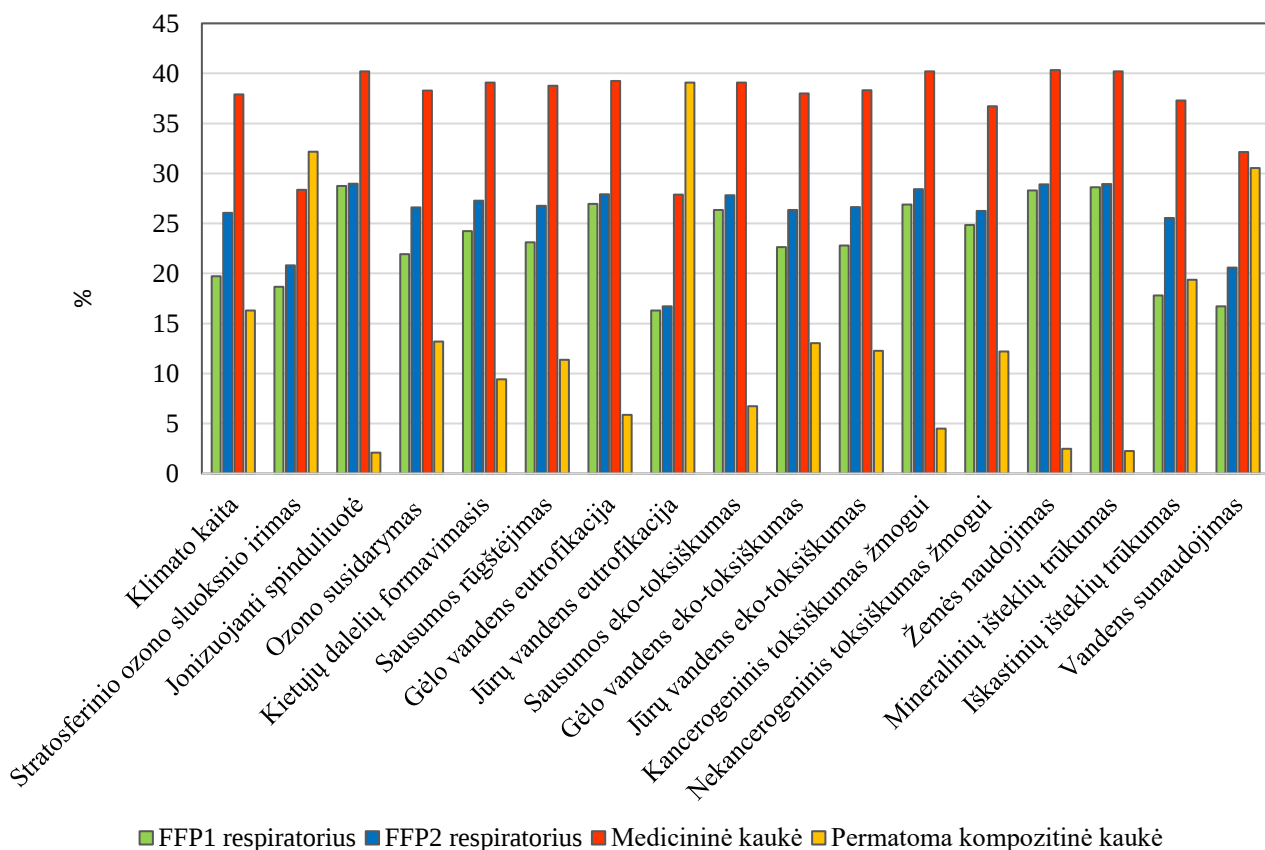
$$0,0031 \cdot 4,94 \cdot 10^{-5} / 1000 = 1,53 \cdot 10^{-10} \text{ kg} = 1,53 \cdot 10^{-7} \text{ g (emisijos į dirvožemį)}$$

Likusieji skaičiavimai kitoms kaukėms buvo atlikti analogiškai, atsižvelgiant į kaukių masę.

Apsauginių veido kaukių būvio ciklo vertinime bus analizuojami charakterizuoti ir normalizuoti rezultatai, o žalos įvertinimo rezultatai pateikiami 1 priede (20-21 pav.).

3.2. Poveikio vertinimas charakterizuojant rezultatus

Atlikus būvio ciklo vertinimą „SimaPro 9.0“ programinėje įrangoje, naudojant ReCiPe 2016 Endpoint (H) skaičiavimo metodą, buvo gauti charakterizuoti poveikio rezultatai. Šie rezultatai parodo kiekvienos apsauginės veido kaukės poveikį skirtingose poveikio kategorijose. Būvio ciklo vertinimo rezultatai pateikti šioms poveikio kategorijoms: globalinis atšilimas (žmogaus sveikata), globalinis atšilimas (sausumos ekosistemos), globalinis atšilimas (gėlo vandens ekosistemos), stratosferinio ozono sluoksnio irimas, jonizuojanti spinduliuotė, ozono susidarymas (žmogaus sveikata), kietųjų dalelių formavimasis, sausumos rūgštėjimas, gėlo vandens eutrofikacija, jūrų vandens eutrofikacija, sausumos eko-toksiškumas, gėlo vandens eko-toksiškumas, jūrų vandens eko-toksiškumas, kancerogeninis toksiškumas žmogui, nekancerogeninis toksiškumas žmogui, žemės naudojimas, mineralinių išteklių trūkumas, iškastinių išteklių trūkumas, vandens sunaudojimas. 17 pav. atvaizduojamas visų kaukių poveikis kiekvienoje atskiroje kategorijoje, nelyginant kaukių poveikio dydžio skirtingose kategorijose.



17 pav. Apsauginių veido kaukių būvio ciklo palyginimas, vertinant jų poveikį skirtingose poveikio kategorijose (charakterizuotas poveikis)

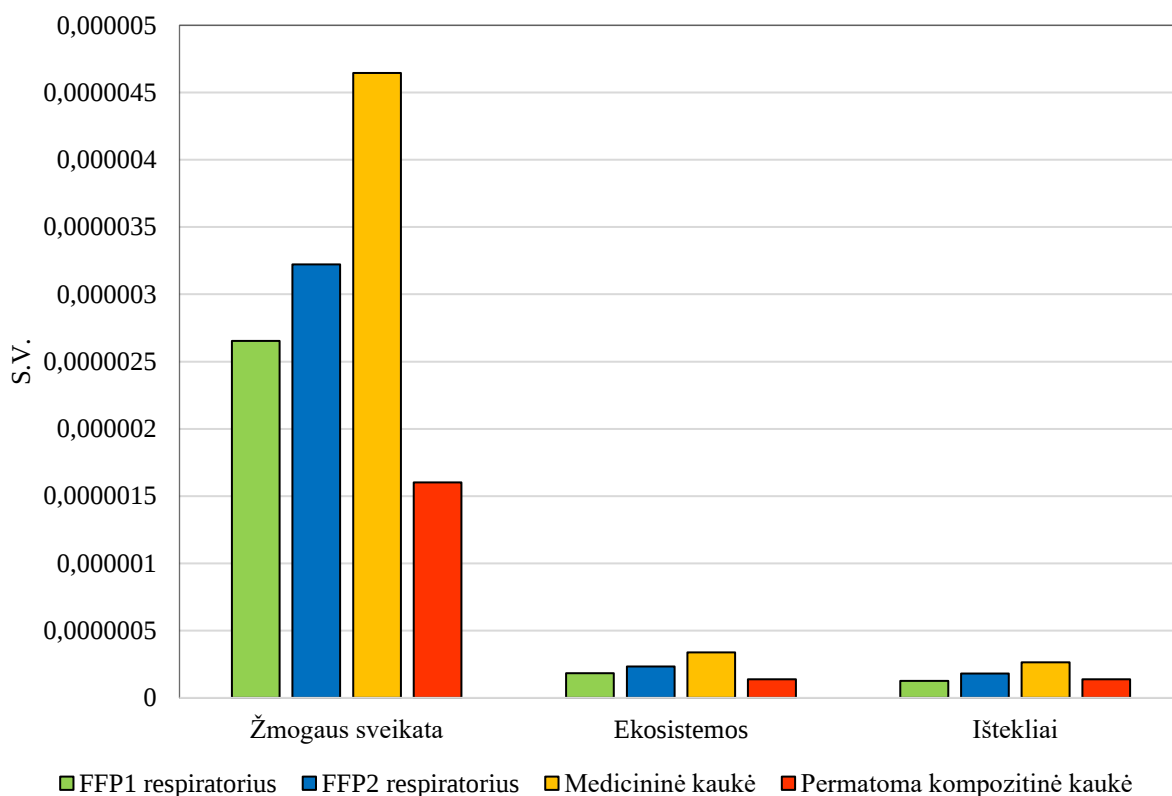
Klimato kaitos poveikio kategorijoje didžiausią įtaką turi medicininė kaukė, kurios poveikis yra 47,9 % didesnis už FFP1 respiratoriaus poveikį, 31,3 % didesnis už FFP2 respiratoriaus poveikį ir 56,9 % didesnis už permatomos kompozitinės kaukės poveikį. Stratosferinio ozono sluoksnio irimo poveikio kategorijoje didžiausią poveikį daro permatoma kompozitinė kaukė, tačiau jos poveikis yra tik 11,8 % didesnis už medicininės kaukės poveikį. FFP1 ir FFP2 respiratorių poveikiai šioje kategorijoje

tarpusavyje skiriasi nedaug ir yra mažesni už permatomos kompozitinės kaukės poveikį 41,9 % ir 35,3 % atitinkamai. Jonizuojančios spinduliuotės kategorijoje mažiausią poveikį turi permatoma kompozitinė kaukė, kurios poveikis yra 94,8 % mažesnis už didžiausią – medicininės kaukės. FFP1 ir FFP2 respiratoriai šioje kategorijoje vertinami panašiai – jų poveikis kiek mažesnis už medicininės kaukės ir skiriasi nuo jos 28,4 % ir 27,9 %. Ozono susidarymo kategorijoje permatomos kompozitinės kaukės poveikis mažiausias, o medicininės – didžiausias ir skiriasi tarpusavyje 65,6 %. FFP1 respiratoriaus poveikis yra 39,9 % didesnis už permatomos kompozitinės kaukės, o FFP2 respiratoriaus – 50,5 % didesnis. Kietųjų dalelių formavimosi kategorijoje didžiausią įtaką daro medicininė kaukė, tai yra 75,9 % didesnė nei permatomos kompozitinės kaukės (mažiausia įtaka), 38,0 % daugiau nei FFP1 respiratoriaus ir 30,3 % daugiau nei FFP2 respiratoriaus. Sausumos rūgštėjimo poveikio kategorijoje tendencija vėl ganėtinai panaši – didžiausią įtaką daro medicininė kaukė, o mažiausią turi permatoma kompozitinė kaukė, kai medicininės kaukės poveikis yra didesnis 70,6 %. Respiratorius FFP1 daro 13,6 % mažesnę įtaką nei FFP2. Gėlo vandens eutrofikacijos kategorijoje permatomos kompozitinės kaukės poveikis yra mažiausias – 85,1 % mažesnis nei medicininės kaukės poveikis, 78,3 % mažesnis nei FFP1 respiratoriaus ir 79,1 % mažesnis nei FFP2 respiratoriaus. Jūrų vandens eutrofikacijos kategorijoje didžiausią poveikį turi permatomos kompozitinės kaukės būvio ciklas, už kurį 28,7 % mažesnę poveikį sudaro medicininė kaukė, 57,2 % mažesnę įtaką turi FFP2 respiratorius ir 58,3 % mažiau veikia FFP1 respiratorius (respiratorių poveikio dydis šioje kategorijoje yra itin panašus). Sausumos eko-toksiškumo kategorijoje vėl didžiausią poveikį daro medicininės kaukės būvio ciklas, kuris yra 28,8 % didesnis už FFP2 respiratoriaus, 32,6 % didesnis už FFP1 respiratoriaus ir 82,8 % didesnis už permatomos kompozitinės kaukės būvio ciklo poveikius. Gėlo vandens eko-toksiškumo kategorijoje medicininės kaukės poveikis didžiausias, lyginant su kitomis kaukėmis. Jis yra 30,6 % didesnis už FFP2 respiratoriaus, 40,5 % didesnis už FFP1 respiratoriaus ir 65,7 % didesnis už permatomos kompozitinės kaukės įtaką šioje kategorijoje. Jūrų vandens eko-toksiškumo kategorijoje medicininė kaukė daro didžiausią įtaką, kuri yra 67,9 % didesnė nei mažiausią poveikį turinčios permatomos kompozitinės kaukės būvio ciklo poveikis. FFP1 ir FFP2 respiratoriai yra 40,5 % ir 30,5 % mažiau darantys įtaką nei medicininė kaukė. Poveikio kategorijoje kancerogeninis toksiškumas žmogui labiausiai pasižymi medicininė kaukė. FFP2 respiratoriaus daromas poveikis kategorijai yra 29,3 % mažesnis už medicininės kaukės, bet 5,3 % didesnis už FFP1 respiratoriaus. Mažiausią įtaką kategorijai sudaro permatoma kompozitinė kaukė, kurios poveikis yra 88,8 % mažesnis už medicininės kaukės. Nekancerogeninio toksiškumo žmogui kategorijoje didžiausią įtaką sudaro medicininė kaukė, kuri yra 28,5 % didesnė už FFP2 respiratoriaus, 32,3 % didesnė už FFP1 respiratoriaus ir galiausiai 66,8 % didesnė už permatomos kompozitinės kaukės sudaromą įtaką kategorijoje. Medicininė kaukė pasižymi didžiausiu poveikiu ir žemės naudojimo kategorijoje, kai jis yra 93,9 % didesnis už permatomos kompozitinės kaukės (mažiausias poveikis). FFP1 ir FFP2 respiratorių rezultatai tarpusavyje skiriasi tik nežymiai – jų daromas poveikis yra atitinkamai 29,8 % ir 28,3 % mažesnis nei medicininės kaukės. Mineralinių išteklių trūkumo kategorijoje gauti rezultatai išlaiko tą pačią tendenciją – didžiausias poveikis daromas kategorijai yra medicininės kaukės, o mažiausias – permatomos kompozitinės kaukės (skirtumas yra 94,4 %). Respiratorių FFP1 ir FFP2 daroma įtaką panaši ir yra mažesnė už medicininės kaukės vidutiniškai 28 %. Iškastinių išteklių trūkumo kategorijoje didžiausią įtaką sudaro medicininė kaukė, už ją mažesnę poveikį daro FFP2 respiratorius (31,5 % mažiau), permatoma kompozitinė kaukė (48,1 % mažiau), o mažiausią poveikį palieka FFP1 respiratorius (52,3 % mažesnę nei medicininė kaukė). Paskutinėje vandens sunaudojimo kategorijoje medicininė kaukė vis dar išlieka kaip labiausiai daranti poveikį, tačiau jis yra tik 4,9 %

didesnis už permatomos kompozitinės kaukės. Mažesnę įtaką nei medicininė kaukė daro FFP2 respiratorius – 35,9 % ir FFP1 respiratorius – 48,0 %.

3.3. Poveikio vertinimas normalizuojant rezultatus

Atlikus asmeninių veido apsaugos kaukių būvio ciklo vertinimą „SimaPro 9.0“ programinėje įrangoje, gauti normalizuoti rezultatai. Šiuo atveju poveikis yra suskirstytas į tris poveikio kategorijas: žmogaus sveikatos, ekosistemų ir išteklių. Atlikus rezultatų normalizavimą yra suvienodinami matavimo vienetai, todėl kiekvienos veido kaukės poveikis skirtingoms kategorijoms gali būti palyginamas.



18 pav. Apsauginių veido kaukių būvio ciklo vertinimas ir palyginimas skirtingose poveikio kategorijose

18 pav. pateiktas veido kaukių būvio ciklo normalizuotų rezultatų palyginimas žmogaus sveikatos, ekosistemų ir išteklių kategorijose. Žmogaus sveikatos poveikio kategorijoje didžiausią įtaką turi medicininė kaukė, kurios daromas poveikis yra 30,6 % didesnis už FFP2 respiratoriaus, 42,9 % didesnis už FFP1 respiratoriaus ir 65,5 % didesnis už permatomos kompozitinės kaukės, kuri turi mažiausią poveikį žmogaus sveikatai. Ekosistemų kategorijoje didžiausiu daromu poveikiu vėl pasižymi medicininė kaukė, kuris yra 31,0 % didesnis už FFP2 respiratoriaus, 45,9 % didesnis už FFP1 respiratoriaus ir galiausiai 59,5 % didesnis už permatomos kompozitinės kaukės. Medicininė kaukė išteklių kategorijoje taip pat sudaro didžiausią poveikį, kuris yra 31,3 % didesnis už FFP2 respiratoriaus, 48,2 % didesnis už permatomos kompozitinės kaukės ir 52,0 % didesnis už FFP1 respiratoriaus (mažiausias poveikis išteklių kategorijoje). Visos keturios veido apsaugos kaukės daro didžiausią įtaką žmogaus sveikatos poveikio kategorijoje. FFP1 respiratorius žmogaus sveikatos poveikio kategorijoje sudaro 93,1 % didesnę įtaką nei ekosistemų ir 95,2 % didesnę įtaką nei išteklių kategorijose. FFP2 poveikis žmogaus sveikatos kategorijoje yra 92,7 % didesnis už poveikį ekosistemų kategorijoje, o išteklių kategorijoje – 94,3 % didesnis. Medicininė kaukė žmogaus

sveikatos kategorijoje sudaro didžiausią poveikį. 92,7 % didesnę nei ekosistemoms ir 94,3 % didesnę poveikį nei ištekliams. Permatoma kompozitinė kaukė žmogaus sveikatos kategorijoje sudaro poveikį, kuris yra 91,4 % didesnis už ekosistemų ir išteklių kategorijose.

3.4. Rezultatų palyginimas su kitų autorių darbais

Gautus rezultatus tiesiogiai palyginti su kitu autorių darbais, atliekant būvio ciklo vertinimą, ne taip paprasta, nes gali skirtis ne tik darbo tikslas ar lyginami produktai, bet ir funkcinis vienetas, sistemos ribos, skaičiavimuose naudojamas metodas. Visi šie aspektai turės įtakos galutiniams rezultatams ir jų palyginamumui. Dėl šių priežasčių nebus lyginami tarpusavyje konkrečiose kategorijose gautų reikšmių dydžiai, net jei ir produktai sutaps.

Kaip jau buvo aprašyta literatūros apžvalgoje N. B. Rodriguez et al. (2021) analizavo penkis skirtingus produktus: 3D atspausdintos daugkartinio naudojimo kaukės su keičiamu filtru, chirurgines kaukes, skirtingų rūšių respiratorius – FFP2 su arba be vožtuvo ir plaunamas medžiagines daugkartinio naudojimo kaukes [14]. Jo pasirinktas funkcinis vienetas buvo: Italijos gyventojų apsauginių veido kaukių sunaudojimas, siekiant apsisaugoti nuo žmonių iškvėpiamų į aplinką lašelių pasklidimo, izoliacijos laikotarpiu ir po jo (2020 m. kovas – 2020 m. gruodis). Sistemos ribos apėmė žaliavinių medžiagų ekstrahavimą ir gamybą, kaukių gamybos procesą, transportavimą, naudojimo fazę, dezinfekavimą ir išmetimą (arba išmetimą be dezinfekcijos) [14]. Skaičiavimuose buvo naudojamas taip pat ReCiPe metodas. Atlikus skaičiavimus, pirmuoju scenarijaus atveju, kai nedezinfekuotos kaukės patenka į sąvartyną, FFP2 respiratorius (su vožtuvu) visose charakterizuotose poveikio kategorijose turi didžiausią poveikį. Toliau seka FFP2 respiratorius be vožtuvo ir medicininė kaukė. Žymiai mažesniu poveikiu daugelyje kategorijų pasižymi 3D atspausdinta daugkartinio naudojimo kaukė su keičiamu filtru ir plaunama medžiaginė kaukė. Poveikio kategorijos, kuriose užfiksuojamas didžiausias skirtumas tarp FFP2 respiratoriaus su vožtuvu ir FFP2 respiratoriaus be vožtuvo, yra iškastinio kuro trūkumas, žemės sunaudojimas, klimato kaitos potencialas. Toks skirtumas atsiranda todėl, kad FFP2 respiratoriuje su vožtuvu sunaudojamas didesnis kiekis medžiagų (kaip polipropilenas) kaukės gamybai. Labai panašios reikšmės poveikio kategorijose gaunamos ir tuo atveju kai kaukės prieš išmetimą į sąvartynus dezinfekuojamos [14]. Šiame darbe gauti rezultatai šiek tiek skiriasi. Daugumoje charakterizuoto poveikio kategorijų didžiausią poveikį turi medicininė kaukė, antroje vietoje seka FFP2 respiratorius, toliau FFP1 respiratorius ir galiausiai permatoma kompozitinė kaukė. Rezultatų skirtumas galėjo atsirasti dėl skirtingo funkcinio vieneto pasirinkimo. Šiame darbe pagal funkcinį vienetą matoma, kad medicininių kaukių reikės 3 kartus daugiau norint išlaikyti atitinkamą apsaugos lygį. Be to, visiškai skiriasi produktų būvio ciklo pabaiga – išmetimo į sąvartynus ir deginimo procesai pasižymi skirtingomis emisijomis į aplinką. Analizuojant normalizuotus rezultatus, pastebima ir panašumų šiuose darbuose, nes išlieka ta pati tendencija, kai didžiausias neigiamas poveikis yra daromas žmogaus sveikatos kategorijai.

M. Tabatabaei et al. (2021) tiria galimybę plastikus, kurie yra pagaminti iš naftos produktų, pakeisti bio-skaidžiais ir taip sumažinti žalą aplinkai. Tyrime funkcinis vienetas buvo apibrėžtas kaip medicininių kaukių ir FFP2 respiratorių, pagamintų 2020 m. Kinijoje (nuo vasario 1 d. iki metų pabaigos), suma. Sistemos ribos taip pat apsiribojo žaliavų, naudojamų kaukių gamyboje, gavyba iki kaukių naudojimo pabaigos. Šalinimo scenarijus nebuvo tiksliai apibūdintas. Vidaus vartojimui ar eksportui skirtų kaukių pakavimas ir gabenimas nebuvo svarstomas dėl duomenų trūkumų. Poveikio aplinkai skaičiavimai buvo atlikti „SimaPro 9.0“ programinėje įrangoje, naudojant IMPACT 2002+ ir EDIP 2003 metodus. Iš pradžių autoriai atlieka palyginimą medicininės kaukės ir FFP2

respiratoriaus, kurie yra pagaminti iš naftos produktų kilmės plastikų. Nagrinėjant charakterizuotą poveikį skirtingoms kategorijoms (kancerogeniškumas, jonizuojanti spinduliuotė, ozono sluoksnio irimas, eko-toksiškumas vandens ir sausumos aplinkai, žemės naudojimas, klimato kaita, eutrofikacija, vandens rūgštėjimas, mineralų ekstrakcija ir kt.) rezultatai rodo, kad medicininė kaukė sudaro apie 60 – 65 kartus didesnį poveikį nei FFP2 respiratorius. Lyginant normalizuotus poveikio vertinimo rezultatus, yra išskiriamos keturios kategorijos: žmogaus sveikatos, ekosistemų kokybės, klimato pokyčio ir išteklių. Visose keturiose kategorijose medicininė veido kaukė sudaro 98 % didesnį poveikį nei FFP2 respiratorius [38]. Lyginant rezultatus, šiame darbe normalizuoti poveikio rezultatai taip pat gavosi labai panašūs, nes žmogaus sveikatos poveikio kategorijoje didžiausią įtaką sudaro taip pat medicininė kaukė, kurios daromas poveikis yra 30,6 % didesnis už FFP2 respiratoriaus. Ekosistemų kategorijoje didžiausiu daromu poveikiu vėl pasižymi medicininė kaukė, kuris yra 31,0 % didesnis už FFP2 respiratoriaus. Išteklių kategorijoje medicininė kaukė lemia didžiausią poveikį, kuris yra 31,3 % didesnis už FFP2 respiratoriaus. Visgi M. Tabatabaei et al. (2021) darbe kaukės didžiausią neigiamą poveikį sudaro išteklių kategorijoje, o šiame baigiamajame projekte didžiausias kaukių neigiamas poveikis pastebimas žmogaus sveikatai.

H. Kumar et al. (2020) lygina asmens svarbiausių apsaugos priemonių rinkinio poveikį aplinkai, esant dviem jų išmetimo po panaudojimo scenarijams: išmetimo į sąvartyną arba deginimo (centralizuotas ir necentralizuotas). Funkcinis vienetas yra 1 tona asmens apsaugos priemonių rinkinių, kuriuos sudaro akiniai, pirštinės, maišeliai ant batų, medicininės kaukės ir kostiumai, dengiantys visą kūną. Sistemos ribos apima visą tiesioginį ir netiesioginį išteklių naudojimą ir emisijas, pvz., gamybą, tiekėjus, taip pat transportavimo, naudojimo ir šalinimo fazes. Šiame tyrime tokios medžiagos kaip polipropilenas (PP), nitrilo butadieno kaučiukas (NBR), polikarbonatas (PC) ir metalinės juostelės, naudojamos gaminant asmens apsaugos priemonių rinkinį, buvo įtrauktos į būvio ciklo modelio kūrimą. Lyginant su šiuo darbu, skiriasi ne tik tiriami produktai, bet ir funkcinis vienetas yra visiškai kitaip parinktas. Sistemos ribos ir šalinimai būdai yra panašūs. H. Kumar et al. (2020) atliko skaičiavimus naudojant kitą programinę įrangą ir pasirinko kitą skaičiavimo metodą – Centrum voor Milieuwetenschappen. Šis metodas ypač fokusuojasi į poveikio kategorijas, susijusias su emisijomis į aplinką ir išteklių sunaudojimu. Tuo atveju kai vykdomas šalinimas, sudeginant susidariusias atliekas, iš visų apsaugos priemonių didžiausią poveikį klimato kaitos potencialui turėjo kostiumas – 3816,06 kg CO₂ ekv.. Kostiumas pagamintas iš polipropileno audinio, todėl vien gamybos metu iš viso išmetama 1850 kg CO₂ ekv., o papildomos CO₂ ekv. emisijos buvo susijusios su medicininėmis kaukėmis. 1487,37 kg CO₂ ekv. susidarė asmens apsauginių priemonių deginimo proceso metu, kas yra antros pagal dydį emisijos, susijusios su klimato kaitos potencialu [24]. Panašūs rezultatai gaunami ir šiame projekte, nes buvo apskaičiuota, kad didžiausios emisijos į orą yra gaunamos deginant FFP2 respiratorių - $3,54 \cdot 10^{-6}$ kg (vienam vienetai), kurį sudaro didžiausias kiekis polipropileno, lyginant kiekvienos veido apsauginės kaukės po vieną vieneta.

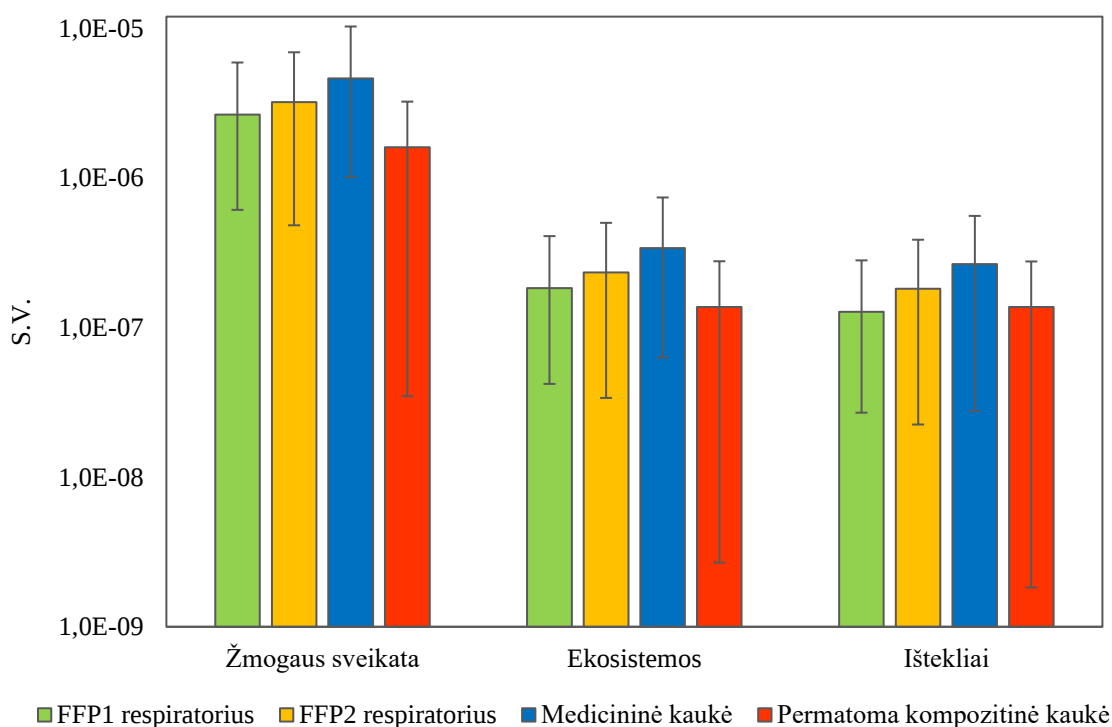
3.5. Jautrumo analizės rezultatai

Atliekant apsauginių veido kaukių būvio ciklo vertinimą, buvo atlikta ir jautrumo analizė, siekiant patikrinti rezultatų patikimumą ir jautrumą tam tikrų parametrų pokyčiams. Jautrumo analizė atlikta pagal metodiką, aprašytą skyrelyje „2.2. Jautrumo analizė“. Atlikus skirtingų gamintojų kaukių išardymą ir atskirų detalių pasvėrimą, buvo surinkti ir apskaičiuoti atitinkami duomenys, kurie yra atvaizduoti 3 lentelėje.

3 lentelė. Jautrumo analizės atlikimui reikalingi duomenys

Medžiagos:	Aluminis	Polipropilenas	Nailonas 6	Poliuretano putos	Skruzdžių rūgštis (98%)
Medicininė kaukė					
Produktas Nr.1, g	0,2790	2,3292	0,3542	-	-
Produktas Nr.2, g	0,3106	2,2282	0,2421	-	-
Produktas Nr.3, g	0,2479	2,6715	0,3517	-	-
Produktą sudarančių medžiagų svorių vidurkis, g	0,28	2,41	0,32	-	-
Iš literatūros pasirinktas svoris poveikio vertinimui, g	0,44	2,56	0,1	-	-
Vidurkio ir pasirinkto svorio reikšmių skirtumas, %	36,55	5,87	68,35	-	-
Pasirinktas svoris poveikio vertinimui + gautas skirtumas, g	0,60	2,71	0,17	-	-
Pasirinktas svoris poveikio vertinimui – gautas skirtumas, g	0,28	2,41	0,03	-	-
FFP2 respiratorius					
Produktas Nr.1, g	0,7944	5,2622	0,8090	0,7286	-
Produktas Nr.2, g	1,0085	7,7074	1,0487	0,0758	-
Produktas Nr.3, g	0,5978	4,2867	0,8991	0,2709	-
Produktą sudarančių medžiagų svorių vidurkis, g	0,80	5,75	0,92	0,36	-
Iš literatūros pasirinktas svoris poveikio vertinimui, g	0,95	5	0,1	0,05	-
Vidurkio ir pasirinkto svorio reikšmių skirtumas, %	15,76	13,08	89,12	86,05	-
Pasirinktas svoris poveikio vertinimui + gautas skirtumas, g	1,10	5,65	0,19	0,09	-
Pasirinktas svoris poveikio vertinimui – gautas skirtumas, g	0,80	4,35	0,01	0,01	-
FFP1 respiratorius					
Produktas Nr.1, g	0,8452	5,1423	0,7781	0,2542	-
Produktas Nr.2, g	0,6214	3,1524	0,8124	0,2786	-
Produktas Nr.3, g	0,7458	3,9411	0,8452	0,6871	-
Produktą sudarančių medžiagų svorių vidurkis, g	0,74	4,08	0,81	0,41	-
Iš literatūros pasirinktas svoris poveikio vertinimui, g	0,95	3	0,1	0,05	-
Vidurkio ir pasirinkto svorio reikšmių skirtumas, %	22,37	26,45	87,68	87,70	-
Pasirinktas svoris poveikio vertinimui + gautas skirtumas, g	1,16	3,79	0,19	0,09	-
Pasirinktas svoris poveikio vertinimui – gautas skirtumas, g	0,74	2,21	0,01	0,01	-
Permatoma kompozitinė kaukė					
Teorinė reikšmė, g	-	-	1,122	0,05	0,087
Procentinis dydis, kuriuo gali kisti medžiagų masė, %	-	-	5,00	2,00	-
Teorinė reikšmė + gautas skirtumas, g	-	-	1,18	0,05	-
Teorinė reikšmė – gautas skirtumas, g	-	-	1,07	0,05	-

Toliau „SimaPro 9.0“ programinėje įrangoje buvo atlikti papildomi skaičiavimai: įvedant kaukių medžiagų kiekius, kurie buvo gauti prie poveikio vertinime pasirinktų svorių reikšmių pridėjus produktą sudarančių medžiagų svorio vidurkio ir pasirinktų svorio reikšmių procentinį skirtumą; įvedant kaukių medžiagų kiekius, kurie buvo gauti iš poveikio vertinime pasirinktų svorių reikšmių atėmus produktą sudarančių medžiagų svorio vidurkio ir pasirinktų svorio reikšmių procentinį skirtumą. Skaičiavimuose buvo keičiami visi kaukes sudarančių medžiagų svoriai. Visi kiti parametrai, skaičiavimo metodas ir būvio ciklo modelio kūrimas yra išlaikomi tokie patys kaip ir pradiniam variante pagal surinktą literatūrą. 19 pav. vaizduojamas normalizuotas apsauginių veido kaukių poveikis trimis kategorijoms: žmogaus sveikatai, ekosistemoms ir ištekliams, atvaizduojant sukurto modelio jautrumo analizės rezultatus.



19 pav. Jautrumo analizė: normalizuotas apsauginių veido kaukių poveikis trimis skirtingoms poveikio kategorijoms

Pirmuoju atveju buvo atliekami skaičiavimai jautrumo analizei, įvedant kaukių medžiagų kiekius, kurie buvo gauti prie poveikio vertinime pasirinktų svorių reikšmių pridėjus produktą sudarančių medžiagų svorio vidurkio ir pasirinktų svorio reikšmių procentinį skirtumą. Žmogaus sveikatos kategorijoje medicininė kaukė daro didžiausią poveikį, o permatoma kompozitinė kaukė – mažiausią. Medicininės kaukės daromas poveikis išlieka 34,5 % didesnis už FFP2 respiratoriaus, 42,3 % didesnis už FFP1 respiratoriaus ir 71,0 % didesnis už permatomos kompozitinės kaukės. Poveikio ekosistemoms kategorijoje medicininė kaukė vėl pasižymi didžiausia įtaka, kuri yra 33,4 % didesnė nei FFP2 respiratoriaus, 43,9 % didesnė nei FFP1 respiratoriaus ir 65,1 % didesnė nei permatomos kompozitinės kaukės. Išteklių kategorijoje kaukių daromo poveikio tendencija išliko ta pati: medicininė kaukė pasižymi 30,1 % didesniu nei FFP2 respiratorius, 47,3 % didesniu nei FFP1 ir 52,4 % didesniu poveikiu nei permatoma kompozitinė kaukė.

Antruoju atveju skaičiavimai jautrumo analizei buvo atliekami įvedant kaukių medžiagų kiekius, kurie buvo gauti iš poveikio vertinime pasirinktų svorių reikšmių atėmus produktą sudarančių

medžiagų svorio vidurkio ir pasirinktų svorio reikšmių procentinį skirtumą. Žmogaus sveikatos kategorijoje medicininė kaukė išlieka darančia didžiausią poveikį, kuris yra 24,5 % didesnis už FFP2 respiratoriaus, 43,7 % didesnis už FFP1 respiratoriaus ir 56,8 % didesnis už permatomos kompozitinės kaukės. Ekosistemų kategorijoje didžiausias poveikis yra daromas taip pat medicininės kaukės. Jis yra 27,6 % didesnis už FFP2 respiratoriaus, 48,8 % didesnis už FFP1 respiratoriaus ir 51,2 % didesnis už permatomos kompozitinės kaukės daromą poveikį. Išteklių kategorijoje medicininės kaukės daromas poveikis vėl yra didžiausias, tik šiuo atveju patį mažiausią poveikį daro FFP1 respiratorius, kuris yra 57,8 % mažesnis už medicininės kaukės.

Atlikus jautrumo analizę, matoma, kad didžiausias neigiamas apsauginių veido kaukių poveikis išlieka žmogaus sveikatos kategorijai, o mažiausias išteklių kategorijai. Medicininė kaukė visose kategorijose sudaro didžiausią poveikį, lyginant su kitomis kaukėmis. Matant gautus jautrumo analizės rezultatus, galima teigti, kad poveikio vertinime pasirinktos vertės neturėjo reikšmingos įtakos galutiniams kaukių būvio ciklo vertinimo rezultatams.

Išvados

1. Atlikus mokslinės literatūros analizę, buvo nuspręsta, kad viena svarbiausių ir plačiausiai visuomenės naudojamų asmeninių apsaugos priemonių yra apsauginės veido kaukės. Tik jų naudojimo apimtys gali kisti priklausomai nuo ligos plitimo ir visuomenei pateikiamų rekomendacijų ar įstatymų. Deja, padidėjusios gamybos apimtys ir kaukių išmetimas daro ženklių poveikį aplinkai, taip dar labiau didinant iškastinių išteklių sunaudojimą ir aplinkos užteršimą plastikais.
2. Naudojant būvio ciklo vertinimo metodiką, buvo nuspręsta atlikti palyginamąjį poveikio vertinimą trijų populiariausių veido apsaugos priemonių (medicininės kaukės, respiratorių FFP1 ir FFP2) gamtai ir žmogui, bei tuo pačiu palyginti naujos, rinkoje dar nepasirodžiusios alternatyvos – permatomos kompozitinės veido kaukės – poveikį aplinkai, tikintis, kad ši alternatyva galėtų suteikti ne tik efektyvią apsaugą nuo užkrato, bet ir darytų mažesnę poveikį aplinkai nei konkurencingi produktai, bei pagerintų bendravimo kokybę tarp žmonių. Surinkus inventorinius skirtingų veido apsaugos priemonių gamybos ir šalinimo procesų duomenis iš literatūros ir „SimaPro 9.0“ duomenų bazės, buvo atlikta inventorinių duomenų analizė, aprašant reikalingus kiekius medžiagų, elektros energijos apsauginių kaukių gamybai, bei apskaičiuojant emisijas į aplinką.
3. Atlikus modeliavimą „SimaPro 9.0“ programinėje įrangoje, gauti charakterizuoti poveikio vertinimo rezultatai parodė, kad daugumoje poveikio kategorijų medicininė kaukė daro didžiausią įtaką, lyginant su kitomis kaukėmis. Antroje vietoje pagal poveikio dydį dažniausiai matomas FFP2 respiratorius, kurio poveikio dydis yra 30 – 40 % mažesnis už medicininės kaukės. Toliau šiek tiek mažesniu nei FFP2 respiratorius poveikiu pasižymi FFP1 respiratorius. Daugumoje kategorijų mažiausiu poveikiu pasižymėjo permatoma kompozitinė kaukė, kurios įtaka įvairioms kategorijoms mažesnė už medicininės kaukės apie 70-80 %, priklausomai nuo kategorijos. Normalizuoti poveikio rezultatai parodė, kad visos kaukės didžiausią neigiamą poveikį daro žmogaus sveikatos kategorijai, o mažiausią išteklių kategorijai. Visoms trimis kategorijoms didžiausią neigiamą poveikį sudaro medicininė kaukė – žmogaus sveikatos kategorijai 92,7 % didesnę nei ekosistemoms ir 94,3 % didesnę poveikį nei ištekliais. Žmogaus sveikatos poveikio kategorijoje didžiausią įtaką turi medicininė kaukė, kurios daromas poveikis yra 65,5 % didesnis už permatomos kompozitinės kaukės, kuri turi mažiausią poveikį žmogaus sveikatai. Ekosistemų kategorijoje didžiausiu daromu poveikiu vėl pasižymi medicininė kaukė, kuris yra 59,5 % didesnis už permatomos kompozitinės kaukės. Medicininė kaukė išteklių kategorijoje taip pat sudaro didžiausią poveikį, kuris yra 52,0 % didesnis už FFP1 respiratoriaus (mažiausias poveikis išteklių kategorijoje).
4. Atlikus jautrumo analizę, matoma, kad didžiausias neigiamas apsauginių veido kaukių poveikis išlieka žmogaus sveikatos kategorijai, o mažiausias išteklių kategorijai. Medicininė kaukė visose kategorijose sudaro didžiausią poveikį, lyginant su kitomis kaukėmis. Matant gautus jautrumo analizės rezultatus, galima teigti, kad modelis sudarytas tinkamai ir rezultatai yra patikimi.
5. Atlikus veido apsaugos priemonių būvio ciklo vertinimą, nustatyta, kad permatoma kompozitinė kaukė daro mažesnę poveikį aplinkai nei visi kiti nagrinėjami produktai. Lyginant jau esančius rinkoje produktus, didžiausias neigiamas poveikis aplinkai gautas medicininei kaukei. Tam įtakos turi sunaudojami produktų kiekiai, siekiant išlaikyti patikimą apsaugą numatytame laikotarpyje. FFP2 arba FFP1 respiratorių naudojimas būtų tvaresnis pasirinkimas, norint užsitikrinti aukštesnio lygio apsaugą.

Literatūros sąrašas

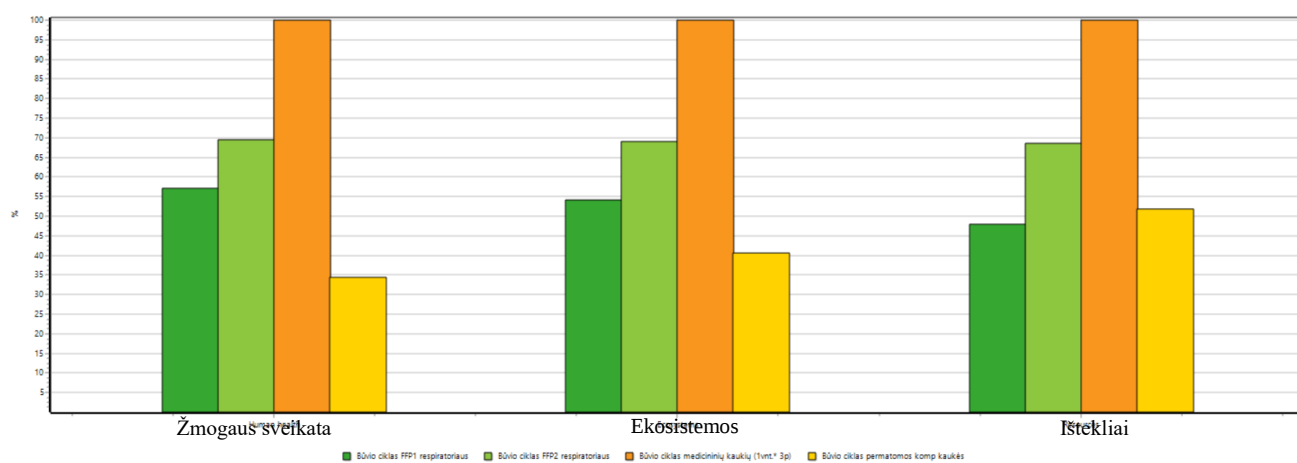
1. „Coronavirus disease (COVID-19)“. https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019?gclid=CjwKCAjww-CGBhALEiwAQzWxOjkBCL5QQd31vuHJJW9qTywscTgh2blGiJ_jh4QqesE9C_7tOVfFpBoCff8QAvD_BwE (žiūrėta birž. 27, 2021).
2. Ankit *et al.*, „Environmental impact of COVID-19 pandemic: more negatives than positives“, *Environ. Sustain.*, nr. 0123456789, 2021, doi: 10.1007/s42398-021-00159-9.
3. M. A. Zambrano-Monserrate, M. A. Ruano, ir L. Sanchez-Alcalde, „Indirect effects of COVID-19 on the environment“, *Sci. Total Environ.*, t. 728, p. 138813, rugpj. 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138813.
4. S. Muhammad, X. Long, ir M. Salman, „COVID-19 pandemic and environmental pollution: A blessing in disguise?“, *Sci. Total Environ.*, t. 728, p. 138820, 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138820.
5. N. J. Rowan ir J. G. Laffey, „Unlocking the surge in demand for personal and protective equipment (PPE) and improvised face coverings arising from coronavirus disease (COVID-19) pandemic – Implications for efficacy, re-use and sustainable waste management“, *Sci. Total Environ.*, t. 752, p. 142259, 2021, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.142259.
6. S. Saadat, D. Rawtani, ir C. M. Hussain, „Environmental perspective of COVID-19“, *Sci. Total Environ.*, t. 728, p. 138870, 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138870.
7. A. Mahmood *et al.*, „COVID-19 and frequent use of hand sanitizers; human health and environmental hazards by exposure pathways“, *Sci. Total Environ.*, t. 742, p. 140561, 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140561.
8. C. Geller, M. Varbanov, ir R. E. Duval, „Human coronaviruses: Insights into environmental resistance and its influence on the development of new antiseptic strategies“, *Viruses*, t. 4, nr. 11, p. 3044–3068, 2012, doi: 10.3390/v4113044.
9. R. H. Gee, A. Charles, N. Taylor, ir P. D. Darbre, „Oestrogenic and androgenic activity of triclosan in breast cancer cells“, *J. Appl. Toxicol. J. Appl. Toxicol.*, t. 28, p. 78–91, 2008, doi: 10.1002/jat.
10. J. J. Klemeš, Y. Van Fan, R. R. Tan, ir P. Jiang, „Minimising the present and future plastic waste, energy and environmental footprints related to COVID-19“, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, t. 127, nr. April, 2020, doi: 10.1016/j.rser.2020.109883.
11. N. van Doremalen *et al.*, „Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1“, *The New England journal of medicine*, t. 382, nr. 16, p. 1564–1567, bal. 2020, doi: 10.1056/NEJMc2004973.
12. B. Van Straten ir E. Putman, „A Life Cycle Assessment of reprocessing face masks during the Covid-19 pandemic“, *Res. Sq.*, p. 1–15, [Interaktyvus]. Available at: https://www.researchsquare.com/article/rs-148523/latest?utm_source=researcher_app&utm_medium=referral&utm_campaign=RESR_MRKT_Researcher_inbound.
13. S. Ilyas, R. R. Srivastava, ir H. Kim, „Disinfection technology and strategies for COVID-19 hospital and bio-medical waste management“, *Sci. Total Environ.*, t. 749, p. 141652, 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.141652.
14. N. B. Rodríguez, G. Formentini, C. Favi, ir M. Marconi, „Environmental implication of personal protection equipment in the pandemic era: LCA comparison of face masks typologies“, *Procedia CIRP*, t. 98, p. 306–311, 2021, doi: 10.1016/j.procir.2021.01.108.
15. M. Schmutz *et al.*, „Cotton and surgical masks—what ecological factors are relevant for their sustainability?“, *Sustain.*, t. 12, nr. 24, p. 1–13, 2020, doi: 10.3390/su122410245.
16. K. Selvaranjan, S. Navaratnam, P. Rajeev, ir N. Ravintherakumaran, „Environmental challenges induced by extensive use of face masks during COVID-19: A review and potential solutions“, *Environ. Challenges*, t. 3, nr. November 2020, p. 100039, 2021, doi: 10.1016/j.envc.2021.100039.

17. S. Sangkham, „Face mask and medical waste disposal during the novel COVID-19 pandemic in Asia“, *Case Stud. Chem. Environ. Eng.*, t. 2, nr. September, p. 100052, 2020, doi: 10.1016/j.cscee.2020.100052.
18. J. J. Klemeš, Y. Van Fan, ir P. Jiang, „The energy and environmental footprints of COVID-19 fighting measures – PPE, disinfection, supply chains“, *Energy*, t. 211, nr. x, 2020, doi: 10.1016/j.energy.2020.118701.
19. A. L. Allison *et al.*, „The environmental dangers of employing single-use face masks as part of a COVID-19 exit strategy“, 2020.
20. M. D. Williams-Wynn ir P. Naidoo, „A review of the treatment options for marine plastic waste in South Africa“, *Mar. Pollut. Bull.*, t. 161, nr. PB, p. 111785, 2020, doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111785.
21. Y. Yang, W. Liu, Z. Zhang, H. P. Grossart, ir G. M. Gadd, „Microplastics provide new microbial niches in aquatic environments“, *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, t. 104, nr. 15, p. 6501–6511, 2020, doi: 10.1007/s00253-020-10704-x.
22. C. Ashworth, „More masks, more problems: Covid waste pollutes oceans“, *Thaiger.[Google Sch.]*, 2020.
23. A. Kassam, „More masks than jellyfish’: coronavirus waste ends up in ocean“, *Guard.*, t. 8, 2020.
24. H. Kumar *et al.*, „COVID-19 Creating another problem? Sustainable solution for PPE disposal through LCA approach“, *Environ. Dev. Sustain.*, t. 23, nr. 6, p. 9418–9432, 2021, doi: 10.1007/s10668-020-01033-0.
25. World Health Organization (WHO), „Guide to Local Production: WHO-recommended Handrub Formulations Introduction“, *Who*, nr. April, p. 9, 2010, [Interaktyvus]. Available at: https://www.who.int/gpsc/5may/Guide_to_Local_Production.pdf.
26. „How to Manufacture Hand Sanitizer: Complete Equipment List Included - BeCleanse“. <https://www.becleanse.com/manufacture-hand-sanitizer/> (žiūrėta birž. 23, 2021).
27. „How are Medical Gloves Made?“ <https://www.thomasnet.com/articles/other/how-to-make-medical-gloves/> (žiūrėta birž. 25, 2021).
28. „How Nitrile and Vinyl Gloves Are Made - Omni International“. <https://omnigloves.com/2020/07/17/how-nitrile-and-vinyl-gloves-are-made/> (žiūrėta birž. 25, 2021).
29. S. Adanur ir A. Jayswal, „Filtration mechanisms and manufacturing methods of face masks: An overview“, doi: 10.1177/1528083720980169.
30. A. Tcharkhtchi, N. Abbasnezhad, M. Zarbini Seydani, N. Zirak, S. Farzaneh, ir M. Shirinbayan, „An overview of filtration efficiency through the masks: Mechanisms of the aerosols penetration“, *Bioact. Mater.*, t. 6, nr. 1, p. 106–122, saus. 2021, doi: 10.1016/j.bioactmat.2020.08.002.
31. „Surgical Face Masks: Manufacturing Methods and Classification“. <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:fNBWjqcU78J:jairjp.com/NOVEMBER%25202013/02%2520CHELLAMANI%25201.pdf+%&cd=1&hl=lt&ct=clnk&gl=lt> (žiūrėta birž. 26, 2021).
32. S. Adanur ir A. Jayswal, „Filtration mechanisms and manufacturing methods of face masks: An overview“, *J. Ind. Text.*, 2020, doi: 10.1177/1528083720980169.
33. I. V. Muralikrishna ir V. Manickam, „Life Cycle Assessment“, *Environmental Management*, Elsevier, 2017, p. 57–75.
34. L. S. DEPARTAMENTAS, *Aplinkos vadyba. Būvio ciklo įvertinimas. Reikalavimai ir nurodymai (ISO 14044:2006)*. LIETUVA, 2008, p. 51.
35. S. Park, J. H. Choi, ir J. Park, „The estimation of N₂O emissions from municipal solid waste incineration facilities: The Korea case“, *Waste Manag.*, t. 31, nr. 8, p. 1765–1771, rugpj. 2011, doi: 10.1016/J.WASMAN.2011.03.010.
36. G. A. Kristanto ir W. Koven, „Estimating greenhouse gas emissions from municipal solid waste management in Depok, Indonesia“, *City Environ. Interact.*, t. 4, nr. 2019, p. 100027,

- 2019, doi: 10.1016/j.cacint.2020.100027.
37. A. Nzihou *et al.*, „Dioxin emissions from municipal solid waste incinerators (MSWIs) in France To cite this version : HAL Id : hal-01632399“, 2019.
 38. M. Tabatabaei *et al.*, „Exergy intensity and environmental consequences of the medical face masks curtailing the COVID-19 pandemic: Malign bodyguard?“, *J. Clean. Prod.*, t. 313, p. 127880, rugs. 2021, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2021.127880.
 39. Pré, „Simapro Database Manual“, p. 3–48, 2014, [Interaktyvus]. Available at: <http://www.pre-sustainability.com/download/DatabaseManualMethods.pdf>.
 40. W. Wei, P. Larrey-Lassalle, T. Faure, N. Dumoulin, P. Roux, ir J. D. Mathias, „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“, *Environ. Sci. Technol.*, t. 49, nr. 1, p. 377–385, saus. 2015, doi: 10.1021/ES502128K/SUPPL_FILE/ES502128K_SI_001.PDF.

Priedai

1 priedas. Apsauginių veido kaukių būvio ciklo vertinimas ir palyginimas skirtingoms poveikio kategorijoms. Žalos vertinimas



20 pav. Apsauginių veido kaukių būvio ciklo vertinimas ir palyginimas trimis skirtingoms poveikio kategorijoms (žalos vertinimo grafikas)