



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**CHEMINĖS TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS**

**Ingrida Merkelienė**

**STIKLO ATLIEKŲ PANAUDOJIMO POVEIKIO APLINKAI**  
**VERTINIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovė:**

Doc. Inga Stasiulaitienė

**KAUNAS, 2017**

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**CEMINĖS TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS**

**Stiklo atliekų panaudojimo poveikio aplinkai vertinimas**

Baigiamasis magistro projektas

**Studijų programos pavadinimas (kodas 612H17001)**

**Vadovas**

(parašas) Doc. Inga Stasiulaitienė

(data)

**Recenzentas**

(parašas) Prof. L. Kliučininkas

(data)

**Projektą atliko**

(parašas) Ingrida Merkelienė

(data)

**KAUNAS, 2017**



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Cheminės technologijos

(Fakultetas)

Ingrida Merkelienė

(Studento vardas, pavardė)

Aplinkosaugos inžinerija, kodas 612H17001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Pavadinimas“

### AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 17 m. \_\_\_\_\_ d.  
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Ingridos Merkelienės**, baigiamasis projektas, kurio tema „Stiklo atliekų panaudojimo poveikio aplinkai vertinimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

\_\_\_\_\_  
(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

\_\_\_\_\_  
(parašas)

Merkelienė I. Stiklo atliekų panaudojimo poveikio aplinkai vertinimas. Magistro baigiamasis projektas/ vadovė Doc. Inga Stasiulaitienė; Kauno technologijos universitetas, Cheminės technologijos fakultetas.

Mokslų kryptis ir sritis: Bendroji inžinerija, technologijos mokslai

Reikšminiai žodžiai: pakuotė, stiklo duženos, būvio ciklo vertinimas, ciklinė ekonomika. .  
Kaunas, 2017. 54 p.

## **SANTRAUKA**

Ciklinės ekonomikos sistema susiformavo dėl gamybos ir vartojimo didėjančios įtakos pasaulio ištekliams ir aplinkai. Tai sąlygojo būtinybę siekti tvaraus augimo, kuris padeda ilgiau išlaikyti produktų pridėtinę vertę ir padidinti galimybę pakartotinai panaudoti produktų sudedamąsias dalis. Vienos iš tokių atliekų yra stiklinės pakuotės.

Darbe nagrinėjama stiklo butelių gamybos proceso kenksmingumo lygis aplinkai ir žmogaus sveikatai. Siekiant mažinti keliamą neigiamą poveikį žmogaus sveikatai ir aplinkai siūloma gamybai naudoti stiklo duženas.

Atlikta stiklinės alaus taros būvio ciklo analizė rementis ISO 14044:2007 ir ISO 14040:2007 standartais.

Išanalizavus keturis skirtingus stiklo gamybos procesus, kuriuose atitinkamai buvo naudojama: 1) tik pradinės žaliavos; 2) 40 proc. stiklo duženų; 3) 65 proc. stiklo duženų; 4) 100 proc. stiklo duženų, parodė, kad geriausias ir mažiausią poveikį keliantis visose poveikio kategorijose yra 100 proc. stiklo duženų perdirbimas.

Merkelienė I. Impact Assessment of Glass Waste Utilization: Master's thesis in Environmental Engineering. Supervisor Doc. Inga Stasiulaitienė; The Faculty of Chemical Technology, Kaunas University of Technology.

Research area and field: General Engineering, Technology Sciences

Key words: package, life cycle assessment, cullet, cyclic economy.

Kaunas, 2017. 54 p.

## **SUMMARY**

Cyclic Economy system developed due to the growing influence of production and consumption on the world's resources and environment. This resulted the need to achieve the sustainable growth which helps to keep the product's added value and also to increase the possibility to re-use the components of the product. One of this type of waste is glass packaging.

Harmful levels in the glass bottle manufacturing process for the environment and human health are examined in this work. In order to reduce the negative effects on human health and the environment, it is proposed to use crushed glass in the production.

The study carried out the analysis of a glass beer container life cycle based on ISO 14044: 2007 and ISO 14040: 2007 standards.

The analysis of four different glass manufacturing processes, which respectively were used: 1) only original raw materials; 2) 40 percent cullet; 3) 65 percent cullet; 4) 100 percent cullet, the results showed that the best and the least effect in terms of negative impact in all categories is 100 percent cullet processing. Negative effect for human health decreases 98.9 percent. Effects on ecosystems is reduced to a minimum, the damage declines 99.5 percent. The least impact is achieved in resource category, the negative effect is reduced 75 percent.

# TURINYS

1.	LITERATŪROS APŽVALGA .....	11
1.1.	Pakavimo medžiagų analizė .....	11
1.2.	Atliekų pakartotinis panaudojimas .....	12
1.3.	Stiklo pakuočių atliekos .....	13
1.4.	Stiklo pakuočių atliekų kiekiai pasaulyje ir Lietuvoje .....	14
1.5.	Stiklinių butelių gamybos procesas .....	16
1.6.	Pradinių stiklo medžiagų paruošimo ir būvio ciklo analizė.....	19
1.7.	Taros gamybos būvio ciklo analizė .....	22
	Literatūros apžvalgos apibendrinimas .....	23
2.	METODOLOGINĖ DALIS.....	24
2.1.	Tyrimo tikslo ir apimties apibrėžimas .....	25
2.2.	Inventorinė analizė. ....	27
2.4.	Poveikio vertinimas .....	29
3.	REZULTATAI .....	31
3.1.	Tyrimo tikslo ir apimties apibrėžimas .....	31
3.2.	Inventorinė analizė. ....	32
3.3.	Poveikio vertinimas .....	44
	IŠVADOS .....	46
	LITERATŪRA .....	47
	PRIEDAI .....	51

## LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.1 lentelė. Perdirbamas stiklo pakuočių kiekis Lietuvoje 2005-2014 m. ....	16
3.2 lentelė. Stiklinių alaus butelių parametrai. ....	31
3.3 lentelė. Žaliavų cheminė sudėtis, % .....	33
3.4 lentelė. Gaminamo stiklo procentinė sudėtis.....	33
3.5 lentelė. Apskaičiuota įkrovos ir stiklo sudėtis.....	34
3.6 lentelė. Įkrovos maišinio sudėtis. ....	34
3.7 lentelė. Žaliavų kiekiai reikalingi stiklo gamybai su stiklo duženomis. ....	34
3.8 lentelė. Energijos sąnaudos stiklo butelių gamyboje. ....	35

## PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Pakuočių atliekų kiekiai pasaulyje (2014) .....	14
1.2 pav. Europoje perdirbamo stiklo normos 2014 m.....	15
1.3 pav. Stiklinės taros gamybos linija. ....	17
1.4 pav. Hidraulinio ciklono schema. ....	20
1.5 pav. Būgninės džiovyklos schema. ....	21
2.6 pav. Būvio ciklo vertinimo struktūra. (LST EN ISO 14040:2007).....	25
2.7 pav. Produkto sistema ir jo ribos (ISO 14044:2007) .....	27
2.8 pav. Schematinis poveikio vertinimo atvaizdavimas.....	30
3.9 pav. Stiklinių butelių gamybos sistemos ribos.....	32
3.10 pav. Stiklo taros gamybos proceso poveikių vertinimas skirtingoms poveikio kategorijoms (iš pradinių žaliavų). ....	36
3.11 pav. Stiklo taros gamybos proceso poveikių vertinimas skirtingoms poveikio kategorijoms (gamyba iš pradinių žaliavų ir 40 proc. stiklo duženų).....	36
3.12 pav. Stiklo taros gamybos proceso poveikių vertinimas skirtingoms poveikio kategorijoms (gamyba iš 40 ir 60 proc. stiklo duženų).....	37
3.13 pav. Stiklo taros gamybos proceso poveikių vertinimas skirtingoms poveikio kategorijoms (gamyba iš 60 ir 100 proc. stiklo duženų).....	38
3.14 pav. Stiklo taros gamybos proceso poveikių vertinimas skirtingoms poveikio kategorijoms (gamyba iš 40, 60 ir 100 proc. stiklo duženų).....	39
3.15 pav. Stiklo taros gamybos proceso poveikių vertinimas skirtingoms poveikio kategorijoms, įvertinus brokuotus produktus.....	39
3.16 pav. Stiklo taros gamybos proceso poveikių vertinimas skirtingoms poveikio kategorijoms, įvertinus brokuotus produktus.....	40
3.17 pav. Svorinis stiklo taros gamybos procesų palyginamasis poveikio vertinimas (40 ir 65 proc. stiklo duženų).....	41
3.18 pav. Svorinis stiklo taros gamybos proceso poveikių vertinimas skirtingoms poveikio kategorijoms, (65 ir 100 proc. stiklo duženų). ....	42
3.19 pav. Svorinis stiklo taros gamybos proceso poveikių vertinimas skirtingoms poveikio kategorijoms, įvertinus brokuotus produktus.....	42
3.20 pav. Svorinis stiklo taros gamybos proceso poveikių vertinimas skirtingoms poveikio kategorijoms, įvertinus brokuotus produktus.....	43
3.21 pav. Stiklo taros gamybos proceso poveikių vertinimas skirtingoms poveikio kategorijoms, įvertinus brokuotus produktus (gamyba iš 1000 kg ir 1200 kg stiklo duženų).....	44
3.22 pav. Energija suvartojama stiklo taros gamyboje. ....	45



# IŽANGA

**Darbo aktualumas.** Pastovus gyventojų augimas sąlygoja didesnę energijos išteklių suvartojimą, augančią oro taršą bei didėjančią atliekų kiekį. Europos Sąjungos (ES) valstybės kaupdamos sąvartynuose medžiagas, kurios gali būti tikslingai panaudojamos, grąžinamos pakartotiniam naudojimui arba perdirbamos, praranda vertingas medžiagas. Pasaulyje gamtos būklės pažeidžiamumas didėja dėl gamtos išteklių eikvojimo. Klasikinės produktų gamybos sistemos yra paremtos linijine ekonomika - gamyba, tiekimas, vartojimas, šalinimas. Norint išsaugoti švarią aplinką ateities kartoms linijinė ekonomika turėtų būti keičiama [1].

Naudojant linijinę ekonomiką šalyse sparčiai plečiasi sąvartynai, kurie niokoja kraštovaizdį, daro neigiamą poveikį vandens, oro ir dirvožemio kokybei. ES vienam gyventojui vidutiniškai tenka apie 500 kg komunalinių atliekų. Mažiausi atliekų kiekiai (apie 300 kg vienam gyventojui), tenka vienam Latvijos, Estijos, Lenkijos, Slovakijos, Rumunijos ir Lietuvos gyventojui. Didžiausi atliekų kiekiai šalinami į sąvartynus susidaro Kipre – 760 kg vienam gyventojui [2]. Didelį kiekį šių atliekų sudaro pakuotės, pagal 2014 metų ES statistikos duomenis vienam gyventojui vidutiniškai tenka 162,6 kg pakuočių atliekų. Šis kiekis svyruoja nuo 48,3 kg vienam gyventojui Kroatijoje, iki 219,5 kg vienam gyventojui Vokietijoje. Lietuvoje – 100 kg pakuočių atliekų vienam gyventojui, iš kurių stiklo pakuotės sudaro apie 19% pakuočių atliekų [3],[4].

Ciklinės ekonomikos esmė yra atliekų susidarymo vengimas. Pasibaigus gaminių naudojimo trukmei, jų ištekčiai išlieka ekonomikoje ir jie gali būti vėl ir vėl produktyviai naudojami tokiu būdu sukuriant papildomą vertę. Siekiant ciklinės ekonomikos reikia įdiegti atgalinį panaudoto produkto srautą tiekėjui: gamyba, tiekimas, vartojimas, rūšiavimas, atliekų surinkimas ir perdirbimas. Tai reiškia sistemos permainas, nuo gaminio projektavimo, nuo atliekų vertimo ištekliais iki naujo vartotojų suvokimo apie atliekų vertę [5].

Norint efektyviai tausoti išteklių naudojimą būtina pereiti prie ciklinės ekonomikos principų. Visas pramonės šakas sparčiau įsigilinti ir įdiegti ciklinę ekonomiką verčia griežtėjantys teisiniai reikalavimai gamybai, Šie reikalavimai gamybai reikalauja atidaus sunkaus inžinerinio projektavimo, turimų technologijų peržiūrėjimo bei tobulinimo. Produkto būvio ciklo vertinimas yra viena iš priemonių norint optimizuoti gamybos našumą geriausiomis sąlygomis atsižvelgiant į gamybos keliamą poveikį aplinkai [6].

Darbo tikslas – palyginti poveikį aplinkai, naudojant skirtingus stiklo duženų kiekius, stiklo butelių gamybai.

Tyrimo objektas – stiklinių alaus butelių gamybos proceso kenksmingumo lygio analizė: aplinkai ir žmogaus sveikatai.

Uždaviniai:

1. Atlikti teorinę darbo dalies apžvalgą stiklo atliekų panaudojimo ir būvio ciklo vertinimo tema.
2. Išanalizuoti galimus perdirbti stiklo atliekų srautus ir jų kiekius pasaulyje ir Lietuvoje.
3. Palyginti stiklo gamybos metu, naudojant 40%,65% ir 100% stiklo duženų, daromą poveikį aplinkai, būvio ciklo vertinimo metodu.
4. Suformuoti išvadas ir pateikti rekomendacijas.

# 1. LITERATŪROS APŽVALGA

## 1.1. Pakavimo medžiagų analizė

Europos komisija įpareigoja valstybės nares suderinti atliekų tvarkymą ir vykdyti atliekų hierarchiją. Tai reiškia, kad pakuotė po panaudojimo virtusi atlieka turi būti perdirbama, biologiškai skaidi arba skirta energijos atgavimui. Direktyva 94/62/EB "dėl pakuočių atliekų" reikalauja, kad 45 proc. pakuotės būtų pagaminta iš perdirbamų medžiagų [7].

Dažniausiai naudojamos pakavimo medžiagos yra popierius ir kartonas, stiklas, metalas bei plastikai.

Daroma žala aplinkai priklauso nuo pakuotės sudedamųjų dalių savybių. Pakuotė pagaminta iš polietileno tereftalato yra laikoma geriausia pakuote dėl minimalaus pakuotės svorio ir 100 proc. perdirbimo galimybės. Kaip blogiausia pakavimo medžiaga yra laikoma stiklo pakuotė, dėl jos didelio svorio bei trapumo.

Gaminant stiklines pakuotes būtina atsižvelgti į [8]:

- pakuotės svorį;
- pakuotės perdirbimo galimybes;
- pakuotės kiekį tinkantį grąžinimui į naujo butelio gamybą;
- perdirbimo ciklo kokybę.

"Jautrūs" parametrai daugkartinio naudojimo buteliams [9]:

- pakartotinio pripildymo galimybė;
- transportavimo atstumas nuo užpildymo iki parduotuvės;
- energijos ir vandens sąnaudos butelių valymui.

Pakavimo medžiagų gamyba, tokių kaip stikliniai buteliai turi būti reguliuojami teisės aktais. Siekiant mažinti anglies dioksido emisijas į aplinką turi būti užtikrintas panaudoto butelio grąžinimas į stiklo pakuočių gamybą. Tai ne tik užtikrins aplinkos taršos mažinimą, bet ir sukurs pridėtinę ekonominę vertę [10].

Pakuotės svoris, atsparumas smūgiams priklauso nuo transportavimo kelio, kuo didesniu atstumu yra transportuojama prekė, tuo pakuotė yra atsparesnė ir storesnė, sunkesnė, tai sukelia papildomą naštą aplinkai. Pavyzdžiui stiklinis butelis yra aukšto jautrumo, vienam kilogramui skysčio apsaugoti reikia vieno kilogramo stiklo. Tačiau ne visada tūrio mažinimas yra puiki alternatyva aplinkos apsaugai. Pavyzdžiui aliuminio pakuotei pagaminti yra sunaudojama žymiai daugiau energijos, nei stiklo pakuotei [11].

## 1.2. Atliekų pakartotinis panaudojimas

Įvairiuose mokslinės literatūros šaltiniuose pateikiamas vieningas atliekų apibrėžties suvokimas. Pasak W.Y. Tam ir C.M. Tam (2006) atliekos tai, bet kokia medžiaga, daiktas ar žmonių ir jų veiklos pašalinis produktas, neturintis išliekamosios vertės, kurių turėtojas ketina ar privalo atsikratyti [12]. Šiai nuomonei ir atliekų apibrėžčiai visiškai pritaria ir Deividas Z. (2012) [13].

Tikslingiausią požiūrį į atliekas išreiškia Pavlas ir Toušas (2008), jie teigia, kad visuomenės sukuriama atliekos nėra bevertės, galima teigti, kad kiekvieną atliekų srautą sudaro dalis vertingų medžiagų [14].

Vis sparčiau augantys įvairių atliekų kiekiai, didėjantis žemės trūkumas sąvartynų plėtrai, bei išmetamų atliekų ilgaamžiškumas verčia kuo skubiau susimąstyti apie atliekų pakartotinį panaudojimą, bei perdirbimą. Be to atliekų perdirbimas ir vėlesnis pakartotinis panaudojimas gali sumažinti gamtos išteklių paklausą, kuri galiausiai sukeltų tvaresnę aplinką [15].

Dingas ir kt. (2012) teigia, kad didinamas perdirbamų medžiagų naudojimas gamybos procese gali įtakoti aplinkos naštos mažinimą, taupant pirmines žaliavas ir gamybos energiją. Tačiau 100 proc. perdirbamų medžiagų naudojimas ne visais atvejais gali sukelti emisijų mažinimą, nes kai kuriais atvejais surinkimo ir perdirbimo sistemos gali kelti didesnę naštą aplinkai, nei pakuočių gamybos procesas iš pradinių žaliavų [16][17].

Gerai žinoma, kad pramoninėse šalyse susidaro dideli kiekiai atliekų, švaistydami lėšas pradiniam gamybos produktams ir netausodami neatsinaujinančių gamtos išteklių. Yra aiškus poreikis didinti išteklių naudojimo efektyvumą ir sumažinti poveikį aplinkai bei klimato kaitą. Nemaža dalis atliekų gali būti perdirbama į tuos pačius produktus, iš kurių susidarė kaip atlieka (uždaras gamybos ciklas). Tačiau nepaisant didelės pažangos perdirbimo procesuose, kai kuriais atvejais atliekų perdirbimas į pradinį produktą nėra geriausias pasirinktas būdas, dėl produkto kokybės prastėjimo ir techninių parametrų silpnėjimo. Dėl šių priežasčių atsiranda galimybė atliekas panaudoti kito produkto kūrimo procese.

Norint užtikrinti atliekų patekimą į perdirbimo įmones labai svarbu, kad jos nebūtų sumaišytos su komunalinėmis atliekomis. Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakyme Nr.217 "Dėl atliekų tvarkymo taisyklių patvirtinimo" komunalinės atliekos apibrėžiamos kaip atliekos kurios nėra tinkamos perdirbti ar pakartotinai panaudoti. Kiekvienas atliekų turėtojas privalo susidariusias antrines žaliavas atskirti nuo kitų komunalinių atliekų. Antrinės žaliavos turi būti rūšiuojamos pagal medžiagas ir šalinamos tik į tam skirtus antrinių žaliavų surinkimo konteinerius. Vertinant ir lyginant buitinių atliekų valymo galimybes, politikos formuotojai turi atsižvelgti į įvairius aplinkos, ekonomikos ir socialinius kriterijus. Aplinkosauginiu požiūriu

svarbiausi kriterijai yra tai, kad nukreipus atliekas į energijos atgavimo sistemas (deginimą) ar jų perdirbimą, neišsiskirtų didesni kiekiai išmetamų teršalų į vandenį bei orą.

Analizuojant atliekų panaudojimo scenarijus, perdirbimo sistemos turi pranašumą lyginant su deginimo procesais, perdirbimo procese sutaupomos pradinės žaliavos, bei gamybos energijos kiekiai, ko neįtakoja deginimo procesas. Deginimo procese yra naudojamas papildomas kiekis energijos, degimo procesui palaikyti, taip pat kadangi medžiagos nėra grąžinamos į produkto gamybą tai nesudaro galimybės mažinti išteklius, bei energiją šiame sektoriuje [18]. Tačiau abi sistemos turi teigiamą įtaką žemės naudojimui, perdirbimo ir deginimo sistemos užtikrina sąvartynų mažinimą [19].

### **1.3. Stiklo pakuočių atliekos**

"Pakuočių atliekos" reiškia bet kokią pakuotę arba pakuotės medžiagą, kuriai taikomas atliekų apibrėžtis Direktyvoje 2008/98 / EB, išskyrus gamybos atliekas.

Stiklas yra vienas pagrindinių atliekų visuose miestuose visame pasaulyje. Stiklo kiekiai yra labai dideli, turimi duomenys rodo, kad Europoje pagaminama 17 milijonų tonų stiklo [3]

Faktai apie stiklo atliekas [20]:

- Norint gauti 1 kg naujo stiklo, tausojant gamtos išteklius, prireiks perdirbti 1 kg stiklo duženų.
- Stiklo atliekos yra ilgaamžės ir gamtoje sudūlėja tik per 900 metų.
- Gaminant stiklą iš stiklo duženų, sutaupoma apie 25 proc. energijos, 20 proc. sumažėja oro tarša, 50 proc. – vandens tarša.
- Stiklo kokybė nepriklauso nuo to ar stiklas bus pagamintas iš pirminių žaliavų, ar iš perdirbtų stiklo atliekų. Stiklą galima perdirbti neribotą kiekį kartų.
- Stiklo atliekų į komunalines atliekas patenka apie 9-11 proc.
- Vertinama, kad Lietuvoje susidaro apie 33 kg stiklo atliekų vienam gyventojui.
- Vieno stiklinio butelio perdirbimas sutaupo pakankamai energijos:
  - 100 vatų elektros lemputei šviesti apie valandą laiko;
  - Kompiuteriui veikti 20 minučių;
  - Spalvotam televizoriui veikti 15 minučių;
  - Skalbimo mašinai veikti 10 minučių.
- Tonos stiklo atliekų perdirbimas leidžia išvengti 315 kg anglies dioksido (CO<sub>2</sub>) išmetimo į atmosferą.

Besiplečiantys sąvartynai vis labiau gadina šalių kraštovaizdį, bei kelia didelį susirūpinimą dėl vis sparčiau augančios aplinkos taršos. Dėl senkančios vietos sąvartynuose, intensyvėja

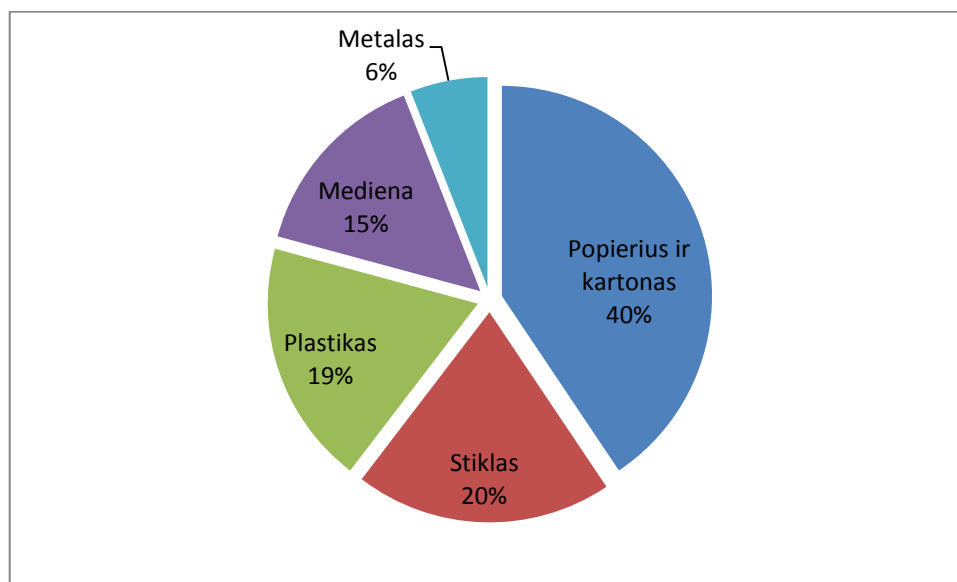
visuomenės skatinimas rūšiuoti atliekas. Kad būtų minimalizuojama žala aplinkai būtina galimas perdirbti atliekas išskirti iš bendrų komunalinių atliekų srauto.

Komunalinių atliekų sudėties skirtumai priklauso nuo skirtingų šalių ekonominio išsilavinimo lygio. Lietuva nėra priskiriama prie pažangiųjų "rūšiuotojų" šalių, tačiau kasmet griežtėjantys įstatymai verčia gyventojus susimąstyti ir atidžiau elgtis su atliekomis.

#### 1.4. Stiklo pakuočių atliekų kiekiai pasaulyje ir Lietuvoje

Stiklo kaip ir kitų komunalinių atliekų susidarymas tiek Lietuvoje, tiek pasaulyje užima labai didelius kiekybinius rodiklius. Tai visame pasaulyje kelia svarbias diskusijas apie šių rodiklių mažinimą. Stiklines pakuotes gaminančios įmonės yra suinteresuotos supirkti, kuomet daugiau stiklo duženų, nes stiklo atliekų naudojimas gamyboje užtikrina gamtinių išteklių naudojimo mažinimą, bei aplinkos kokybės gerinimą, kas yra aktualu šiuolaikinėje visuomenėje. Gamybininkai tikina, kad į šiukšlių konteinerius patekęs stiklas iš tiesų yra vertinga žaliava.

Visame pasaulyje kiekvienoje pramonės šakoje yra naudojamos įvairių medžiagų bei sudėties pakuotės, dėl produkto saugaus transportavimo, kokybės bei tinkamo vartojimo termino išlaikymo. Po produkto panaudojimo (suvartojimo) pakuotė virsta atlieka, kuri tik retais atvejais yra grąžinama į antrinį panaudojimą [3].



1.1 pav. Pakuočių atliekų kiekiai pasaulyje (2014) [3]

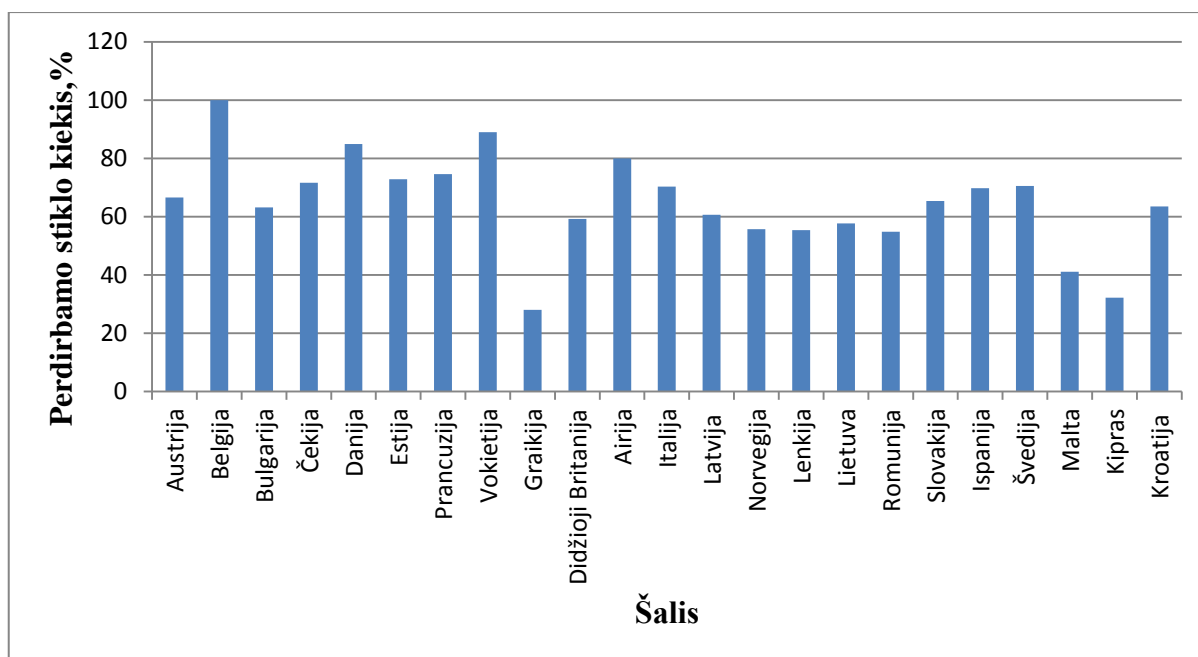
Didžiausią atliekų dalį pakuočių sektoriuje sudaro popierinės ir kartoninės pakuotės, šių medžiagų irimo laikotarpis yra nuo 1 mėnesio iki 2 metų. Didesnį susirūpinimą kelia stiklinės pakuotės kurios užima antrąją vietą pagal pagaminimo ir naudojimo kiekius. Stiklo pakuotės irimo laikotarpis yra iki 900 metų. Neatskiriant stiklo iš komunalinių atliekų srauto keliamas

didelis pavojus aplinkai. Stiklas yra 100 proc. perdirbama medžiaga, kuri neturėtų patekti į sąvartynus, dėl šios pakuotės didelio tūrio užimami dideli sąvartyno plotai. Augantys atliekų kalnai, besiplečiantys sąvartynai gadina kraštovaizdį.

Pradėjus visuomenei domėtis perdirbimo ir pakartotinio naudojimo klausimams, gamybos pramonėms tai atnešė naujų iššūkių. Didžiojoje Britanijoje buvo iškelta diskusija, dėl daugelį metų veikusios sistemos suardymo, klasikinė negrįžtamoji sistema kėlė per didelę žalą aplinkai. Pradėtas naudoti uždarys ciklas [3].

Išanalizavus pakuočių atliekų pasiskirstymą matyti, kad nemažą atliekų dalį sudaro stiklo pakuotė.

Stiklo perdirbimas yra ypač svarbus aspektas aplinkos kokybės gerinimui ir švarinimui, tai sieja ir bendrina visą pasaulį ieškant alternatyvų kaip mažinti aplinkos taršą ir tausoti gamtos išteklius.



1.2 pav. Europoje perdirbamo stiklo normos 2014 m. [21]

Labiausiai pažengusi šalis stiklo perdirbimo sektoriuje yra Belgija, pagal Eurostat pateiktus duomenis Belgijoje stiklas perdirbamas 100 proc.

Mažiausiai pažengusios šalys stiklo perdirbimo procese yra Graikija ir Kipras. Šių šalių stiklo perdirbimo kiekis yra apie 30proc.. Tuo tarpu ES šalių stiklo perdirbimo vidurkis siekia 64,7 proc. Išanalizavus duomenis galima daryti išvadą, kad atliekų rūšiavimui, perdirbimui, bei antriniam panaudojimui didžiausią įtaką daro valstybės išsivystymo, ekonominės būklės lygis.

Lietuvos stiklo pakuočių pramonėje yra pagaminamas didelis kiekis pakuočių vidutiniškai 180855 t per metus. Tačiau didžioji dalis, apie 60proc., yra eksploatuojama į kitas ES šalis. Iš

likusių stiklinių pakuočių vidaus rinkoje, Lietuvoje, į sąvartynus jų patenka didžioji dalis apie 60proc. Ilgai yranti medžiaga, stiklas, Lietuvai kelia didelį susirūpinimą. Nuo 2005 iki 2014 metų yra matomas akivaizdus stiklo atliekų surinkimo padidėjimas. Stiklo atliekų surinkimas ir pakartotinis panaudojimas išaugo net 34 proc. Taip pat akivaizdus perdirbimo šuolis matomas 2009-2010 m. laikotarpiu, kuomet stiklo atliekų panaudojimas siekia atitinkamai 76 ir 67 proc.

**1.1 lentelė. Perdirbamas stiklo pakuočių kiekis Lietuvoje 2005-2014 m.[22]**

Ataskaitiniai metai	Pateikta vidaus rinkai (gaminiais pripildytų pakuočių), t	Perdirbamo stiklo kiekis	
		t	%
2005	65473	26189	40
2006	72574	22489	31
2007	84069	30287	36
2008	79163	39526	49,9
2009	60431	45875	75,9
2010	61238	40989	66,9
2011	63233	46850	74,1
2012	64176	46354	72,2
2013	66545	36434	54,7
2014	69130,3	41811,7	60,5

## **1.5. Stiklinių butelių gamybos procesas**

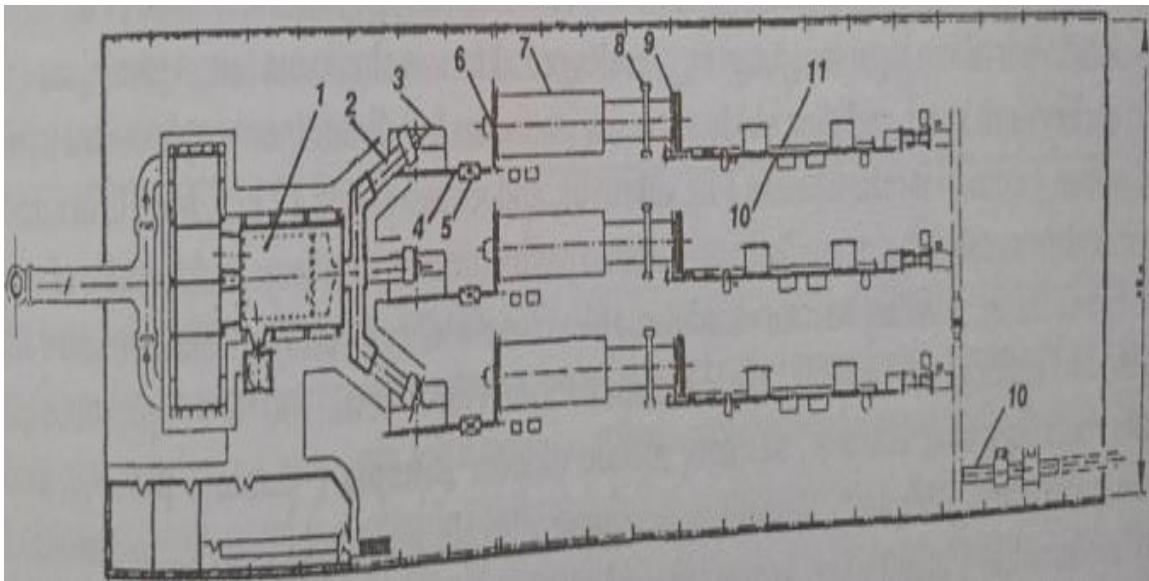
L. Hrbekas ir kt. (2017) stiklo gamyboje kaip patį svarbiausią etapą įvardija stiklo atliekų surinkimą. Kiekvienas pilietis turėtų atskirti stiklą iš bendro atliekų srauto. Stiklo atliekos patekusios pas gamintoja pirmiausia yra atrenkamos rankiniu būdu. Šiuo būdu atskiriamos tik stambios priemaišos : akmenys, veidrodžiai, įvairios šiukšlės. Separatoriaus pagalba yra atskiriama juodieji ir spalvotieji metalai. Tinkamas metalų išrinkimas mažina broko susidarymo kiekius. Pasaulinėje praktikoje naudojami įrenginiai, kurie sugeba išrūšiuoti stiklą pagal spalvas, tačiau Lietuvoje ši technologija dar nėra taikoma dėl įrenginio brangumo [23].

Stiklo butelių gamyba yra sudaryta iš keturių pagrindinių etapų: [24]

- Žaliavos paruošimas;
- Lydymo;
- Formavimo;



- Atkaitinimo.



**1.3 pav. Stiklinės taros gamybos linija:**

1 – liepsnos lydžkrosnė; 2 – lašotiekis; 3 – formavimo mašina; 4 – transporteris; 5 – gaminių padengimo metalo oksidine danga įrenginys; 6 – skersinis transporteris su gaminių krautuvu; 7 – atkaitinimo krosnis; 8 – dengimas plėvele; 9 – trijuostis transporteris; 10 – gaminių kokybės tikrinimo ir pakavimo konvejerinė linija; 11 – duženų transporteris [25].

**Žaliavų paruošimas.** Pradinės medžiagos stiklo gamybai yra magnio karbonatas, kalcio karbonatas (dolomitai) ir silicio dioksidas (smėlis). Dolomitai yra reikalingi stiklo suformavimui. Pirmoje vietoje pagal svarbumą stiklo gamybos medžiaga yra smėlis. Stiklo gamybos pramonės dažniausiai pradinės medžiagas gauna turinčias nepageidaujamas drėgmės. Todėl smėlis ir dolomitas yra džiovinami. Išdžiovinus medžiagas jos yra sijojamos ir nukreipiamos transporteriais į svėrimo liniją. Po džiovinimo medžiagos gali būti sušokusios į gabaliukus dėl to prieš svėrimo liniją yra įtaisyti smulkintuvai. Po svėrimo linijos medžiagos patenka į maišyklę, kur yra kuo vienodžiau sumaišomos tam, kad stiklas būtų kuo vientisesnis.

Kvarcinis smėlis bespalviam stiklui gauti yra sodrinamas, kai jame dažančiųjų junginių yra daugiau, negu leistina norma. Sodrinimo metodas priklauso nuo to kokios medžiagos sudaro kenksmingas priemaišas ir kaip jos įsiterpusios į smėlį.

Labai svarbu yra tinkamai sumaišyti paruoštas medžiagas. Nuo tinkamo žaliavos svėrimo ir sumaišymo priklauso įkrovos kokybė. Įkrova vadinamas apdorotų, tiksliai tam tikrais kiekiais atsvertų ir gerai sumaišytų žaliavų vienalytis mišinys, vartojamas stiklui lydyti. Paruošta įkrova vagonėliais keliauja į lydžkrosnę.

**Stiklo lydymas.** Stiklo lydalas lydomas liepsninėse arba liepsninėse – elektrinėse lydrosnėse. Mišiniui išlydyti reikalinga 1480 °C temperatūra (jeigu būtų lydomas grynas SiO<sub>2</sub> prireiktų 1710°C temperatūros. Lydimo proceso metu tarp mišinio komponentų vyksta įvairios cheminės reakcijos, kurių galutiniai produktai yra magnio ir kalcio silikatai.

Stiklo buteliai įgauna būdingą žalią spalvą dėl stiklui gaminti naudojamose medžiagose randamo geležies (III) oksido. Net minimalūs Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kiekiai pradinėje žaliavoje, neišvengiamai, stiklui suteiks spalvą.

Norint pagaminti bespalvį stiklą į išlydytą mišinį įdedama mangano oksido (MnO<sub>2</sub>), kuris žalią spalvą oksiduoja į geltoną, o pats redukuojasi iki violetinės spalvos. Geltona ir violetinė spalvos yra viena kitą papildančios spalvos, todėl stiklas pasidaro bespalvis. Jeigu norima stiklą galima pagaminti įvairiausių spalvų, spalvą suteikia įvairiausios priemaišos. Pridėjus švino oksidų gaunamas ypatingai skaidrus ir blizgantis stiklas, CoO stiklui suteikia mėlyną spalvą.

Stiklas nėra atsparus staigiems temperatūrų pokyčiams, nes terminio plėtimosi koeficientas yra ganėtinai didelis – keičiantis temperatūrai stipriai keičiasi stiklo matmenys. Stiklo neatsparumo problemą temperatūrų pokyčiams pavyko išspręsti pridėjus į stiklą B<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Tokio stiklo temperatūrinis plėtimosi koeficientas yra mažas, dėl to ir atsparus temperatūrų pokyčiams. Šis stiklas yra naudojamas laboratorinių indų ir įvairiausių karščiui atsparių virtuvinių puodų gamybai.

**Formavimas.** Gerai išlydytas lydalas iš lydrosnės patenka į lašotekį, kurį sudaro, ugniai atspariomis medžiagomis išklotas kanalas, su kaitinimo sistema ir lašų formavimo mechanizmu. Lašų formavimo mechanizmas susideda iš kelių elementų: keraminės taurės, bušingo, plunžerių, akučių ir žirklių. Bušingas – tuščiaviduris cilindras, kur yra maišomas stiklo lydalas, kad nesušoktų į gabaliukus. Plundžeriai besikilnodami aukštyn – žemyn, spaudžia per akutes lašus, o žirklys juos nukerpa. Po nukirpimo lašai nukreipiami į butelio formavimo mašiną.

Yu-Chungas Tsai ir kt. (2008) išanalizavo ir aprašė pažangią vakuuminę stiklo formavimo technologiją. Šios technologijos veikimo principas yra vakuumo pagalba prie iš anksto paruošto butelio formos ruošinio tolygiai paskirstyti stiklo masę [26].

Vakuuminio formavimo privalumai:

- Mažesnės žaliavų išlaidos, lyginant su liejimo procesu;
- Galimybė modifikuoti gaminį, gamybos proceso metu;
- Galimybė gaminti gaminius iki 1000×2000 mm.

Iš pradžių nukirptas stiklo lašas patenka į vadinamą "ruošinio" formą, kurioje vakuumu įsiurbiamas būsimo butelio galvutė ir suspaustu oru prapučiamas lašas-ruošinys. Tada ruošinys perkeliamas į gaminio formą, kurioje jis dar pučiamas oru ir galutinai išformuojamas vakuumu.

Suformuotas karštas butelis formoje vėsinaamas oru kol nebesideformuoja ir pastatomas ant transporterio [26]

**Atkaitinimas.** Suformuoti, išrikiuoti eilute po vieną, gaminiai transporteriu tiekiami į atkaitinimo krosnį, papildomai padengiami metalo oksidinia danga suteikiančia buteliui geresnį stiprumą, ir kreiptuvu nukreipiami ant kito transporterio. Susikaupus ant jo tam tikram skaičiui gaminių krautuvus švelniai juos užstumia ant atkaitinimo krosnies tinklinės juostos. Atkaitinimo krosnys šildomos gamtinėmis dujomis, skystu kuru arba elektros energija. Visų atkaitinimo krosnių konstrukcija panaši, skiriasi tik ilgis, plotis, našumas, šildymo ir kai kurie kiti įrenginiai.

Atkaitinimą būtina atlikti tam, kad pašalintų buteliuose esančius vidinius įtempimus, susidariusius formavimo metu karštam stiklui besiliečiant su sąlyginai vėsia forma (neatkaitintas stiklo dirbinys gali suskilti bet kuriuo metu). Atkaitinimo krosnyje buteliai pakaista iki temperatūros, artimos stiklo minkštėjimo temperatūrai, t.y. 560°C, po to lėtai vėsta. Atkaitę (be vidinių įtempimų) buteliai krosnies atvirojoje dalyje atvėsta iki 40°C. Atkaitinti buteliai krosnies gale apipurškiami dar viena danga – slidžiaja, kad lengviau „keliautų“ transporteriais ir nesusibraižytų jų paviršius.

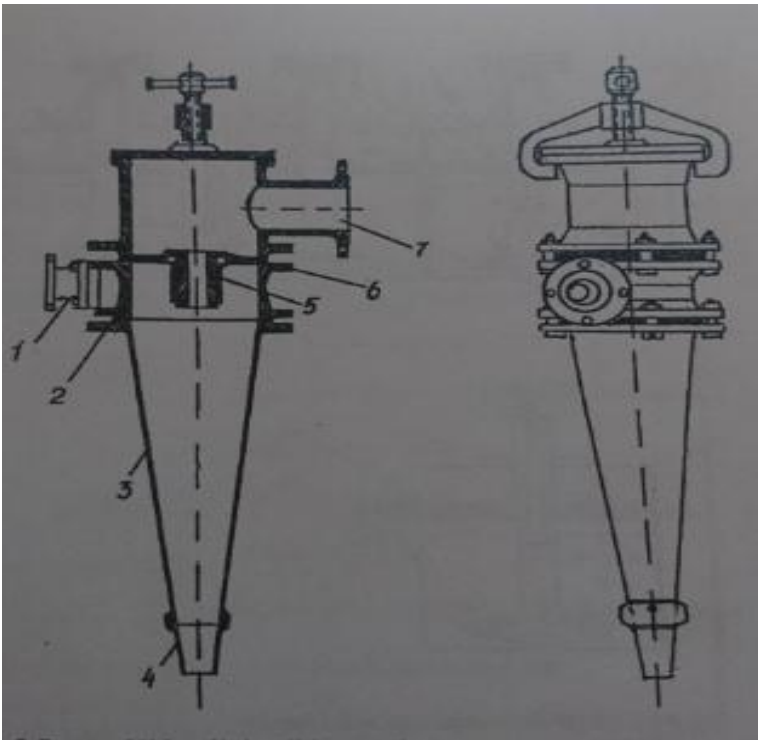
Atkaitinti gaminiai apipurškiami stiprinančia polioksietileno monosearato tirpalo danga, patikrinama jos kokybė, pakuojami ir sandėliuojami [25].

## **1.6. Pradinių stiklo medžiagų paruošimo ir būvio ciklo analizė**

Silicio dioksidas ( $\text{SiO}_2$ ) yra pagrindinė žaliava stiklo gamybai. Gaminant stiklinius butelius naudojama 75 proc. silicio smėlio. Žaliava yra kasama atvirose kasyklose, po to ekstrahuojama.

Kvarcinio smėlio paruošimas yra sudėtingas procesas, į stiklo pramonę smėlis patenka išvalytas nuo priemaišų. Didelę reikšmę sudaro esamos geležies ir chromo priemaišos smėlyje, per didelis jų kiekis suteikia stiklui spalvą. Taip pat prieš smėlio vartojimą stiklo gamyboje jis turi būti išsijojamas, kad medžiaga pasiskirstytų vienodo dydžio dalelėmis.  $\text{SiO}_2$  masės dalis smėlyje turi būti ne mažesnė nei 95 proc. [27].

Kvarcinio smėlio sodrinimo gali būti naudojamas molių dažančiųjų medžiagų išplovimo metodas arba gali būti jų naudojamas jų dulkių atskyrimas vėjiniu separatoriumi. Smėliui plauti dažniausiai naudojamas hidraulinis ciklonas [25].

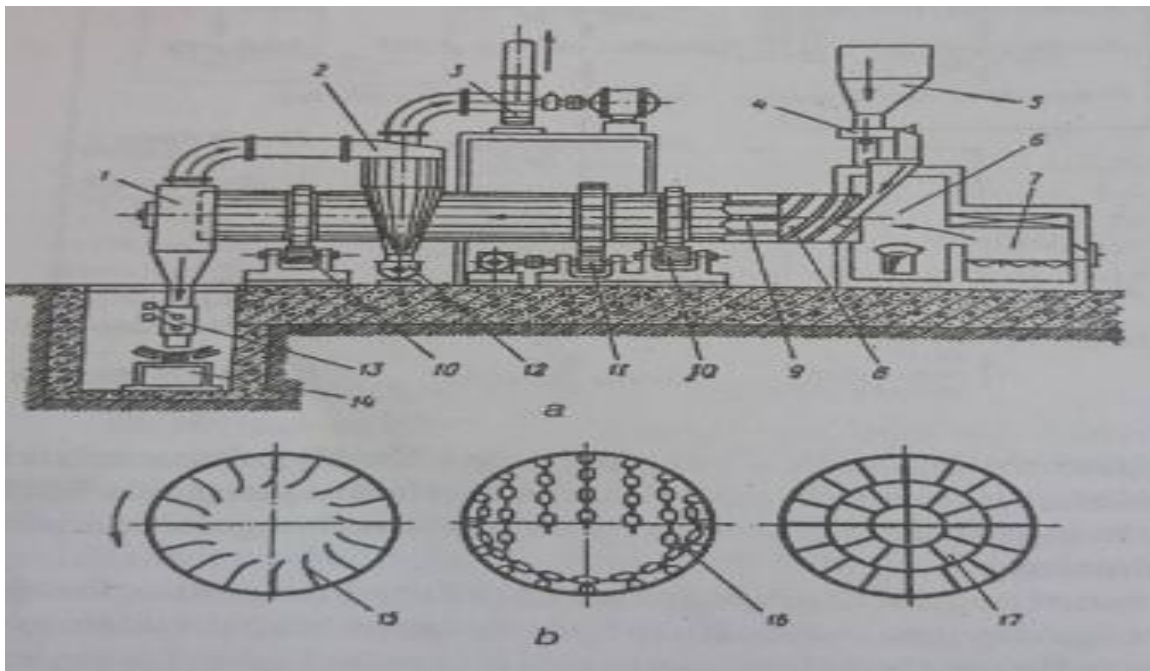


**1.4 pav. Hidraulinio ciklono schema:**

1 – pulpos tiekimo vamzdis; 2 – cilindrinė hidraulinio ciklono dalis; 3 – kūginė hidraulinio ciklono dalis; 4 – plauto smėlio išleidimo antgalis; 5 – keičiamasis cilindras; 6 – pertvara; 7 – išpylų atvamzdis [25].

Išcentrinės jėgos pagalba stambios dalelės bloškiamos prie hidraulinio cilindro sienelių ir jos slenka žemyn į plauto smėlio išleidimo antgalį. Tuo tarpu smulkiosios dalelės kartu su vandeniu keičiamuoju cilindru kyla į viršų ir patenka į cilindrinę kamerą, iš kurios yra išleidžiamos pro išpylų atvamzdį [25].

Iškastiniame smėlyje esantis per didelis procentas drėgmės apsunkina sijojimą, dėl to žaliavinis smėlis prieš tiekiant į įkrovos ruošimą turi būti džiovinamas. Labiausiai paplitę džiovinimo įrenginiai yra pasrovinės būgninės džiovyklos (1.4 pav.).



**1.5 pav. Būgninės džiovyklos schema:**

a – bendras vaizdas; b – būgno skersiniai pjūviai; 1 – žaliavos išbyrėjimo kamera; 2 – dulkių nusodinimo ciklonas; 3 – ventiliatoriai; 4 – bertuvas; 5 – tiekiamos žaliavos bunkeris; 6 – maišymo kamera; 7 – kieto kuro kūrykla; 8 – pakrovimo mentelės; 9 – šilumokaičio mentelės; 10 – atraminiai ritinėliai; 11 – pavara; 12 – dulkių transporteris; 13 – sandarinimo įrenginys; 14 – sausos žaliavos transporteris; 15 – mentinis šilumokaitis; 16 – grandininis šilumokaitis; 17 – narvelinis šilumokaitis [25]

Džiovyklos veikimo metu per valandą sudeginama apie 125 kg kuro. Džiovyklos našumas yra 12t/h, džiovinimo temperatūra siekia 700 – 800 °C.

Anamarija Grbeš (2015) yra nuosekliai ištyrusi pagrindinę stiklo gamybai naudojamą medžiagą – kvarcinį smėlį. Analizuojant stiklo gamybą iš pradinių žaliavų būvio ciklo vertinimo metodu svarbiausias etapas yra sumažinti poveikį aplinkai pradinių medžiagų kasybos ir paruošimo procese. Atliktoje silicio smėlio poveikio aplinkai vertinimo analizėje remiantis 2009 ir 2012 metų duomenimis priimtos prielaidos, kad didžiausias neigiamas poveikis aplinkai keliamas dėl iškastinio kuro naudojimo, elektros energijos suvartojimo, cheminių medžiagų naudojimo bei vandens suvartojimo. Procesai yra vykdomi iškastinio kuro pagalba, todėl yra rekomenduojama sumažinti jo naudojamus kiekius [28].

Iš tirtų sodrinimo procesų kaip efektyviausias, "draugiškiausias" aplinkai, yra smėlio plovimo, hidrauliniiais ciklonais, metodas. Tačiau jeigu pradinėje žaliavoje yra mažas procentas dulkių dalelių gali būti vartojamas sauso režimo metodas, kuris reikalauja mažiau energijos ir vandens, bet šis procesas nėra pajėgus pašalinti didelių dulkių koncentracijų [29].

Norint gerai išanalizuoti stiklo butelių gamybą svarbu yra įvertinti ne tik susidarančių atliekų (stiklo duženų) keliamą neigiamą poveikį, bet ir priimti teigiamiausių aplinkai pradinės žaliavos išgavimo metodą. Tai stiklo gamyba leistu sumažinti emisijas ne tik butelio gamybos procese bet ir žaliavų paruošime.

### **1.7. Taros gamybos būvio ciklo analizė**

Šiuolaikinė stiklo gamyba reikalauja didelių kiekių iškastinio kuro. Gamybos metu kuro deginimas veda prie didelio CO<sub>2</sub> kiekio išsiskyrimo. Anglies dioksido emisijos keičia žemės energijos balansą, kas sąlygoja klimato pokyčius.

M.M. Disfanas, A. Arulrajahas ir R. Hankouras (2011) įvardina pagrindinę priežastį, kodėl stiklo gamyba iš stiklo duženų yra sudėtingas procesas. Butelio gamybos procesui didžiausias trukdis yra tai, kad surinktos stiklo duženos būna įvairiaspalvės. Dėl to prieš tiekiant duženas į gamybą reikia atlikti rūšiavimą pagal spalvas, šiuo metu tokį rūšiavimą atlieka žmonės, kadangi dėl įrenginių brangumo tik maža dalis valstybių naudoja automatizuotą atliekų rūšiavimo įrangą.

J. Cridlandas (2010) Amerikoje atliktos stiklo pakuočių perdirbimo būvio ciklo analizės privalumai:

- Gamyboje panaudojus 10 proc. stiklo duženų, sumažėja 5 proc. anglies dvideginio išmetimas ir 3 proc. energijos sunaudojimas;
- Perdirbimui naudojant stiklo duženas mažinamas poveikis žaliavų gamybos ir paruošimo sektoriuje, bei sumažinami taršos išmetimai stiklo lydymo procese;
- Stiklo surinkimui naudojamo transporto sudaroma tarša yra lygi 5 proc. stiklo keliamos taršos sąvartynuose. [30]

Riccardas A. ir kt. (2015) atliko palyginamąją stiklo ir plastikų gyvavimo stiklo analizę. Šios analizės išvados rodo, kad stiklo perdirbimas aplinką neigiamai veiks mažiau nei PET pakuotės antrinis panaudojimas. Žinant dabartinę atliekų grandinės sistemą matomas akivaizdus stiklo pranašumas prieš PET butelius, stiklo atliekų pakartotiniam panaudojimui arba perdirbimui į gamybos pramonę grįžta didesni kiekiai [31].

Tarpusavyje lyginant stiklines, aliumines ir plastikines pakuotes, pranašumas taip pat atitenka stiklinei pakuotei. Tyrimas rodo, kad anglies dvideginio išsiskyrimas aiškiai mažiausias yra stiklo pramonėje. Dabartinis stiklo duženų procentas naudojamas taros gamyboje (36proc.), generuoja pakankamai energijos ir visiškai kompensuoja emisijas susidarančias pagamintų prekių transportavimo metu [32].

Apžvelgus straipsnius galima daryti išvadas, kad net minimalus stiklo duženų grąžinimas į stiklo butelių gamybą akivaizdžiai sumažina CO<sub>2</sub> kiekio išsiskyrimą bei mažina gamybai reikalingas energijos sąnaudas.

## Literatūros apžvalgos apibendrinimas

Atlikus literatūrinę analizę galima išskirti pagrindinius ir reikšmingiausius mokslinės literatūros aspektus:

- Didėjanti žmonių populiacija sąlygoja didėjantį produktų vartojimą, to pasekoje, didėja pakuočių atliekų kiekis sąvartynuose, tačiau susiduriame su žemės (kaip ploto) stygiumi sąvartynų plėtrai. Taigi stengiantis išvengti vis didėjančių sąvartynų plėtimosi ES taryba įpareigojo visas ES valstybes nares suderinti atliekų tvarkymą ir vykdyti atliekų hierarchiją t.y. pakuotė - atlieka turi būti perdirbama arba naudojama energijos atgavimui. Taip pat būtina paminėti, kad viena iš ES direktyvų reikalauja, kad pakuotės turi būti gaminamos iš 45 proc. medžiagų, kurios gali būti perdirbamos.

- Taip pat labai svarbus ir literatūroje dažnai minimas aspektas yra atliekų perdirbimo ir šių išteklių naudojimo efektyvumas. Norint tausoti gamtą svarbiausia užtikrinti maksimalią produktų naudą su minimaliais atliekų kiekiais. Pagrindinė strategija siekiant sumažinti atliekų kiekį patenkantį į sąvartynus yra jų pakartotinis panaudojimas, bei perdirbimas. Siekiant atliekų panaudojimo efektyvumo, klimato kaitos ir poveikio aplinkai mažinimo būtina atliekas panaudoti, to paties produkto kūrimui, jeigu tai nesukelia produkto kokybės prastėjimo, bei techninių parametrų būklės silpnėjimo.

- Stiklas yra viena iš pagrindinių žaliavų kuri gali būti perdirbama neribotą kiekį kartų. Taip pat galima paminėti kad perdirbant stiklo duženas yra sutaupoma 25 proc energijos, 20 pros ir 50 proc. atitinkamai sumažinama oro ir vandens tarša.

Stiklo butelių gamybos ciklas susideda iš 4 gamybos etapų, nepriklausomai nuo to ar stiklo gamybai bus pasirinktos pradinės medžiagos ar stiklo duženos: žaliavos paruošimas → lydymas → formavimas → atkaitinimas.

- Toliau aptariamas stiklo taros gamybos būvio ciklo procesas. Taigi literatūroje pažymima jog stiklo gamyba reikalauja didelių iškastinio kuro kiekių, dėl stiklo gamybos metu sunaudojamo kuro, kuris naudojamas stiklo lydymui. Tai yra dėl to kad taros gamybai naudojant minimalų kiekį stiklo duženų įkrovai išlydyti reikalinga aukšta temperatūra, ko pasekoje į aplinką išmetami dideli kiekiai CO<sub>2</sub> dujų.

- Stiklo duženų panaudojimą stiklo gamybos pramonėje apsunkina tai, kad stiklo duženos gaunamos neutrūšiuotos pagal spalvas. Tačiau atsižvelgiant į tai, kad stiklo duženų perdirbimas sumažina iškastinio kuro panaudojimą ko pasekoje mažėja emisijų kiekis į aplinką, verta stiklo duženas išrūšiuoti ir grąžinti į perdirbimą.

## 2. METODOLOGINĖ DALIS

Atliekant tyrimą, buvo naudota:

Būvio ciklo vertinimo metodika remiantis ISO 14044:2007 ir ISO 14040:2007 standartais.

ISO 14044 – Aplinkos vadyba. Būvio ciklo įvertinimas. Reikalavimai ir nurodymai.

ISO 14040 – Aplinkos vadyba. Būvio ciklo įvertinimas. Principai ir sandara. Programinė įranga SimaPro 8 – sistema padedanti veiksmingai išanalizuoti surinktas žinias apie tam tikrą gamybos sistemą būvio ciklo vertinimo metodu.

Būvio ciklo vertinimas (BCV) – tai požiūris į gaminį kaip į visumą, kai yra vertinamas gaminio poveikis per visus jo būvio ciklo etapus, pradedant nuo žaliavų išgavimo, transportavimo, perdirbimo ir baigiant atliekų surinkimu.

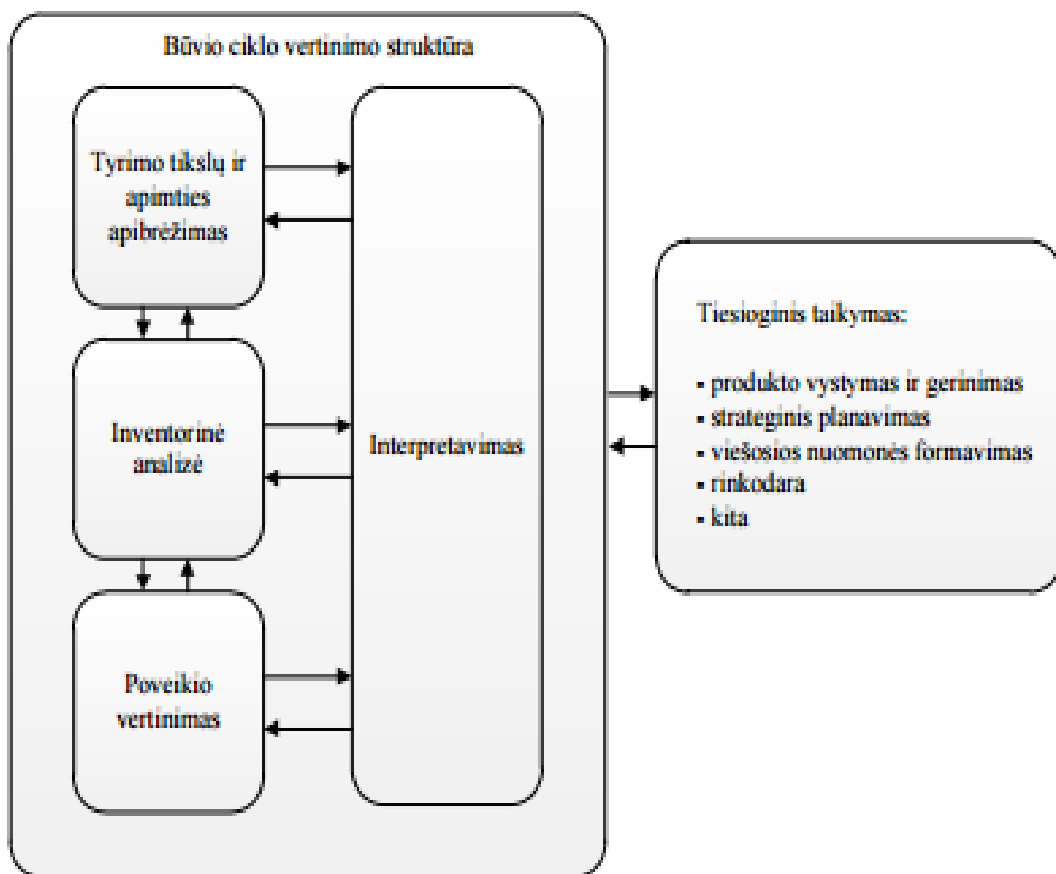
Kiekvienas iš būvio ciklo etapų yra susijęs su didesniu ar mažesniu poveikiu aplinkai. Tai – vandens ir energijos sąnaudos, įvairiais chemikalais užterštos nuotekos, transporto tarša pervežant žaliavas ir gaminius, atliekos. Todėl projektuojant gaminį siekiama įvertinti, kokį poveikį jis darys aplinkai įvairiuose gamybos etapuose, o taip pat eksploatacijos ir produkto perdirbimo metu.

BVC vertinimas vis labiau tampa svarbus kiekvieno produkto gamybos, bei atliekų tvarkymo procesuose. Jis apima švaresnės gamybos sąvokas, tokias kaip efektyvus žaliavų naudojimas, taršos prevencija, atliekų mažinimas, perdirbimas ir pakartotinis naudojimas, ir taip pat yra gyvavimo ciklo perspektyva, kur yra stebimas produktas nuo žaliavos įsigijimo iki galutinio šalinimo etapo. Poveikio aplinkai vertinimas gali netik nustatyti ir sumažinti poveikį aplinkai, bet taip pat gali sutaupyti nemažai laiko ir pinigų.

Pagal aplinkos vadybos sistemos ISO 14040 standartą, būvio ciklo vertinimą sudaro keturi tarpusavyje susiję etapai: (2.6 pav.)

- tyrimo tikslų ir apimties apibrėžimas;
- inventorinė analizė;
- poveikio vertinimas;
- rezultatų interpretavimas.





2.6 pav. Būvio ciklo vertinimo struktūra. (LST EN ISO 14040:2007)

Viena iš sąvartynuose atsiduriančių naudingų atliekų yra stiklo pakuotės, kuri gali būti naudojama vėl ir vėl neribotą skaičių kartų. Kadangi stiklas yra 100 proc. perdirbama medžiaga svarbu apžvelgti ir išanalizuoti jo būvio ciklą ir priimti efektyvius sprendimus, kad ši vertinga medžiaga nebūtų pašalinama kaip bevertė atlieka.

## 2.1. Tyrimo tikslo ir apimties apibrėžimas.

Atliekant stiklo pakuočių tyrimą BCV metodu iš pradžių reikia suformuoti analizės tikslą ir priežastis, kuriomis bus remiamasi atliekant tolimesnius vertinimus. Nuo tyrimo tikslo priklauso kokios bus nagrinėjamos sistemos ribos ir funkcinis vienetas.

Pradinis suformuotas tyrimo tikslas neturi būti naudojamas kaip nekintantis tekstas. BVC metu jis gali būti koreguojamas, sąmoningai ir kruopščiai įvertinant pakeitimus.

Atliekant BVC analizę keičiant pradines gamybos žaliavas reikia:

- žinoti, kokios žaliavos bus vertinamos;
- išsiaiškinti, ar šios žaliavos gali būti lyginamos tarpusavyje pagal savo funkcijas;
- nustatyti, pagal kokius parametrus bus palyginamos žaliavos;
- nustatyti funkcinį vienetą;

- nustatyti nagrinėjamos sistemos ribas;

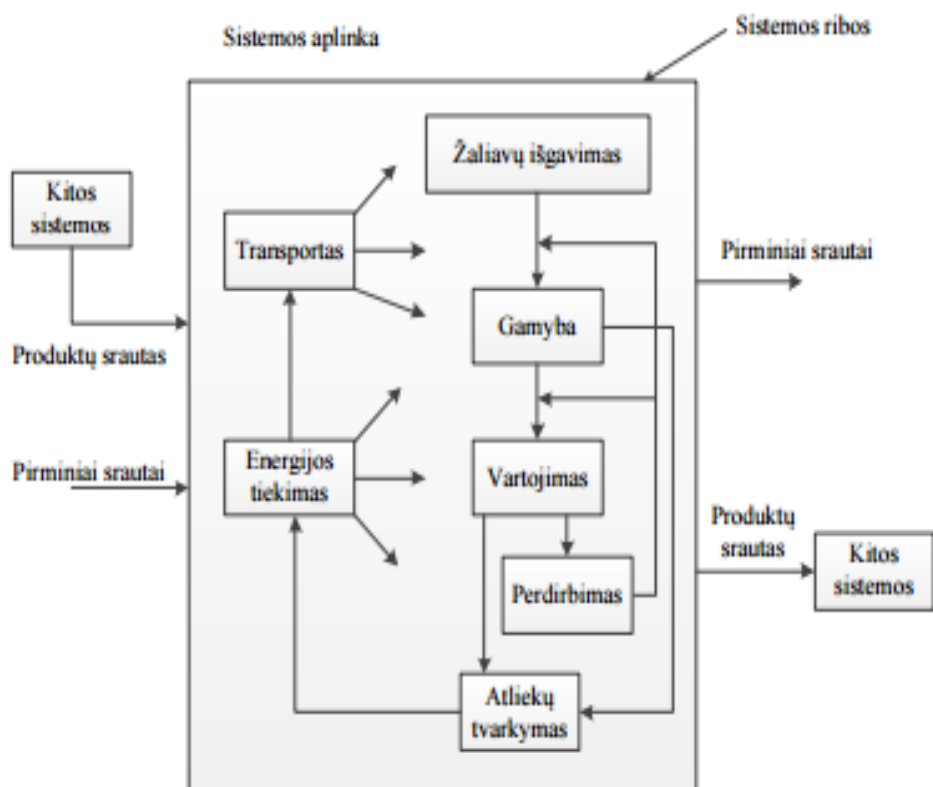
Būvio ciklo analizės tyrimo apimtis, apibrėžia metodinius pasirinkimus prielaidas ir apribojimus. ISO 14040:2007 keliama reikalavimai tyrimo apimtys apibrėžimui:

- aprašyti funkcinį vienetą;
- pateikti informaciją apie tiriamą produkto sistemą;
- aprašyti sistemos ribas;
- pateikti prielaidas ir trūkumus.

**Funkcinis vienetas.** Funkcinis vienetas yra pagrindinis BVC elementas, kuris turi būti aiškiai apibrėžtas. Funkcinis vienetas turi atitikti tyrimo apimtį ir tikslą. Stiklo pakuočių pramonėje funkcinis vienetas yra apibrėžiamas pagal gamybos pajėgumus. Pasirenkamas gaminamos produkcijos kiekis kurį analizuojant būtų aiškiai matomi rezultatų pokyčiai. Funkcinis vienetas - tai atskaitos vienetas pagal kurį turi būti atlikti įvesties ir išvesties matematiniai skaičiavimai.

**Sistemos ribos.** Norint efektyviai išanalizuoti gaminio sistemą reikia apibrėžti sistemos ribas, kurios nurodys kokios gaminio gamybos stadijos bus vertinamos. Neapsibrėžus sistemos ribų sistema gali tapti pernelyg plati, kurios duomenų rinkimas ir vertinimas taps sudėtingas ir neefektyvus. Tačiau sistemos ribų negalima ir pernelyg susiaurinti, kad nebūtų praleisti procesai, darantys įtaką aplinkai. Sistemos ribos – tai procesų visuma, kuri parodo kokios būvio ciklo stadijos yra įtraukiamos į analizę.

Apibrėžiant stiklo pakuočių gamybos sistemos ribas, iš pradžių įvertinamas etapas keliantis didžiausią poveikį aplinkai, tuomet analizuojama kurioje stadijoje galima įterpti susidarančias stiklo pakuočių atliekas, kad gamyba nuo linijinės ekonomikos pereitų prie ciklinės ekonomikos.



2.7 pav. Produkto sistema ir jo ribos (ISO 14044:2007)

Produkto sistema ISO 14044:2007 standarte apibrėžiama kaip "medžiagų ir energijos požiūriu sujungtų vieninių procesų visuma, vykdanči vieną ar daugiau apibrėžtų funkcijų".

## 2.2. Inventorinė analizė.

Inventorinė analizė tai BVC etapas, skirtas rinkti kiekybiniais duomenims. Šiame etape yra renkami ir apskaičiuojami duomenys, vertinamos įvesties ir išvesties parinktys.

Įvesties duomenys būvio ciklo vertinimo metode yra medžiagos bei energijos ištekliai gamybos metu. Medžiagų vartojimas neišvengiamai sukelia atliekų susidarymą, atsinaujinančių ir neatsinaujinančių išteklių naudojimą bei emisijų išsiskyrimą į aplinką. Išvesties duomenys apima pats produktas, atliekų susidarymas ir šalinimas, emisijos į atmosferą.

Inventuoriniai duomenys turi būti renkami nustatytuose sistemos ribose ir fiksuojami lentelėse kiekybiniai ir kokybiniai rodikliai.

Inventorinių duomenų rinkimas dažnai atima nemažai laiko. Dažnai duomenys yra sunkiai prieinami arba netikslūs ir nekokybiški. Tai yra pats sunkiausias būvio ciklo vertinimo etapas, duomenys turi būti renkami atsakingai ir apdairiai, iškart vertinant jų tikslumą. BVC interpretuojant surinktus duomenis leidžia palyginti skirtingų procesų veiksmingumą, bet nepateikia problemos sprendimo.

Duomenų šaltiniai gali būti įvairūs:

- tiesioginiai matavimai;
- teoriniai medžiagų ir energijos balansai;
- statistinių duomenų bazės ir literatūra.

Skaičiavimai atliekami pasirinktam funkciniam vienetui. Nustačius kokybiško stiklo sudėtį apskaičiuojamas pradinų žaliavų kiekis reikalingas jam gauti.

Pagal apibrėžtas sistemos ribas iš duomenų bazių bei literatūros šaltinių renkami duomenys apie kiekvieno stiklo pakuotės gamybos etapo energijos kiekio suvartojimą.

Stiklo pakuočių gamybos sistemos būvio ciklo analizė atlikta naudojant programine įranga "Sima Pro 8". Tyrimui reikalingiems duomenims surinkti (įvesties, išvesties srautams) naudojama specializuotos kompiuterinės programos "Sima Pro 8" duomenų bazės.

SimaPro programinė įranga leidžia sujungti įvesties (kiekybiniai įvesties duomenys iš gamtos t.y žaliavos) ir išvesties duomenis į vieną procesą, kuris leidžia vertinti produktą per visą jo gyvavimo ciklą, kiekybiškai išreikšti išvesties duomenis. Programoje sukurtas ciklas leidžia įvertinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekio išsiskyrimą.

SimaPro programinėje įrangoje yra keletas poveikio vertinimo metodų, kurie buvo sukurti įvairių institutų ir universitetų. Sistema taip suteikia galimybę apžvelgti į kelias poveikio kategorijas: išteklių išekvojimas, klimato kaitos ir ekosistemos.

SimaPro programine įranga atlikta palyginamoji analizė - ReCiPe baigties/pasekmių (H) V1.11/Europa ReCiPe H/A (eng. ReCiPe Endpoint (H)V1.11/Europe ReCiPe H/A) metodu.

ReCiPe metodo pagrindinis tikslas yra transformuoti ilgą sąrašą būvio ciklo inventorizacijos rezultatų į ribotą skaičių rodiklių. ReCiPe metodą sudaro dvi poveikio kategorijos:

1. aštuoniolika vidutinio taško rodiklių;
2. trys išeities rodikliai.

Sistema išanalizavus aštuoniolika vidutinio taško rodiklių kategorijas jas apjungia į tris baigties kategorijas:

1. poveikis žmogaus sveikatai;
2. poveikis ekosistemoms;
3. poveikis resursams.

Gaunami rezultatai pateikiami normalizavimo ir svoriniais palyginimo metodų grafikais.

Normalizavimo grafikų sudarymas yra reikalingas norint visoms poveikio kategorijoms sukurti vienodą vienetą ir parodyti kokį santykinį indelį aplinkos apsaugos problemoms atitinka kiekviena kategorija. Tai daroma dalijant poveikio kategorijos rodiklius "Normaliomis" vertėmis. Yra ne vienas būdas nustatyti "normalią" reikšmę. Normalizavimo metodai yra paremti skirtingų rezultatų palyginamumu [33].

Normalizavimas naudojamas dviem tikslams:

1. Poveikio kategorijos, kurios prisideda tik labai nedidele dalimi lyginant su kitomis poveikio kategorijoms gali būti paliktos be nagrinėjimo, taip sumažinant klausimų, kurie turi būti įvertinti.
2. Normalizuoti rezultatai rodo aplinkosaugos problemų dydį, susidariusių produkto būvio cikle, lyginant su visų Europos aplinkos apkrovų dydžiu.

Svorinis vertinimas yra vienas iš prieštaringiausių ir sunkiausių būvio ciklo vertinimo žingsnių. Rodiklių reikšmę yra sunku paaiškinti, nes jie yra per daug abstraktūs.

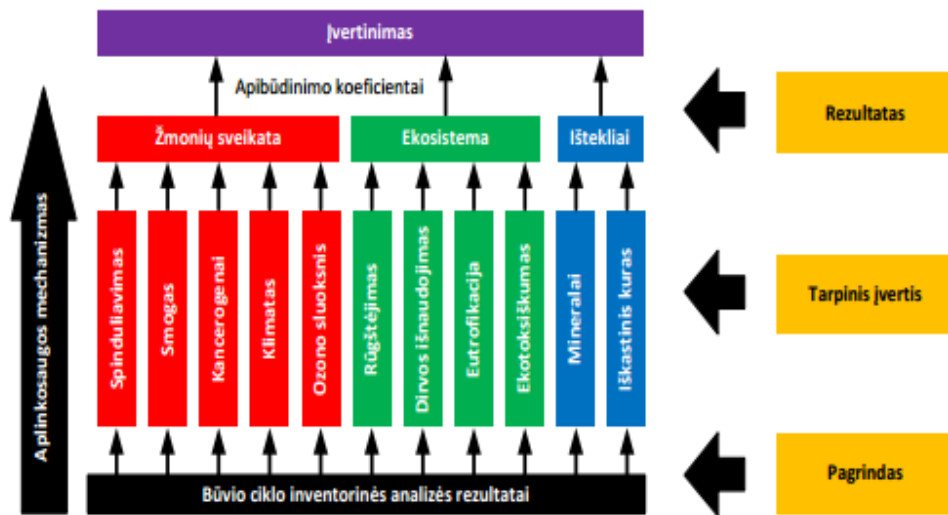
Paprastai duodamos nedidelės įvairių svorių ribos (paprastai nuo 1 iki 3). Tai vadinama įreminimu socialiniuose moksluose. Tai yra abiejų baigties ir vidurio taško metodų problema. Jei įmanoma, nustatyti kiekvienos poveikio kategorijos sumažinimo tikslą, šis rodiklis gali būti naudojamas kaip svorinis rodiklis. Jei skirtumas yra didelis, svoris taip pat yra didelis (SimaPro, 2008) [34].

Pagal ISO kiekvienas BCV turi apimti bent klasifikavimą ir apibūdinimą. Jei tokios procedūros nėra taikomos, tai galima tokį vertinimą apibūdinti kaip gyvavimo ciklo inventorizacija. Svarbus skirtumas yra tarp vidinių ir išorinių taikymo sričių. Jei rezultatai yra skirti palyginti konkuruojančius produktus, o rezultatai turi būti pateikti visuomenei, svorinis vertinimas pagal ISO nėra leidžiamas (SimaPro, 2008) [34].

## **2.4. Poveikio vertinimas**

Būvio ciklo poveikio vertinimas turi būti kruopščiai suplanuotas, šis etapas apima rezultatų duomenų surinkimą įvairioms poveikio kategorijoms kurios kartu sudaro produkto sistemos būvio ciklo poveikio vertinimo aprašą (LST EN ISO 14044:2007).

Poveikio vertinimas tai yra produkto būvio ciklo vertinimo etapas, kai yra sujungiami įvesties ir išvesties duomenys, per poveikio kategorijas. Kai kurie parametrai gali priklausyti kelioms poveikio aplinkai kategorijoms (2.8 pav.).



2.8 pav. Schematinis poveikio vertinimo atvaizdavimas.

Norint nustatyti stiklinių butelių gamybos aplinkosauginį veiksmingumą, labai svarbus žingsnis yra rezultatų analizė ir interpretacija. Interpretavimo metu siekiama pagal surinktą informaciją pateikti rekomendacijas apie stiklo duženų naudojimo optimizavimą, bei pakeisti vartotojų požiūrį į stiklo pakuotę kaip į atlieką.

### 3. REZULTATAI

#### 3.1. Tyrimo tikslo ir apimties apibrėžimas.

Atliekamo tyrimo tikslas - įvertinti stiklo pakuočių gamybos daromą poveikį aplinkai per visą pakuotės būvio ciklą. Analizė atliekama norint išsiaiškinti ar stiklo pakuočių atliekų srauto grąžinimas į gamybą nesukels didesnio neigiamo poveikio aplinkai. Dėl to yra lyginami keli skirtingi stiklinės taros pakartotinio panaudojimo procesai. Analizuojami keturi stiklo taros pakartotinio panaudojimo scenarijai, kai gamybai bus naudojama:

- pradinės žaliavos;
- pradinės žaliavos ir 40 proc. stiklo duženų;
- pradinės žaliavos ir 65 proc. stiklo duženų;
- 100 proc. stiklo duženų.

Vertinami trys stiklo butelių būvio ciklo vertinimo etapai:

- žaliavų paruošimas;
- butelio gamyba;
- atliekų tvarkymas.

Žaliavų palyginimas daromas pagal suvartojamą energijos kiekį pasirinktos sudėties produktui paruošti, bei atliekų susidarymo kiekius.

3.2 lentelė rodo, analizuojamų butelių, laboratorijoje, išmatuotus svorius. Buteliai buvo paimti tiesiogiai iš rinkos. Prieš sveriant jie buvo, ištuštinti, išplauti ir išdžiovinti [35].

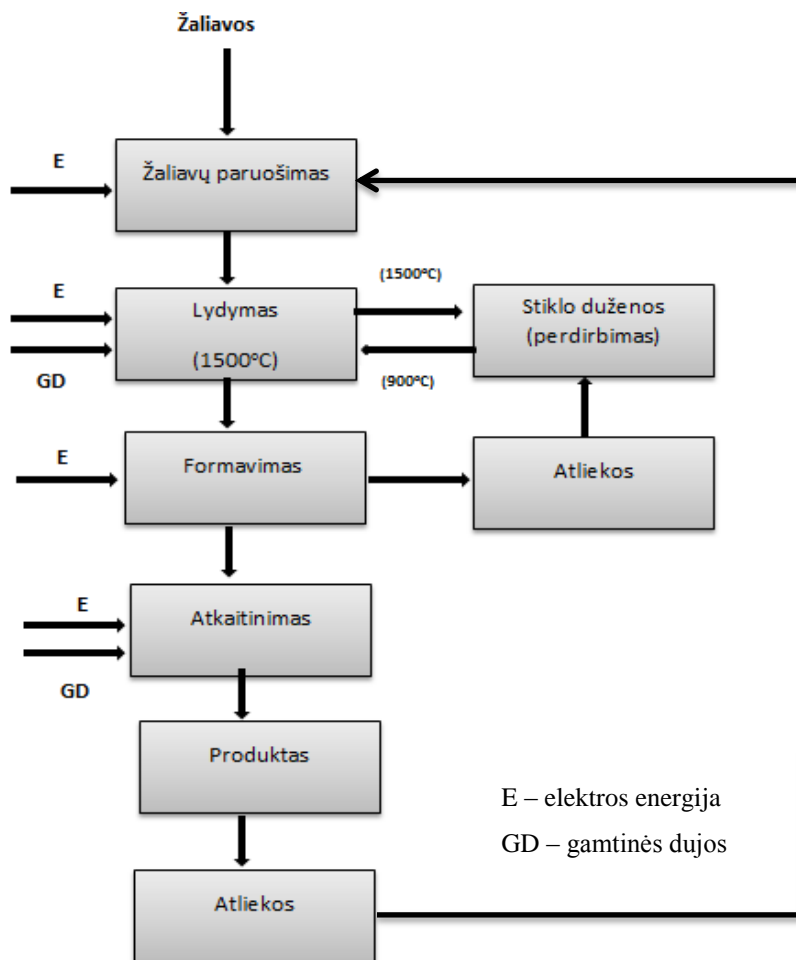
3.2 lentelė. Stiklinių alaus butelių parametrai.

Medžiaga (butelio tūris, l)	Vieneto svoris (kg)	Butelių kiekis pagamintas iš 1 t stiklo, vnt	Butelių aprašymas
Stiklas (0,33)	0,3000	3334	330 ml standartinis alaus butelis su aliuminio kamštelio, aukštis apie 230mm.
Stiklas (0,5)	0,3600	2778	500 ml standartinis alaus butelis su aliuminio kamštelio, aukštis apie 260mm.

Tyrimui pasirinktas funkcinis vienetas – viena tona pagaminamo stiklo. Gaminant standartinius 500 ml tūrio alaus butelius vieną toną stiklo, atitinka 2778 buteliai. Jeigu bus gaminami 330 ml tūrio alaus buteliai, vieną toną stiklo, atitiks 3334 buteliai.

Ciklinė ekonomika stiklo pakuotės gamyboje sudaroma grąžinant stiklo atliekas į gamybą, įtraukiant jas į žaliavų lydimo etapą. Tyrime nagrinėjamos sistemos ribos yra žaliavų paruošimas, stiklinio butelio gamyba, atliekų susidarymas bei jų tvarkymas, stiklo duženų grąžinimas į gamybą.

Didžiausias dėmesys buvo skirtas lydimo procesui, bei atliekų tvarkymui bei jų grąžinimui į gamybos procesą, darant prielaidą, kad medžiagų pakitimas formavimo ir atkaitinimo procesams įtakos neturi.



3.9 pav. Stiklinių butelių gamybos sistemos ribos.

### 3.2. Inventorinė analizė.

Literatūros šaltiniuose surinkta informacija apie stiklo taros žaliavų tradicinę sudėtį. Kintant cheminiai žaliavų sudėčiai pakinta ir stiklo savybės. Norint užtikrinti kokybiško stiklo gamybą būtina žinoti įkrovos sudėtį, išreikštą žaliavų kiekiais vienam žaliavų maišiniui. Įkrovos sudėtis apskaičiuojama pagal įkrovai naudojamų žaliavų cheminę sudėtį (3.3 lentelė).



Skaičiavimuose daroma prielaida, kad stiklą sudaro tik oksidai.. Stiklo sudėtyje lieka maža dalis ištirpusių dujų, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, ir kt., tačiau jų kiekis yra kintantis dėl to skaičiavimuose į jas neatsižvelgiama.

**3.3 lentelė. Žaliavų cheminė sudėtis, %**

Žaliavos	Sudedamosios dalys, %					
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O
Smėlis	99,36	0,14	0,04	0,09	0,17	
Dolomitas	1,29	0,18	0,002	20,46	31,27	
Putnagai	64,12	20,55	0,26	0,34	0,90	
Natrio karbonatas						58,48

Pagrindinės stiklo taros gamybos žaliavos yra smėlis, dolomitas, natrio karbonatas ir putnagai. Stiklas gali būti gaminamas iš 100 proc. pradinių žaliavų, tokio stiklo procentinė sudėtis pateikiama toliau (3.4 lentelė).

**3.4 lentelė. Gaminamo stiklo procentinė sudėtis.**

Komponentas	Procentinė dalis, %
SiO <sub>2</sub>	73,49
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,59
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,02
MgO	4,41
Na <sub>2</sub> O	13,56
CaO	6,94

Stiklo gamybai įkrovos sudėtis skaičiuojama 100 masės dalių stiklo lydalo, sudarant lygčių sistemą pagal turimus žaliavų cheminės sudėties kiekius. Lygčių sudarymas ir skaičiavimai pateikiami 1 priede. Pradiniai skaičiavimai atliekami 100kg stiklo lydalo (m.d.). Apskaičiuoti reikalingi pradinių žaliavų kiekiai pateikiami toliau (3.5 lentelė).

Gauti duomenys perskaičiuojami pasirinktam funkciniam vienetui. Apskaičiuoti žaliavų kiekiai 100 kg stiklo lydalo išlydyti proporcingai padidinami reikamai įkrovos talpai, t.y 1200 kg stiklo lydalo. Žinoma kad 100 kg stiklo reikia 136,330 žaliavų, t.y.  $1200:136,330 = 8,802$  kartus mažiau nei reikia patiekti į maišytuvą. Taigi gautus duomenis padidiname 8,802 karto (3.6 lentelė).

**3.5 lentelė. Apskaičiuota įkrovos ir stiklo sudėtis.**

Žaliava	Kiekis	Stiklo cheminė sudėtis, %						Iš viso
	kg	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MaO	Na <sub>2</sub> O	
Smėlis	69,721	68,828	0,096	0,001	0,118	0,062	-	69,105
Dolomitas	8,402	0,108	0,015	0,0002	2,627	0,062		2,81
Putnagai	7,655	4,200	1,346	0,017	0,060	0,022	0,744	5,645
Natrio karbonatas	98,49						57,600	57,600
Iš viso	184,268	73,136	1,457	0,0182	2,805	0,146	58,344	135,160
Perskaičiuota 100 kg stiklo	136,330	54,110	1,078	0,013	2,075	0,108	43,166	100

**3.6 lentelė. Įkrovos maišinio sudėtis.**

Žaliavų kiekis kg/100 kg stiklo	Įkrovos maišinys kg
Smėlis	69,721
Dolomitas	8,402
Putnagai	7,655
Natrio karbonatai	26,338
	$69,721 \times 8,802 = 613,684$
	$8,402 \times 8,802 = 73,954$
	$7,655 \times 8,802 = 67,379$
	$26,338 \times 8,802 = 866,90$

Grąžinus stiklo duženas į gamybą, bus tausojamos pradinės žaliavos. Pradiniai žaliavų kiekiai proporcingai mažės pagal stiklo duženų įterpimo kiekį (3.7 lentelė).

Gaminant stiklą tik iš stiklo duženų padaugėja brokuotos produkcijos. Dėl to 1000 kg stiklo taros pagaminti prireiks 1200 kg stiklo duženų [36].

**3.7 lentelė. Žaliavų kiekiai reikalingi stiklo gamybai su stiklo duženomis.**

Stiklo duženų procentinė dalis, %	Kiekis, Kg				
	Stiklo duženos	Smėlis	Dolomitas	Aliuminis	Natrio karbonatas
40	400	441,48	133,05	9,07	139,1
65	650	257,23	77,61	5,29	81,14
100	1200	-	-	-	-

Stiklo atliekų surinkimui daromos prielaidos:

1. Surenkama iš prekybos centruose esamų taros surinkimo sistemų punktų.
2. Surenkama iš rūšiavimo konteinerių.
3. Atskiriama iš komunalinių atliekų.

Stiklo gamybos pagrindiniai žingsniai išlieka tokie patys nepriklausomai nuo to ar stiklas bus gaminamas iš pradinių žaliavų ar iš stiklo duženų. Susmulkintos žaliavos tiekiamos į aukštos temperatūros krosnis. Pagrindinis skirtumas yra skirtingas energijos srauto kiekis reikalingas lydymo procesui (3.8 lentelė).

Manoma, kad 10proc. stiklo duženų panaudojimas įkrovoje reikalingą energijos sąnaudas sumažina 2,5 -3 proc. [36]

**3.8 lentelė. Energijos sąnaudos stiklo butelių gamyboje.**

<b>Procesas</b>	<b>Naudota energijos rūšis</b>	<b>Sunaudotas energijos kiekis, kWh/t</b>
Stiklo rūšiavimas	Elektros energija	50
<b>Lydimas</b>		
Pradinės medžiagos	Gamtinės dujos	1515,18
40% stiklo duženų	Gamtinės dujos	1347,15
65% stiklo duženų	Gamtinės dujos	1284,14
100% stiklo duženų	Gamtinės dujos	1096,09
1200 kg stiklo duženų	Gamtinės dujos	1138,85
Butelių formavimas	Elektros energija	382,00
Atkaitinimas	Gamtinės dujos	539,25

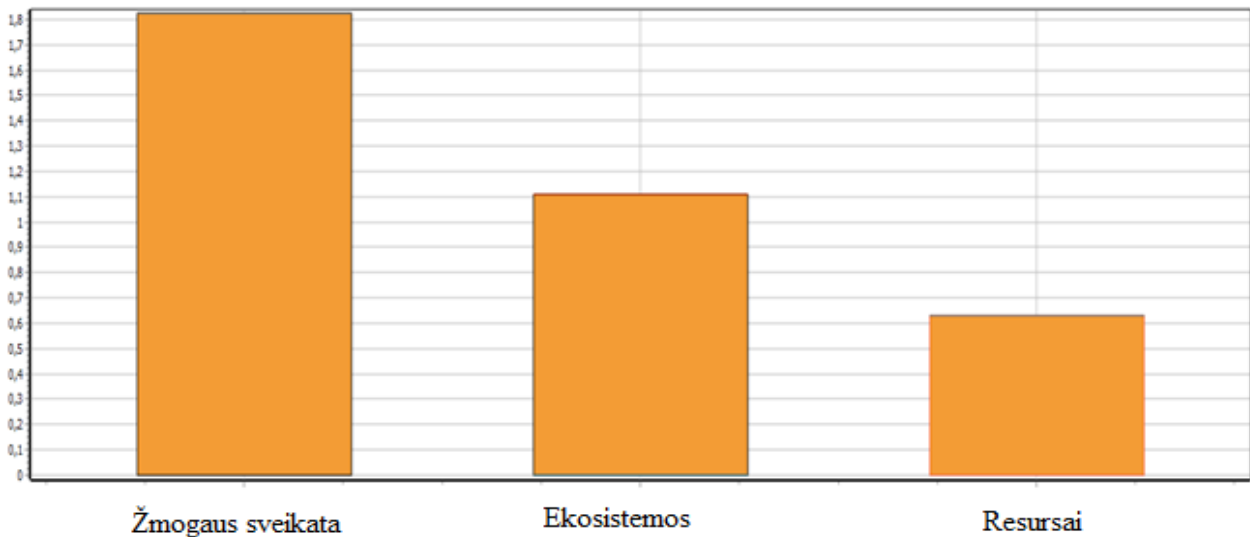
Stiklo butelių gamybos, pagrindinių žaliavų emisijos buvo modeliuojamos automatiškai būdu iš SimaPro programinės įrangos duomenų bazės.

Normalizuotas palyginamasis vertinimas, įvertinus elektros energijos sąnaudas, rodo poveikį žmogaus sveikatai, ekosistemoms ir resursams. Gaminant stiklo tarą iš pradinių žaliavų (smėlio, dolomito, putnago ir natrio karbonato) didžiausias poveikis keliamas žmogaus sveikatai (1,82) , mažiausias – resursams (0,63) (3.10 pav). Poveikis žmogaus sveikatai yra 2,88 karto didesnis nei resursams ir 1,64 karto didesnis nei poveikis ekosistemoms. Panašius rezultatus savo tyrime gauna Fusi ir kt. (2014) [37].

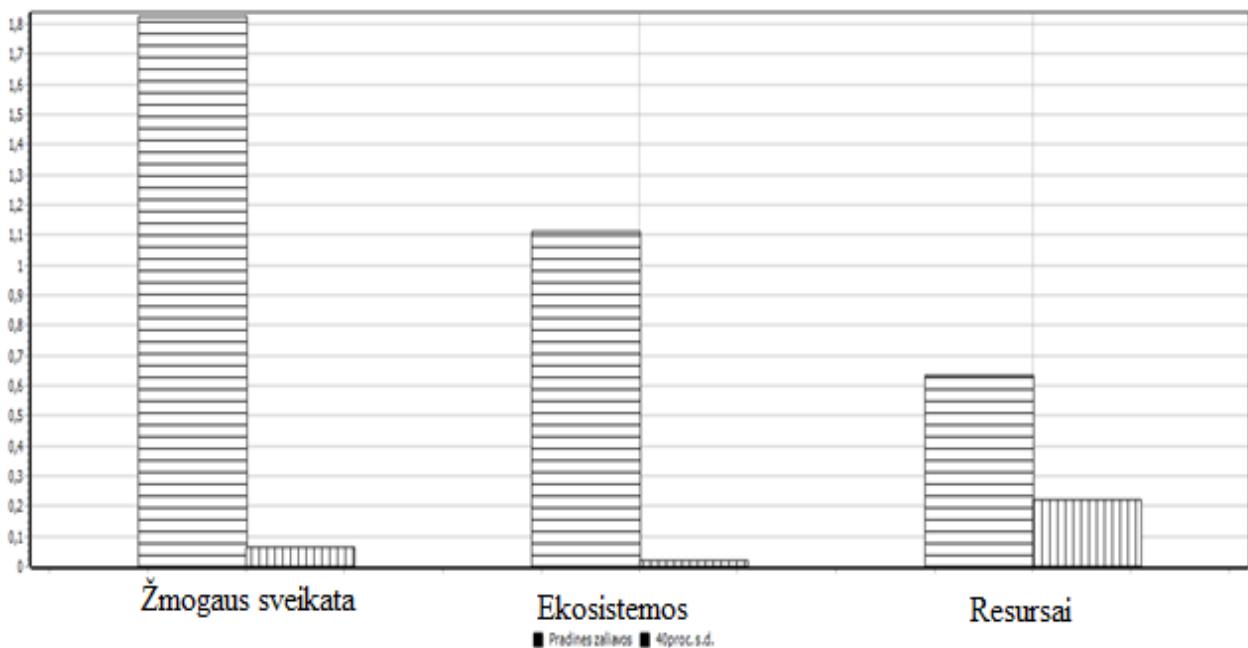
Stiklo taros gamyboje pradėjus naudoti stiklo duženas poveikis žmogaus sveikatai sumažėja, didesnis poveikis keliamas resursams. Gaminant stiklo pakuotę iš pradinių žaliavų ir

40proc. stiklo duženų, poveikis žmogaus sveikatai yra 2,44 kartus mažesnis, nei keliamas poveikis resursams.

Stiklo pakuočių gamybai naudojant 40 proc. stiklo duženų, žmogaus sveikatai keliamas poveikis sumažėja 96 proc., ekosistemai keliamas poveikis sumažėja 98 proc., resursams – 65 proc. (3.11 pav.).

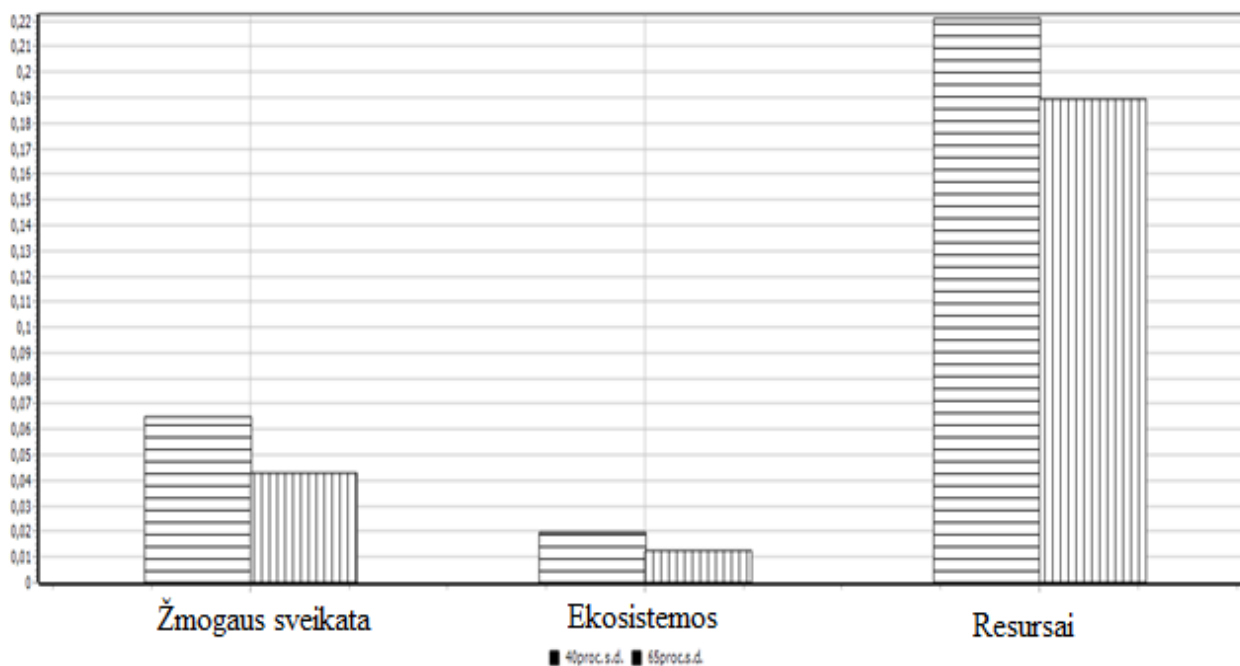


3.10 pav. Stiklo taros gamybos proceso poveikių vertinimas skirtingoms poveikio kategorijoms (iš pradinių žaliavų).



3.11 pav. Stiklo taros gamybos proceso poveikių vertinimas skirtingoms poveikio kategorijoms (gamyba iš pradinių žaliavų ir 40 proc. stiklo duženų)

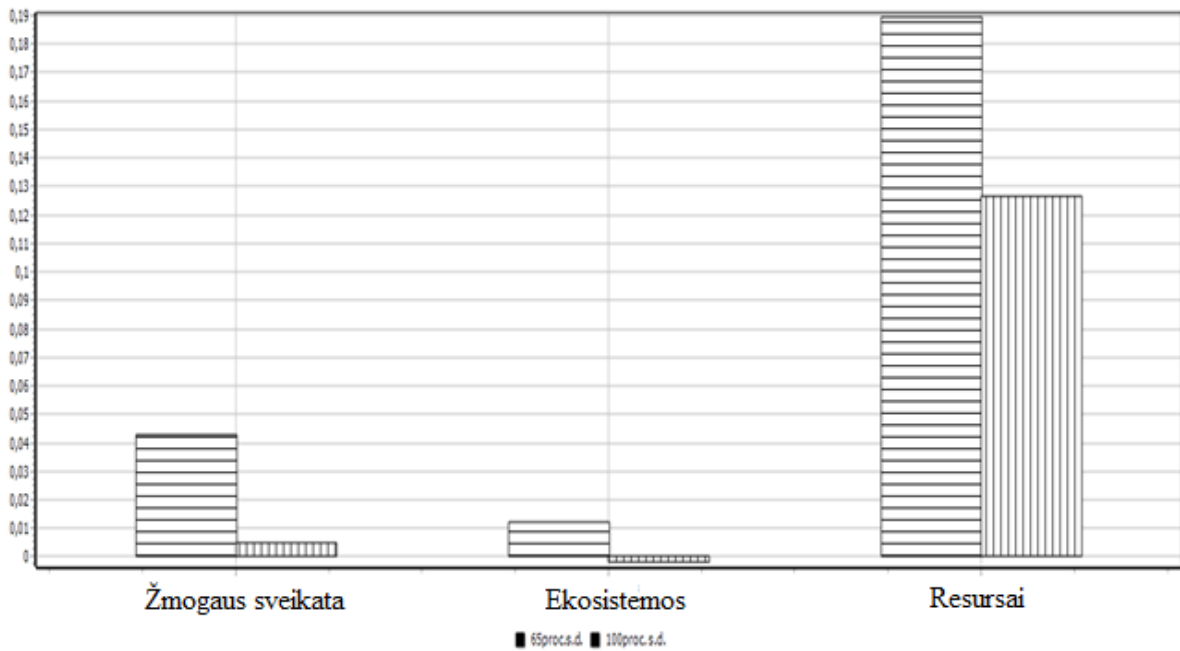
Vertinant procesų poveikį gaminant stiklo pakuotes naudojant 40proc. ir 65 proc. stiklo duženų didžiausias poveikis yra keliamas resursams. Padidinus stiklo duženų kiekį stiklo taros gamybos procese visose kategorijose poveikis sumažėja, labiausiai sumažėja keliamas poveikis ekosistemoms – 37 proc., žmonių sveikatai poveikis sumažėja 34 proc, mažiausias poveikio sumažėjimas matomas resursų kategorijoje – 14 proc. (3.12 pav.).



3.12 pav. Stiklo taros gamybos proceso poveikių vertinimas skirtingoms poveikio kategorijoms (gamyba iš 40 ir 60 proc. stiklo duženų)

Toliau didinant stiklo duženų kiekį stiklo pakuočių procese palaipsniui mažėja keliamas poveikis visose kategorijose. Padidinus stiklo duženų naudojimą gamyboje 25proc t.y. gaminant stiklo tarą iš pradinių žaliavų ir 65proc. stiklo duženų, procesų daromas poveikis žmogaus sveikatai yra 2,35 karto mažesnis nei keliamas poveikis resursams. (3.12 pav.) Stiklo gamybai naudojant tik stiklo duženas, žmogaus sveikatai daromas poveikis yra 2,31 karto mažesnis nei procesų sukeliamas poveikis resursams.

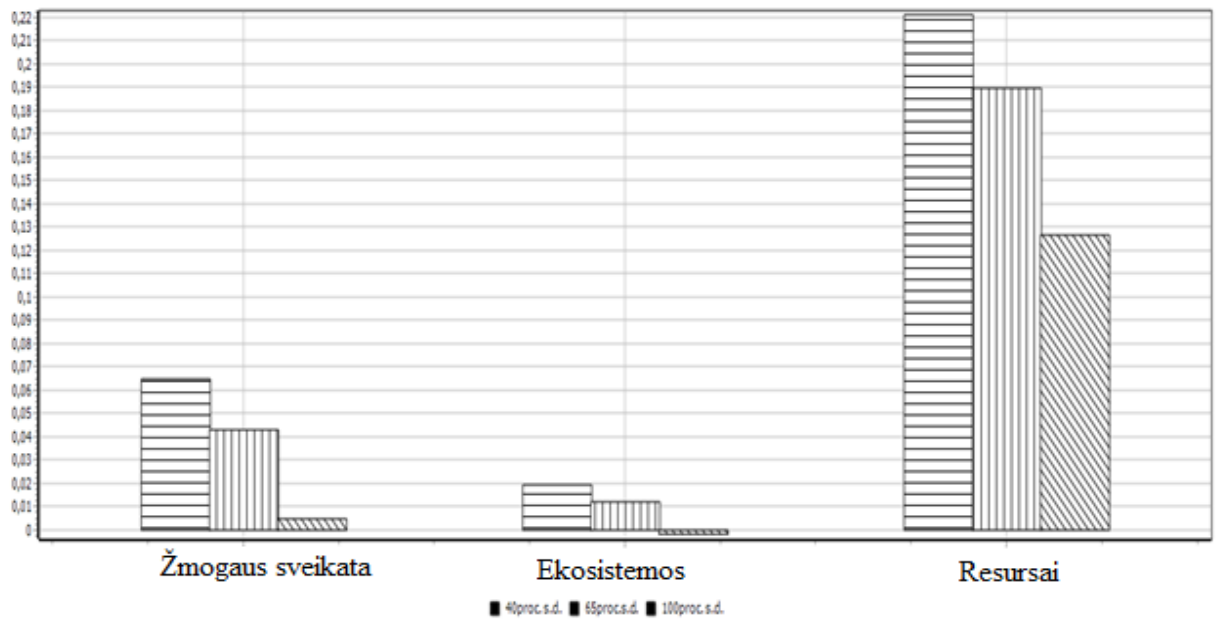
Stiklo taros gamybai nebenaudojant pradinių žaliavų resursams daromas poveikis sumažėja 33 proc., poveikis žmogaus sveikatai sumažėja 88 proc. vertinant ekosistemoms keliamą poveikį yra pasiekiamas maksimumas, gamybai naudojant 100 proc stiklo duženų, nevertinant susidarančios brokuotos produkcijos, yra išvengiamas poveikis ekosistemoms (3.13 pav.).



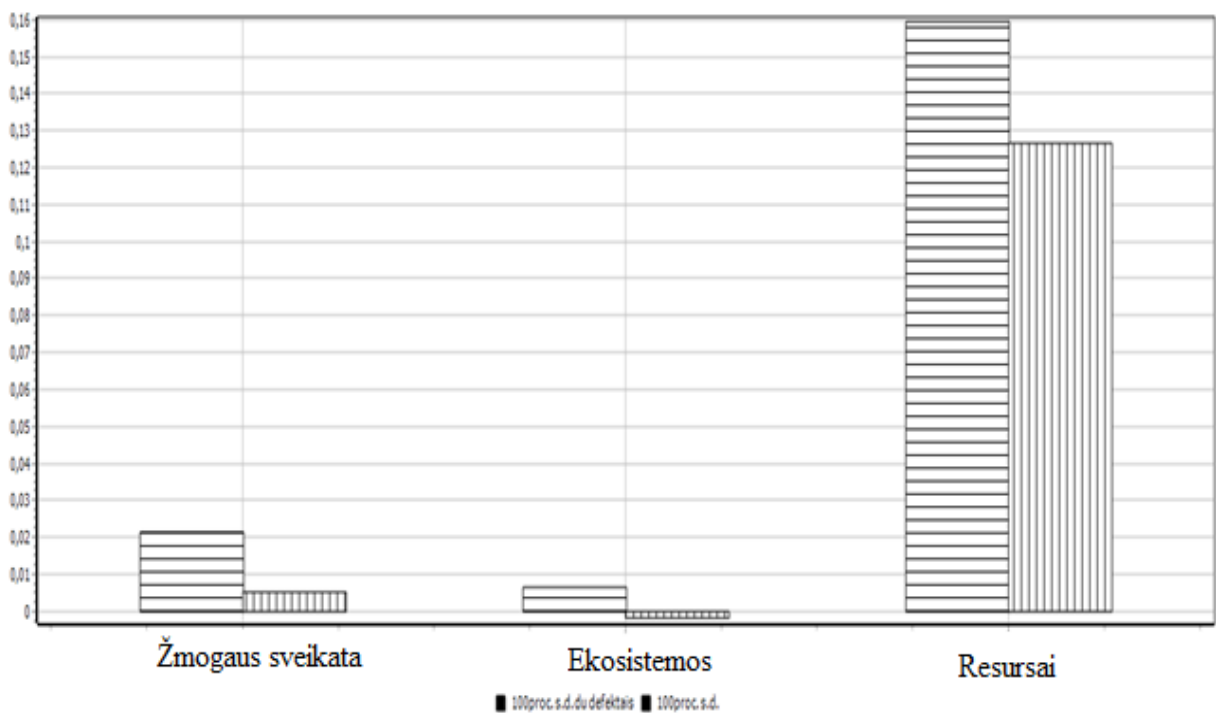
**3.13 pav. Stiklo taros gamybos proceso poveikių vertinimas skirtingoms poveikio kategorijoms (gamyba iš 60 ir 100 proc. stiklo duženų)**

Palyginus normalizacijos grafikus matoma, kad didžiausias poveikis yra keliamas resursams. Procese padidinus stiklo duženų kiekį 25 proc. resursų poveikis sumažėja 14 proc., padidinus 60 proc. – sumažėja 43 proc., mažiausias poveikis yra keliamas ekosistemoms, padidinus stiklo duženų kiekį gamyboje 25proc. poveikis ekosistemoms sumažėja 37 proc., padidinus dar 60 proc., stiklo duženų kiekį t.y. gamybai nebenaudojant pradinių gamybos žaliavų ekosistemai keliamas poveikis yra išvengiamas. (3.14 pav.)

Įvertinus, kad stiklo taros gamyboje naudojant tik stiklo duženas susidaro apie 20 proc. brokuotos produkcijos gaunama, kad resursams daroma poveikis išauga 21 proc. Įtaką poveikio didėjimui sukelia tai, kad norint gauti 1000 kg stiklo butelių tinkamų vartojimui, gamybos metu reikia panaudoti 20 proc daugiau stiklo duženų, t.y. 1200 kg, tai sukelia intensyvesnę energijos naudojimą. Kas sukelia įtaką poveikio didėjimui žmogaus sveikatai ir ekosistemoms. Poveikis žmogaus sveikatai padidėja 4 kartus. Atsiranda keliamas poveikis ekosistemoms, kuris neįvertinant broko buvo įgavęs neigiamą reikšmę (3.15 pav.).



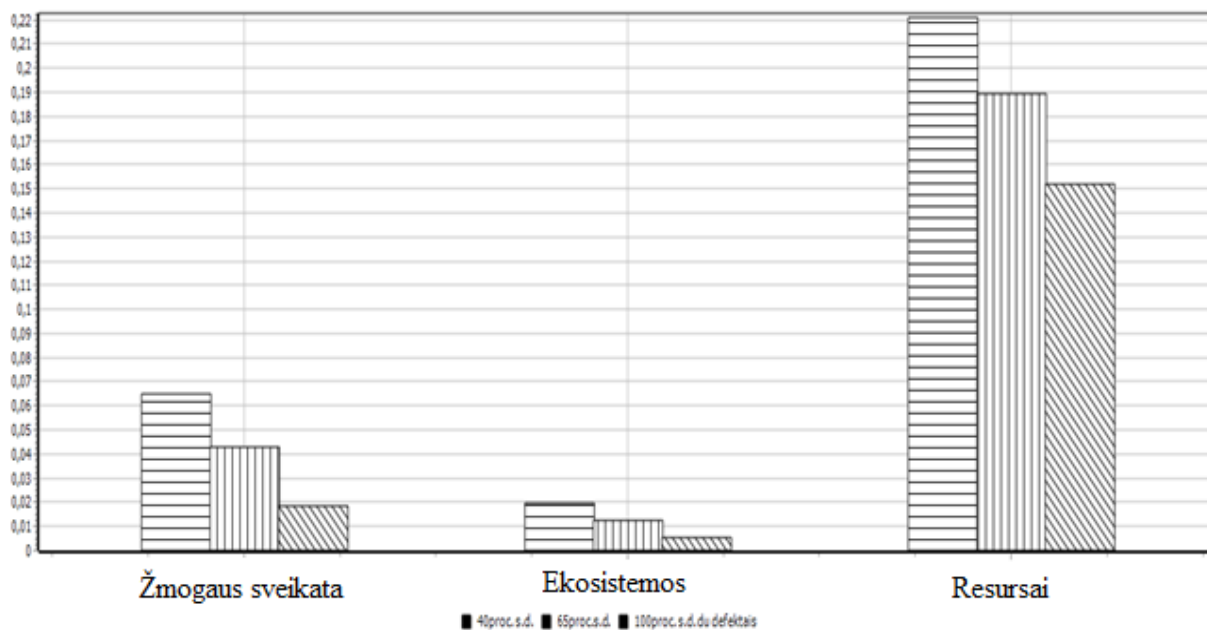
3.14 pav. Stiklo taros gamybos proceso poveikių vertinimas skirtingoms poveikio kategorijoms (gamyba iš 40, 60 ir 100 proc. stiklo duženų)



3.15 pav. Stiklo taros gamybos proceso poveikių vertinimas skirtingoms poveikio kategorijoms, įvertinus brokuotus produktus.

Tačiau išaugęs poveikis naudojant 100 proc. stiklo duženų, įvertinus brokuotą produkciją, vis tiek nesukelia didesnio poveikio visoms poveikio kategorijoms, nei gamybai naudojant

pradines medžiagas. Palyginus normalizacijos grafikus matyti, kad didžiausias poveikis yra keliamas resursams. Procese padidinus stiklo duženų kiekį 60 proc. t.y. gamybai naudojant 1200 kg stiklo duženų, resursų poveikis sumažėja 28 proc., mažiausias poveikis yra keliamas ekosistemoms, lyginant stiklo gamybą su 40 proc. stiklo duženų poveikis ekosistemoms sumažėja 66 proc, lyginant su 65 proc, - sumažėja 46 proc. (3.16 pav.). Panašią analizę atliko ir aprašė mažėjančių poveikį aplinkai ir M. Vellinis (2009) [24].



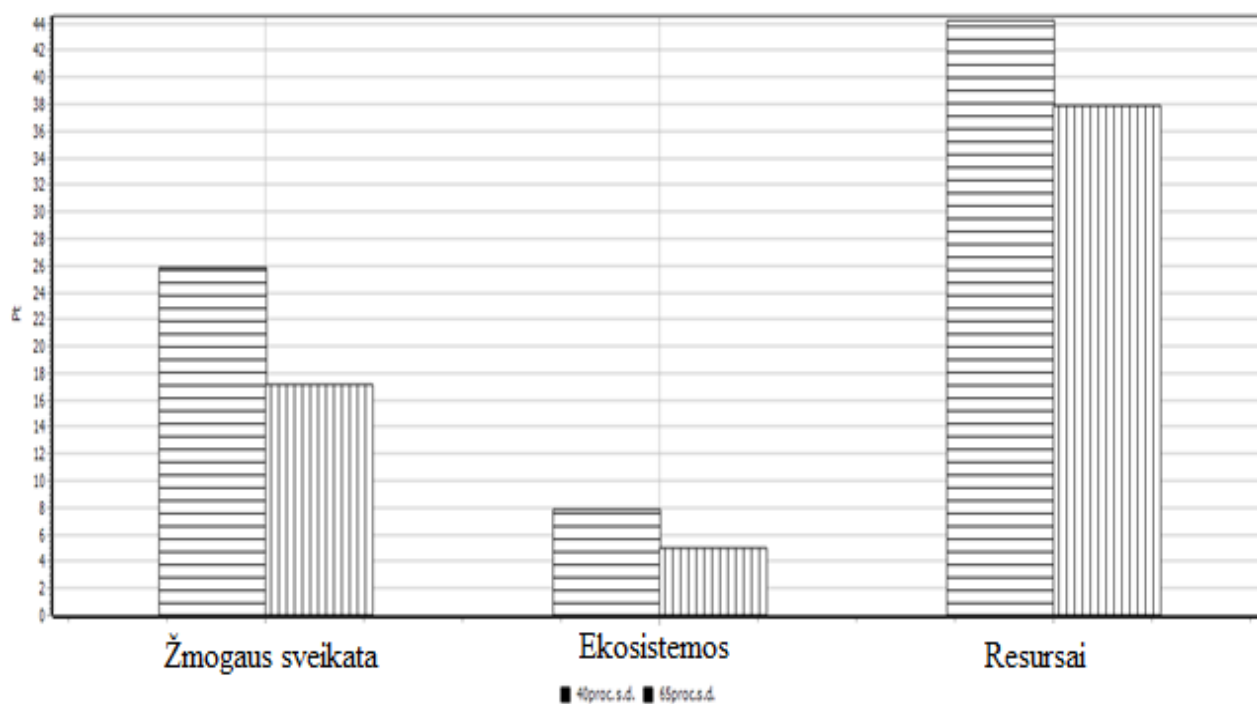
**3.16 pav. Stiklo taros gamybos proceso poveikių vertinimas skirtingoms poveikio kategorijoms, įvertinus brokuotus produktus.**

Perdirbamas stiklas leidžia sutaupyti energijos sąnaudas gamybos procese, tačiau transporto sektoriuje suvartojami energijos kiekiai išlieka tokie pat. Į gamybos pramonę nebereikia gabenti žaliavų, kas leidžia sutaupyti energiją, tačiau apskaičiuotus panaudotų medžiagų (stiklo duženų) surinkimą ir transportavimą, energijos sąnaudos išlieka tokios pat [39] [40]. Lydant stiklo duženas suvartojama mažiau energijos nei lydant įkrovą iš pirminių žaliavų, kas lemia grynosios energijos taupymą. Visa sutaupyta energija yra iš iškastinio kuro, stiklo įkrovos lydymui nėra naudojami atsinaujinantys energijos šaltiniai, kas galėtų užtikrinti dar didesnę efektyvumą kuriant tvaresnę aplinką.

Svoriniai procesų rezultatai vizualiai yra labai panašūs į normalizuotus duomenis, tačiau svartinis metodas vertina ekosistemas ir žmogaus sveikatą kaip reikšmingesnes poveikio kategorijas nei resursus, todėl rezultatai matematiškai skiriasi. Nors ir matematiniai rodikliai skiriasi, tačiau nepakeičia fakto, kad efektyvesnis, mažesnę poveikį keliantis procesas yra stiklo gamyba su 65 proc. stiklo duženų. Mažesnis stiklo duženų kiekio naudojimas įtakoja 13

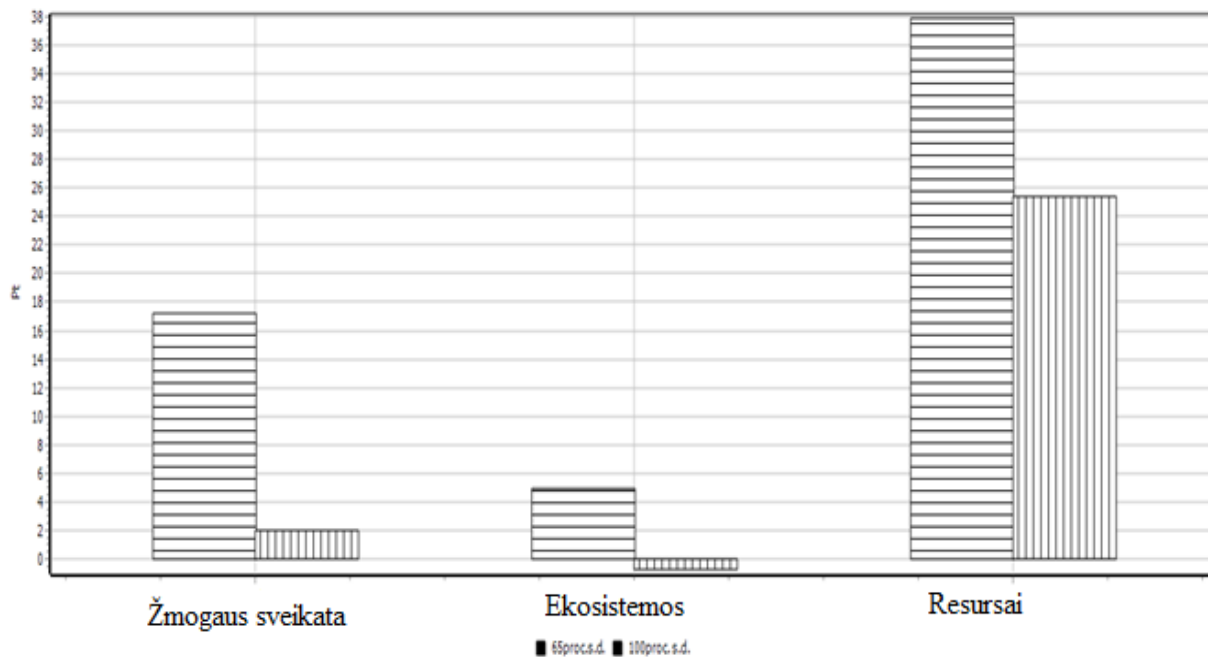


proc. didesnę poveikį resursams. Didinant stiklo duženų kiekį žmogaus sveikatai keliamas poveikis mažėja 33 proc., ekosistemoms – 36 proc. (3.17 pav.)



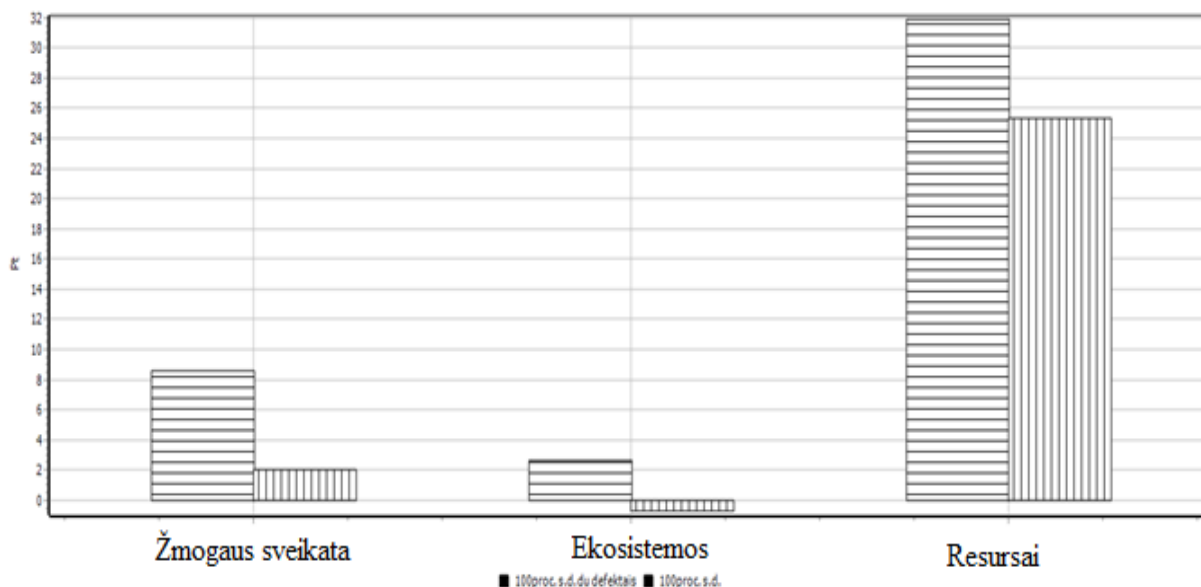
3.17 pav. Svorinis stiklo taros gamybos procesų palyginamasis poveikio vertinimas (40 ir 65 proc. stiklo duženų).

Nevertinant gamybos metu susidarančios produkcijos svoriniai procesų rezultatai rodo, kad gamybai naudojant tik stiklo duženas, ekosistemoms žala nebus keliamas. Žmogaus sveikatai keliamas poveikis bus 9 kartus mažesnis, nei gaminant stiklo tarą iš įkrovos, kurios sudėtyje yra 65 proc. stiklo duženų. (3.18 pav.)



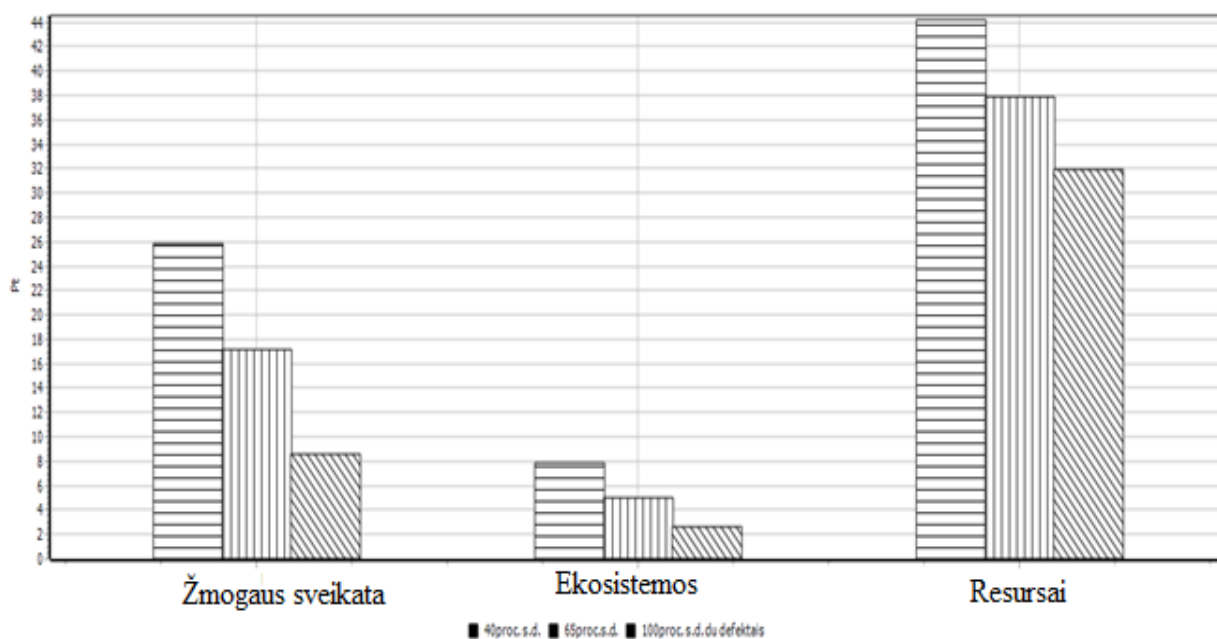
3.18 pav. Svorinis stiklo taros gamybos proceso poveikių vertinimas skirtingoms poveikio kategorijoms, (65 ir 100 proc. stiklo duženų).

Gaminant sticlą iš 100 proc. stiklo duženų, brokuotos produkcijos sukeltas poveikis įtakoja poveikio didėjimą žmogaus sveikatai 66 proc. Atsiranda poveikis ekosistemoms (2,65 Pt). Resursams daromas poveikis padidėja 1,5 karto (3.19 pav.).



3.19 pav. Svorinis stiklo taros gamybos proceso poveikių vertinimas skirtingoms poveikio kategorijoms, įvertinus brokuotus produktus.

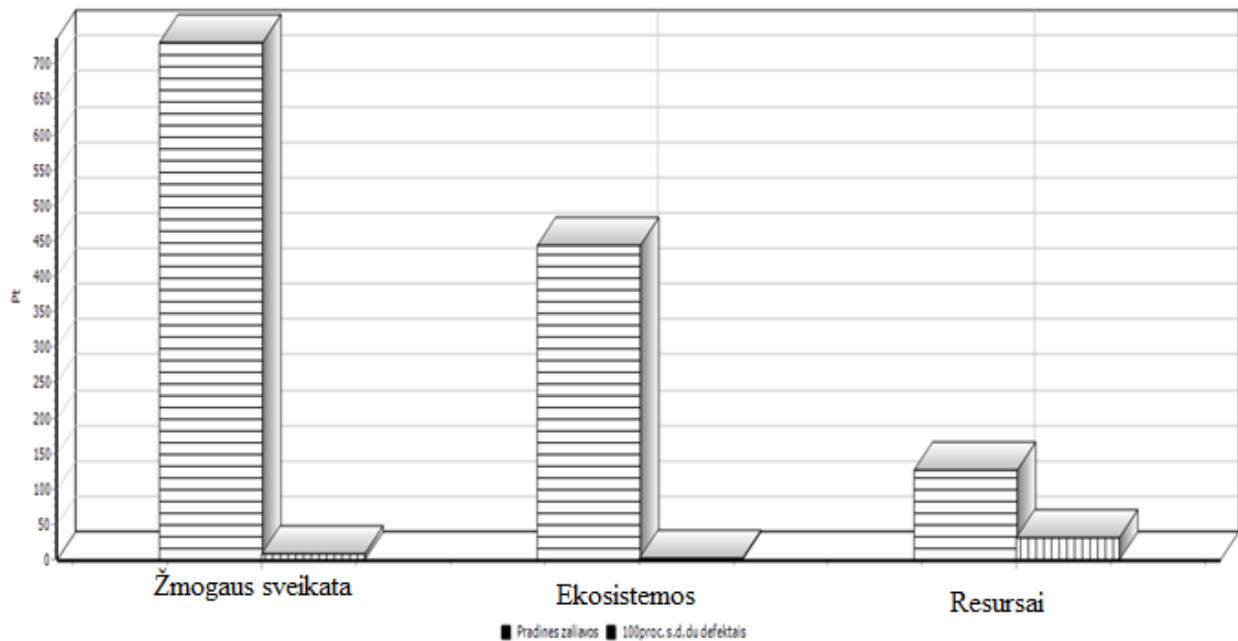
Įvertinus brokuotos produkcijos susidarymą, matomas akivaizdus poveikio mažėjimas visose kategorijose, nors ir duženų kiekio didinimas, gamybos procese, sukelia brokuotos produkcijos didėjimą. Rezultatai rodo, kad didžiausias poveikis yra keliamas resursams, 55 proc. didesnis nei poveikis žmogaus sveikatai. Ekosistemoms keliamas poveikis yra 70 proc. mažesnis nei žmogaus sveikatai.



**3.20 pav. Svorinis stiklo taros gamybos proceso poveikių vertinimas skirtingoms poveikio kategorijoms, įvertinus brokuotus produktus.**

Nustatyta, kad visais atvejais medžiagų perdirbimas yra reikšmingas šiltnamio efektą sukeliančių dujų išsiskyrimui. Naudojant antrines žaliavas sutaupoma gamybos energija kas sumažina šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekio išsiskyrimą [41]. Stiklo butelių perdirbimas teikia didelį potencialą išvengti šių dujų susidarymo naštos [35].

Akivaizdžiai ir vienareikšmiškai 100 proc. stiklo perdirbimas teiktų naudą visoms poveikio kategorijoms. Žmogaus sveikatai keliamas poveikis sumažėja 98,9 proc. Poveikis ekosistemoms sumažinamas iki minimumo, daroma žala sumažėja 99,5 proc. Minimaliausiai poveikis sumažinamas resursų kategorijoje, t.y poveikis sumažėja 75 proc.(3.21 pav.).



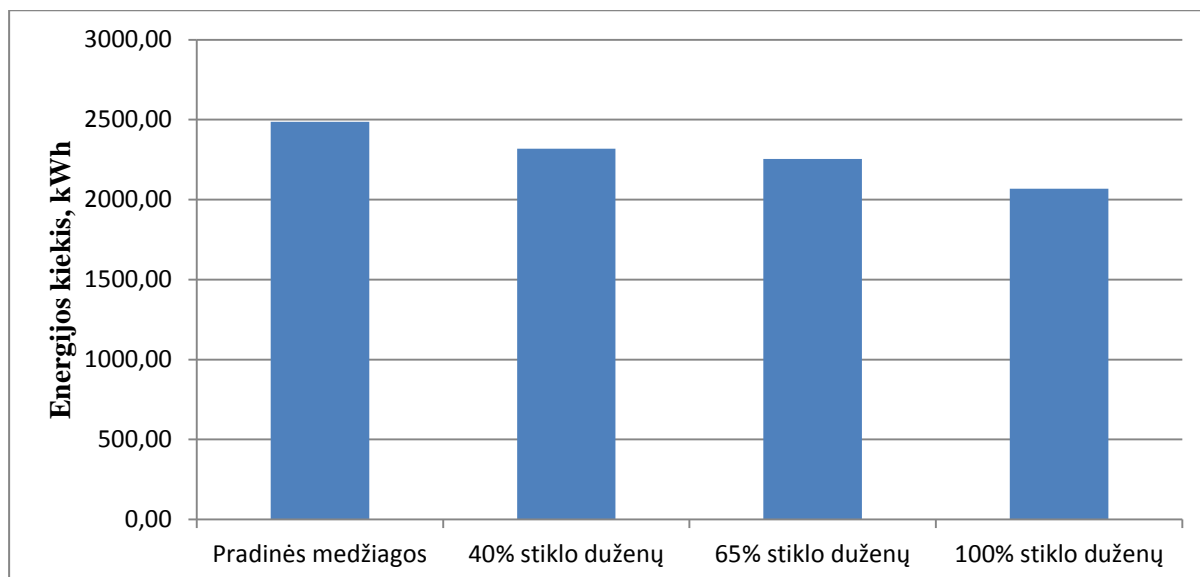
3.21 pav. Stiklo taros gamybos proceso poveikių vertinimas skirtingoms poveikio kategorijoms, įvertinus brokuotus produktus (gamyba iš 1000 kg ir 1200 kg stiklo duženų)

### 3.3. Poveikio vertinimas

Gaminio ar paslaugos poveikį galima mažinti įvairias būdais – keičiant vienos ar kitos gamybos stadijos parametrus, pakeičiant pradinę žaliavą, inžineriškais linijos tobulinimo projektavimais ir pan. Tačiau prieš svarbius pokyčius reikia įvertinti produktą nuo „lopšio“ iki „kapo“. Vienos gamybos stadijos pakeitimas turi nepakenkti kitai stadijai ir nesukelti papildomos naštos aplinkai. Vienoje stadijoje sumažinus taršą privaloma įvertinti ir užtikrinti kad kitoje stadijoje tarša nepadidėtų.

Georgas S. (1981) teigia, kad gyvavimo ciklo sąvoką galima suprasti dvejopai. Viena vertus ši sąvoka nukreipia į individualius loginius apmąstymus. Kita vertus ciklo analizės vertinimo paprastumas procesą daro pažeidžiamu, ypač jeigu jis yra naudojamas, kaip prognozavimo priemonė. Sunku yra prognozuoti, kaip vienos sistemos pakeitimas paveiks kitos sistemos veikimą [38].

Įvertinus BVC svarbą kiekvieno produkto gamybai, buvo analizuojama stiklo pakuočių gamyba nuo žaliavos paruošimo iki susidariusių atliekų pašalinimo. Nustatyta, didžiausią taršą sukkeliantis gamybos etapas, t.y. po pakuotės panaudojimo susidarančios stiklo taros atliekos, bei energijos suvartojimas įkrovos lydymo metu. Fusi ir kt. (2014) savo pranešime aprašo, kad didžiausias poveikis stiklo medžiagų sukeliamas dėl gamyboje intensyviai naudojamos energijos [37].



**3.22 pav. Energija suvartojama stiklo taros gamyboje.**

Lydimo procesui suvartojama energija mažėja priklausomai nuo to kiek yra naudojama stiklo duženų. Kadangi stiklo duženomis išlydyti reikalinga mažesnė šiluma, suvartojamos energijos kiekis taip pat bus mažesnis. Pradėjus naudoti 40 proc., stiklo duženų energijos kiekis sumažėja 7 proc., dar padidinus 25 proc., procese naudojamų stiklo duženų kiekį energijos sąnaudos sumažėja 10 proc. Lyginant gamybos procesą iš pradinių žaliavų su procesu kai yra naudojama 100 proc. stiklo duženų, matome, kad energijos sąnaudos sumažėja 17 proc. Atlikęs analizę B. Sheperdas gavo labai panašius rezultatus [39].

## IŠVADOS

1. Iš daugelio pakavimo medžiagų (aliuminis, kartonas, PET ir kt.) perdirbimui perspektyviausia yra stiklo pakuotė. Pasaulinėje praktikoje jau yra taikomas 100 proc. stiklo duženų naudojimas, stiklo taros gamyboje. Pagal kasmetinius perdirbimo rodiklius, geresnės ekonominės būklės valstybėse, yra suinteresuotos didinti perdirbamą stiklo duženų kiekį. Lietuvoje pagal pagaminamus stiklo taros kiekius šiuo metu perdirbimui gražinama apie 60 - 70 proc. stiklo duženų. Gamyboje naudojamas stiklo duženų kiekis sparčiai augo, šalyje įdiegus taromatų sistema.
2. Gaminant stiklo tarą iš pradinių žaliavų (smėlio, dolomito, putnago ir natrio karbonato) didžiausias poveikis keliamas žmogaus sveikatai, mažiausias – resursams. Poveikis žmogaus sveikatai yra 2,8 karto didesnis nei resursams ir 1,6 karto didesnis nei poveikis ekosistemoms.
3. Stiklo taros gamybos metu 40 proc. pradinių žaliavų pakeitus stiklo duženomis, poveikis žmogaus sveikatai sumažėja 28 kartus. Žmogaus sveikatai keliamas poveikis yra 3 kartus didesnis nei ekosistemoms ir 3 kartus mažesnis nei resursams.
4. Nustatyta, kad padidinus įkrovoje stiklo duženų kiekį, nuo 40 proc. iki 65 proc., poveikis žmogaus sveikatai ir ekosistemoms sumažėja 1,5 karto, mažiausias poveikio pakitimas matomas resursu kategorijoje, poveikis sumažėja 1,2 karto.
5. Įkrovoje didinant naudojamų duženų kiekį, gauti rezultatai parodo akivaizdų poveikio žmogaus sveikatai, ekosistemoms ir resursams, mažėjimą. Poveikis visose kategorijose minimalizuojamas stiklo pramonėje naudojant 100 proc. stiklo duženų. Žmogaus sveikatai keliamas poveikis sumažėja 98,9 proc. Poveikis ekosistemoms sumažinamas iki minimumo, daroma žala sumažėja 99,5 proc. Minimaliausiai poveikis sumažinamas resursų kategorijoje, t.y poveikis sumažėja 75 proc.

## LITERATŪRA

- [1] I. Dobos and K. Richter, “An extended production/recycling model with stationary demand and return rates,” *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 90, no. 3, pp. 311–323, 2004.
- [2] Specialioji ataskaita Nr. 20/2012 "Ar komunalinių atliekų tvarkymo infrastruktūros projektams skirtas struktūrinių priemonių finansavimas veiksmingai padeda valstybėms narėms siekti ES atliekų politikos tikslų?"
- [3] “Packaging waste statistics - Statistics Explained.” [Interaktyvus]. Prieiga internete: [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Packaging\\_waste\\_statistics](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Packaging_waste_statistics). [Peržiūrėta 2016 09 20].
- [4] “ Lietuvos Respublikos APLINKOS MINISTERIJA/ Atliekos.” [Interaktyvus].Prieiga internete: <http://gamta.lt/cms/index?rubricId=ab9ca396-c732-462c-a1c3-96260482d7ed>. [Peržiūrėta 2016 10 11].
- [5] M. S. Andersen, “An introductory note on the environmental economics of the circular economy,” *Sustain. Sci.*, vol. 2, no. 1, pp. 133–140, Mar. 2007.
- [6] J. Auer, N. Bey, and J.-M. Schäfer, “Combined Life Cycle Assessment and Life Cycle Costing in the Eco-Care-Matrix: A case study on the performance of a modernized manufacturing system for glass containers,” *J. Clean. Prod.*, vol. 141, pp. 99–109, 2017.
- [7] “Europos Parlamento ir Tarybos direktyva 94/62/EB, "dėl pakuočių ir pakuočių atliekų"” [Interaktyvus]. Prieiga internete: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/?uri=CELEX%3A31994L0062>. [Peržiūrėta 2016 11 05].
- [8] T. M. Coelho, R. Castro, and J. A. Gobbo, “PET containers in Brazil: Opportunities and challenges of a logistics model for post-consumer waste recycling,” *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 55, no. 3, pp. 291–299, 2011.
- [9] J. Cleary, “Life cycle assessments of wine and spirit packaging at the product and the municipal scale: a Toronto, Canada case study,” *J. Clean. Prod.*, vol. 44, pp. 143–151, 2013.
- [10] M. Hekkert, L. Joosten, and E. Worrell, “CO 2 emission reduction by improved use of packaging materials.”
- [11] P. A. Bingham and C. M. Jackson, “Roman blue-green bottle glass: chemical–optical analysis and high temperature viscosity modelling,” *J. Archaeol. Sci.*, vol. 35, no. 2, pp. 302–309, 2008.
- [12] V. W. Y. Tam and C. M. Tam, “A review on the viable technology for construction waste recycling,” *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 47, no. 3, pp. 209–221, 2006.
- [13] D. Z. Yankelevskyu and I. Avnon, “A Review On The Viable Technology For

Construction Waste Recycling,” 2012.

- [14] M. Pavlas and M. Touš, “Efficient waste-to-energy system as a contribution to clean technologies,” *Clean Technol. Environ. Policy*, vol. 11, no. 1, pp. 19–29, Feb. 2009.
- [15] M. M. Disfani, A. Arulrajah, M. W. Bo, and R. Hankour, “Recycled crushed glass in road work applications,” *Waste Manag.*, vol. 31, no. 11, pp. 2341–2351, 2011.
- [16] N. Ding, F. Gao, Z. Wang, X. Gong, and Z. Nie, “Environment impact analysis of primary aluminum and recycled aluminum,” *Procedia Eng.*, vol. 27, pp. 465–474, 2012.
- [17] T. Chilton, S. Burnley, and S. Nesaratnam, “A life cycle assessment of the closed-loop recycling and thermal recovery of post-consumer PET,” *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 54, no. 12, pp. 1241–1249, 2010.
- [18] C. M. V. B. Almeida, A. J. M. Rodrigues, S. H. Bonilla, and B. F. Giannetti, “Emergy as a tool for Ecodesign: evaluating materials selection for beverage packages in Brazil,” *J. Clean. Prod.*, vol. 18, no. 1, pp. 32–43, 2010.
- [19] M. Meneses, J. Pasqualino, and F. Castells, “Environmental assessment of the milk life cycle: The effect of packaging selection and the variability of milk production data,” *J. Environ. Manage.*, vol. 107, pp. 76–83, 2012.
- [20] “Glass Recycling Facts | Glass Packaging Institute.” [Interaktyvus]. Prieiga internete: <http://www.gpi.org/recycling/glass-recycling-facts>. [Peržiūrėta 2017 03 16].
- [21] “Eurostat - Tables, Graphs and Maps Interface (TGM) table.” [Interaktyvus]. Prieiga internete: <http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/refreshTableAction.do?tab=table&plugin=1&pcode=ten00063&language=en>. [Peržiūrėta 2017 01 14].
- [22] “Lietuvos Respublikos APLINKOS MINISTERIJA.” [Interaktyvus]. Prieiga internete: <http://www.am.lt/VI/index.php#r/1378>. [Peržiūrėta 2017 01 14].
- [23] L. Hrbek, P. Kocourková, M. Jebavá, P. Cincibusova, and L. Němec, “Bubble removal and sand dissolution in an electrically heated glass melting channel with defined melt flow examined by mathematical modelling,” *J. Non. Cryst. Solids*, vol. 456, pp. 101–113, 2017.
- [24] M. Vellini and M. Savioli, “Energy and environmental analysis of glass container production and recycling,” *Energy*, vol. 34, no. 12, pp. 2137–2143, 2009.
- [25] *Stiklo ir jo gaminių cheminė technologija : vadovėlis / Kazys Strazdas ; 1998. .*
- [26] Y.-C. Tsai, C. Hung, and J.-C. Hung, “Glass material model for the forming stage of the glass molding process,” *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 201, no. 1, pp. 751–754, 2008.
- [27] “Silica and Health | Eurosil.” [Interaktyvus]. Prieiga internete: <http://www.eurosil.eu/silica-and-health>. [Peržiūrėta 2017 03 21].
- [28] A. Grbeš, “RUDARSKO – GEOLOŠKO – NAFTNI FAKULTET.”



- [29] A. Grbeš and Anamarija, “A Life Cycle Assessment of Silica Sand: Comparing the Beneficiation Processes,” *Sustainability*, vol. 8, no. 1, p. 11, Dec. 2015.
- [30] “Life Cycle Analysis of Glass Confirms Recycling Benefits | GreenBiz.” [Interaktyvus]. Prieiga internete: <https://www.greenbiz.com/news/2010/09/14/life-cycle-analysis-glass-confirms-recycling-benefits>. [Peržiūrėta 2017 03 21].
- [31] R. Accorsi, L. Versari, and R. Manzini, “Glass vs. Plastic: Life Cycle Assessment of Extra-Virgin Olive Oil Bottles across Global Supply Chains,” *Sustainability*, vol. 7, no. 3, pp. 2818–2840, Mar. 2015.
- [32] “Glass Life Cycle Assessment.” [Interaktyvus]. Prieiga internete: <http://www.ceramicindustry.com/articles/91057-glass-life-cycle-assessment>. [Peržiūrėta 2017 04 12].
- [33] A. W. Sleeswijk, L. F. C. M. van Oers, J. B. Guinée, J. Struijs, and M. A. J. Huijbregts, “Normalisation in product life cycle assessment: An LCA of the global and European economic systems in the year 2000,” *Sci. Total Environ.*, vol. 390, no. 1, pp. 227–240, 2008.
- [34] K. Navickas and K. Venšlauskas, “Energetikos ir biotechnologijų inžinerijos institutas,” 2012.
- [35] B. Simon, M. Ben Amor, and R. Földényi, “Life cycle impact assessment of beverage packaging systems: focus on the collection of post-consumer bottles,” *J. Clean. Prod.*, vol. 112, pp. 238–248, Jan. 2016.
- [36] A. Balandis and G. Vaickelionis, “Stiklo defektų, susijusių su stiklo duženų naudojimu įkrovoje, analizė,” *ISSN CHEMINĖ Technol. Nr.*, vol. 1, no. 59, pp. 1392–1231, 2012.
- [37] A. Fusi, R. Guidetti, and G. Benedetto, “Delving into the environmental aspect of a Sardinian white wine: From partial to total life cycle assessment,” *Sci. Total Environ.*, vol. 472, pp. 989–1000, 2014.
- [38] G. S. Day, “The Product Life Cycle: Analysis and Applications Issues,” *J. Mark.*, vol. 45, no. 4, p. 60, 1981.
- [39] L. L. Gaines, M. M. Mintz, and A. National Laboratory, “Energy Implications of Glass-Container Recycling.”
- [40] K. Funk, J. Milford, and T. Simpkins, “The Joint Institute for Strategic Energy Analysis is operated by the Alliance for Sustainable Energy, LLC, on behalf of the Waste Not, Want Not: Analyzing the Economic and Environmental Viability of Waste-to-Energy (WTE) Technology for Site-Specific Optimization of Renewable Energy Options The Joint Institute for Strategic Energy Analysis is operated by the Alliance for Sustainable Energy, LLC, on behalf of the,” 2013.

- [41] “Study - Complete Life Cycle Assessment of North American Container Glass | thinkstep - succeed sustainably.” [Interaktyvus]. Prieiga internete: <https://www.thinkstep.com/content/study-complete-life-cycle-assessment-north-american-container-glass>. [Peržiūrėta 2017 04 12].
- [42] C.-C. Huang and H.-W. Ma, “A multidimensional environmental evaluation of packaging materials,” *Sci. Total Environ.*, vol. 324, no. 1, pp. 161–172, 2004.

## PRIEDAI

Putnagų kiekio apskaičiavimas. Putnagų sudėtyje yra 20,55 %  $Al_2O_3$  ( 100kg putnago yra 20,55kg  $Al_2O_3$ ), 64,12 %  $SiO_2$  (64,12 kg),  $Fe_2O_3$  0,26% (0,26 kg),  $MgO$  0,34 % (0,34 kg),  $CaO$  0,90 % (0,90 kg).

Kadangi 100kg yra 20,55 kg  $Al_2O_3$ , tai vienam kg  $Al_2O_3$  gauti reikia imti 20,55 karto mažiau putnago: 100:20,55 kg, o 1,59 kg  $Al_2O_3$  gauti reikia 1,59 karto daugiau negu 1kg gauti. Reikalingą putnago kiekį, kad į stiklą patektų 1,59 %  $Al_2O_3$  , apskaičiuojame taip:

$$100 \text{ m.d. putnagų} - 20,55 \% Al_2O_3$$

$$x \text{ m.d putnagų} - 1,59 \% Al_2O_3$$

$$x = \frac{100 \times 1,59}{20,55} = 7,73 \text{ m.d. putnagų}$$

iš šios dalies putnagų į stiklo lydalą patenka ne tik  $Al_2O_3$ , bet ir kitų jį sudarančių oksidų. 1kg putnago yra 64,12 %  $SiO_2$  arba 0,6412 kg. Kiek iš 7,73 m.d. putnagų patenka į stiklo lydalą  $SiO_2$  apskaičiuojama pagal antrą lygtį:

$$y = \frac{7,73 \times 64,12}{100} = 4,96 \% SiO_2$$

Analogiškai apskaičiuojama kiek su putnagais į stiklą patenka kitų oksidų:

$$Al_2O_3 = \frac{20,55 \times 7,73}{100} = 1,59 \%$$

$$Fe_2O_3 = \frac{0,26 \times 7,73}{100} = 0,02 \%$$

$$CaO = \frac{0,9 \times 7,73}{100} = 0,69 \%$$

$$MgO = \frac{0,34 \times 7,73}{100} = 0,026 \%$$

$$Na_2O = \frac{11,35 \times 7,73}{100} = 0,88 \%$$

Analogiškai apskaičiuojamas ir kitų žaliavų kiekis bei su jomis į stiklą patenkantys oksidai.

Dolomito kiekio apskaičiavimas. Atėmę su apskaičiuotomis žaliavomis įterptą į stiklą MgO kiekį, apskaičiuojame kiek jo reikės įterpi su dolomitu:

$$2 - 0,025 = 1,975 \% = 1,975 \text{ m. d.}$$

Dolomito šiam MaO kiekiui įterpti reikės:

$$\frac{100 \times 1,975}{20,46} = 9,653 \text{ m. d.}$$

Apskaičiuojamas su dolomitu į stiklą patenkančių oksidų kiekis:

$$SiO_2 = \frac{9,653 \times 1,29}{100} = 0,125 \text{ m. d.}$$

$$Al_2O_3 = \frac{9,653 \times 0,18}{100} = 0,017 \text{ m. d.}$$

$$Fe_2O_3 = \frac{9,653 \times 0,002}{100} = 0,0002 \text{ m. d.}$$

$$CaO = \frac{9,653 \times 31,27}{100} = 3,018 \text{ m. d.}$$

Smėlio kiekio apskaičiavimas:

$$73,49 - 4,96 - 0,125 = 68,405 \text{ m. d.}$$

Šiam SiO<sub>2</sub> kiekiui įterpti reikės 68,405 m.d. smėlio. Su smėliu į stiklą pateks 67,652 % SiO<sub>2</sub>, 0,095 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0,027 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0,016 % CaO, 0,061 % MaO.

Natrio karbonato kiekio apskaičiavimas. Su putnagu į stiklą patenka 0,880 % Na<sub>2</sub>O, visą kitą Na<sub>2</sub>O kiekį reikės įterpti su natrio karbonatu:

$$58,48 - 0,880 = 57,6 \%$$

Apskaičiuojame kiek šiam kiekiui įterpti reikės natrio karbonato:

$$\frac{100 \times 57,6}{58,48} = 98,49 \text{ m. d.}$$

Apskaičiuoto žaliavų kiekio patikslinimas. Putnago kiekio patikslinimas.

Atėmę su visomis žaliavomis įterptą  $\text{Al}_2\text{O}_3$  kiekį apskaičiuojame apskaičiuojame kiek jo reikės įterpti su putnagais:

$$1,59 - 0,017 = 1,573 \%$$

Putnago kiekį apskaičiuojame pagal 3 lygtį:

$$z = \frac{100 \times 1,573}{20,55} = 7,655 \text{ m. d}$$

Su putnagu į stiklą pateks tiek oksidų: 4,2 %  $\text{SiO}_2$ , 1,346 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 0,017 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 0,06 %  $\text{CaO}$ , 0,022 %  $\text{MaO}$ , 0,744 %  $\text{Na}_2\text{O}$ .

Dolomito kiekio patikslinimas. Kiek su dolomitu dar reikia įterpti  $\text{MgO}$  apskaičiuojama taip:

$$2 - 0,22 - 0,061 = 1,719 \% \text{ MgO}$$

Šiam  $\text{MgO}$  kiekiui įterpti reikės 8,402 m.d dolomito. Su dolomitu į stiklą pateks 0,108%  $\text{SiO}_2$ , 0,015 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 0,0002 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 2,627 %  $\text{CaO}$ , 1,719 %  $\text{MaO}$ .

Smėlio kiekio patikslinimas. Kiek su smėliu dar reikia įterpti  $\text{SiO}_2$  apskaičiuojama taip:

$$73,49 - 4,2 - 0,015 = 69,275 \%$$

Šiam  $\text{SiO}_2$  kiekiui įterpti reikės 69,721 m.d. smėlio. Su smėliu į stiklą pateks 68,828%  $\text{SiO}_2$ , 0,096 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 0,001 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 0,118%  $\text{CaO}$ , 0,062 %  $\text{MaO}$ .

Iš 100 kg įkrovos išlydoma tiek stiklo lydalo:

$$136,330 - 100$$

$$100 - a$$

$$a = 73,351 \text{ kg}$$

Maišytuvo maišymo talpa 1200 kg. Žinoma kad 100 kg stiklo reikia 136,330 žaliavų, t.y.  
 $1200:136,330 = 8,802$  kartus mažiau nei reikia patiekti į maišytuvą.