



Kauno technologijos universitetas

Aplinkos inžinerijos institutas

Fotovoltinės vandens šildymo sistemos valdiklio ekologinis projektavimas

Baigiamasis magistro projektas

Lina Pilipienė
Projekto autorė

Dr. Daina Kliugaitė
Vadovė

Kaunas, 2018



Kauno technologijos universitetas

Aplinkos inžinerijos institutas

Fotovoltinės vandens šildymo sistemos valdiklio ekologinis projektavimas

Baigiamasis magistro projektas

Darnus valdymas ir gamyba (621H17002)

Lina Pilipienė
Projekto autorė

Dr. Daina Kliaugaitė
Vadovė

Recenzentas

Kaunas, 2018



Kauno technologijos universitetas

Aplinkos inžinerijos institutas

Lina Pilipienė

Fotovoltinės vandens šildymo sistemos valdiklio ekologinis projektavimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Linos Pilipienės, baigiamasis projektas tema „Fotovoltinės vandens šildymo sistemos valdiklio ekologinis projektavimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

TURINYS

Ivadas	12
1. ELEKTROS IR ELEKTRONINĖS ĮRANGOS (EEĮ) SEKTORIAUS PROBLEMINE ANALIZĖ BEI PROBLEMŲ SPRENDIMO GALIMYBĖS.....	14
1.1 EEĮ pramonės sektorius pasaulyje, Europoje ir Lietuvoje.....	14
1.2 EEĮ būvio ciklas: žaliavų savybės ir atliekų šalinimas.....	17
1.2.1 Kritinės medžiagos, kritiškumas.....	18
1.2.2 Elektros energijos naudojimas EEĮ vartojimo fazėje	20
1.2.3 EEĮ atliekos ir jų perdirbimo galimybės.....	22
1.3 EEĮ sektorius Žiedinėje ekonomikoje ir Ketvirtojoje pramonės revoliucijoje	28
1.4 EEĮ sektoriaus teisės aktų apžvalga.....	30
1.5 Ekologinio projektavimo aspektai.....	34
1.6 Mokslinių tyrimų, susijusių su EEĮ ekologiniu projektavimu, apžvalga	37
2. FOTOVOLTINĖS VANDENS ŠILDYMO SISTEMOS VALDIKLIO EKOLOGINIO PROJEKTAVIMO METODIKA	45
2.1 Būvio ciklo vertinimo metodika.....	46
2.2 Reikšmingų aspektų nustatymo, idėjų generavimo ir ekologinio projektavimo strategijų pasirinkimo metodika.....	53
3. VALDIKLIO EKOLOGINIO PROJEKTAVIMO REZULTATAI	55
3.1 Inventorinės analizės rezultatai	55
3.2 Esamo valdiklio poveikis aplinkai pasaulinio klimato šiltėjimo kategorijoje.....	55
3.3 Naujo valdiklio projektavimas.....	61
3.3.1 Esamo ir naujo valdiklio sudedamųjų dalių poveikis aplinkai pasaulinio klimato šiltėjimo potencialo kategorijoje.....	61
3.3.2 Esamo ir naujo valdiklio sudedamųjų dalių tarpinio vertinimo Midpoint poveikis aplinkai.....	64
3.3.3 Esamo ir naujo valdiklio sudedamųjų dalių poveikis aplinkai žalos kategorijose	66
IŠVADOS IR Ekologinio projektavimo rekomendacijos	72
LITERATŪRA	73

Paveikslų sąrašas

1 pav. Gamybos pramonės augimo tempai, %, palyginus su laikotarpiu praėjusiais metais (UNIDO 2018)	14
2 pav. EU-28 bendrosios pramonės produkcijos ir pagrindinių pramonės sričių pokytis 2017 m. % lyginant su 2016 m. (Eurostat 2017)	15
3 pav. Elektros ir elektronikos įrangos (EEĮ) tiekimas į ES šalių rinką 2015 m. pagal produktų vartojimo kategorijas	16
4 pav. EEĮ tiekimas Lietuvos vidaus rinkai, tonomis už 2012 – 2016 m. (Aplinkos apsaugos agentūra)	17
5 pav. Įvairių metalų naudojimo laikotarpis priklausomai nuo atsargų	18
6 pav. Retųjų ir brangiųjų metalų atsargos pasaulyje (Hunt'as ir kt. 2013)	Klaida! Žymelė neapibrėžta.
7 pav. Metalų perdirbimo efektyvumas pasaulyje (Hunt'as ir kt. 2013)	20
8 pav. Atsinaujinančių energijos išteklių sąnaudų struktūra 2016 m. (<i>Lietuvos statistikos departamentas</i> 2017)	21
9 pav. EEĮA sudėtis (Zhang'as ir kt. 2016)	22
10 pav. Elektroninių atliekų susidarymas vienam gyventojui visame pasaulyje 2016 m. pagal regionus (kilogramais vienam asmeniui) (Statista 2017)	23
11 pav. EEĮ pateikta vidaus rinkai, susidariusios atliekos ir apdirbimas (<i>Eurostat</i> 2018)	23
12 pav. Namų ūkių EEĮ atliekų surinkimo norma 2015 m., palyginti su vidutiniu surinkimu per trejus ankstesnius metus (2012–2014 m.) (kg/vienam gyventojui) (<i>Eurostat</i> 2018)	24
13 pav. Surinkta EEĮA 2015 m. palyginus su pateiktais į rinką 2012–2014 m., % (<i>Eurostat</i> 2018)	25
14 pav. Schema, kurioje pateikiama integruota perdirbimo technologija, skirta metalams perdirbti iš EEĮA (Zhang ir kt. 2016)	26
15 pav. Elektronikos atliekų perdirbimo procesas (Zhang'as ir kt. 2017)	27
16 pav. Supaprastinta EEĮA perdirbimo schema, orientuota į brangiųjų metalų atkūrimą (Bakas ir kt. 2014)	27
17 pav. EEĮ atliekų panaudojimo proceso paradigma (Li ir kt. 2017)	28
18 pav. Debesimis pagrįstas EEĮ valdymas (Wang'as 2014)	29
19 pav. EEĮ reglamentavimo ES apžvalga (Dalhammar 2016)	32
20 pav. Ekodizaino, švaresnės gamybos, aplinkosaugos vadybos sistemos, vamzdžio galo kontrolės ir žaliojo projektavimo sritys (Li ir kt. 2014)	35
21 pav. Poveikio aplinkai vertinimo rezultatai renkantis litavimo pastą su švinu ir be švino (Ekvall'as ir kt. 2006)	37
22 pav. Fotovoltinės vandens šildymo sistemos valdiklio ekologinio projektavimo etapai ir naudojama metodika	45
23 pav. Būvio ciklo vertinimo etapai (LST EN ISO 14040:2007)	47
24 pav. Įvediniai ir išvediniai būvio ciklo etapuose bei būvio ciklo vertinimo ribos	48
25 pav. Valdiklio sudedamosios dalys	49

26pav. Žalos žmogaus sveikatai, ekosistemų kokybei ir ištekliams nustatymo modelis (Staniškis ir kt. 2005).....	52
27 pav. Valdiklio sudedamosios dalys procentine išraiška.....	55
28 pav. Esamo valdiklio bendras procesų ir poveikių srautų modelis klimato šiltėjimo kategorijoje (kg CO ₂ eq ir procentais)	56
29 pav. Kitų valdiklio sudedamųjų dalių grafinė analizė	56
30 pav. Esamo valdiklio procesų ir poveikių srautų modelis klimato šiltėjimo kategorijoje Naudojimo etape.....	57
31pav. Esamo valdiklio spausdintos montavimo plokštės srautai vertinant poveikį klimato kaitos kategorijoje	57
32 pav. Esamo valdiklio komponentų litavimui naudojamos litavimo pastos poveikis aplinkai.....	58
33 pav. Valdiklio pagerinimo alternatyvų vertinimas	60
34 pav. Naujo valdiklio bendras procesų ir poveikių srautų modelis pasaulinio klimato šiltėjimo potencialo kategorijoje (kg CO ₂ eq ir procentais).....	61
35 pav. Esamo ir naujai naujo valdiklio palyginimas PKŠP dėl ŠESD susidarymo kategorijoje	62
36 pav. Esamo ir naujai naujo valdiklio naudojimo etapo palyginimas PKŠP dėl ŠESD susidarymo kategorijoje	62
37 pav. Esamo ir naujo valdiklio poveikio globalaus klimato šiltėjimo potencialui dėl šiltnamio efektą sukeliančių dujų susidarymo palyginimas tarp komponentų.....	63
38pav. Valdiklio komponentų (esamo ir naujo) poveikio aplinkai skirtingose poveikio aplinkai kategorijose palyginimas.....	64
39 pav. Valdiklio komponentų (esamo ir naujo) poveikio aplinkai skirtingose poveikio aplinkai kategorijose palyginimas normalizavus poveikį	65
40 pav. Mineralų iškastinio kuro ir energijos šaltinių naudojimo pokyčio palyginimas (kg Sb eq)	65
41 pav. Vandens ekotoks iškumo pokyčio palyginimas.....	66
42 pav. Valdiklio (esamo ir naujo) poveikio aplinkai vertinimas ir palyginimas (santykinė procentinė vertė) (ReCiPe Endpoint (E)).....	66
43 pav. Valdiklio (esamo ir naujo) poveikio aplinkai žalos kategorijose vertinimas ir palyginimas (socialinės vertės svoriais normalizuotas poveikis) (ReCiPe Endpoint (E))	67
44 pav. Žalos ištekliams priežastys lyginant seną ir naują valdiklį, žalos kategorijoje (ReCiPe Endpoint (E)).....	67
45 pav. Valdiklio (esamo ir naujo) poveikio aplinkai žalos žmogaus sveikatai kategorijoje vertinimas ir palyginimas (santykinė procentinė vertė) (ReCiPe Endpoint (E))	68
46 pav. Lydmetalių (su švinu ir be švino) poveikio žalos kategorijose palyginimas (ReCiPe Endpoint (E)).....	68
47pav. Lydmetalių (su švinu ir be švino) poveikio žalos kategorijose palyginimas normalizavus poveikį ReCiPe Endpoint (E)	69

48 pav. Žalos žmogaus sveikatai naudojant litavimo pastą su švinu ir be švino įvertinimas (ReCiPe Endpoint (E)	69
49 pav. Žalos resursams naudojant litavimo pastą su švinu ir be švino įvertinimas (ReCiPe Endpoint (E)	70
50 pav. Valdikliuose (esamo ir naujo) naudojamos litavimo pastos poveikis aplinkai naudojant (ILCD 2011 Midpoint+ metoda)	70
51 pav. Valdikliuose (esamo ir naujo) naudojamos litavimo pastos poveikio aplinkai žalos kategorijose vertinimas ir palyginimas 3 kategorijoms (ILCD 2011 Midpoint+ metoda).....	71
52 pav. Žalos žmogaus sveikatai naudojant litavimo pastą su švinu ir be švino įvertinimas naudojant ILCD 2011 Midpoint+ metoda)	71

Lentelių sąrašas

1 lentelė. EEĮ skirstymas į kategorijas	16
2 lentelė. ES direktyvose nustatytos gaminių atliekų tvarkymo užduotys	33
3 lentelė. Poveikio aplinkai kategorijos vertinamos poveikio analizės (tarpinio vertinimo (angl. Midpoint) metu).....	51
4 lentelė. Poveikio aplinkai kategorijos vertinamos ReCiPe metodu Midpoint arba Endpoint taškuose	51
5 lentelė. Valdiklio sudedamųjų dalių poveikio klimato šiltėjimo kategorijoje analizė	58
6 lentelė. Alternatyvų vertinimo lentelė (Varžinskas, 2006)	59
8 lentelė. Strategijos aplinkos apsaugos veiksmingumui gerinti.....	61
9 lentelė. Esamo ir naujo valdiklio sudedamųjų dalių poveikio PKŠP dėl ŠESD susidarymui palyginimas.....	63

SANTRUMPU SĄRAŠAS

PV – Saulės baterija

DC (angl. Direct Current) -- nuolatinė srovė

EEĮ (angl. EEE) – elektros ir elektronikos įranga

ES (angl. US) – Europos Sąjunga

UNIDO (angl. United Nations Industrial Development Organization) – Jungtinių tautų pramonės plėtros organizacija

CRI (angl. Copenhagen Resource Institute)–Kopenhagos išteklių institutas

FVŠS – fotovoltinė vandens šildymo sistema

EUROSTAT – Europos Sąjungos Statistika

LPK – Lietuvos pramoninkų konfederacija

EEĮA (angl. WEEE)– Elektros ir elektronikos įrangos atliekos

EoL (angl. End-of-life) - gamybos ir produkto būvio ciklo kontekste galutinis produkto egzistavimo etapas

BCV (angl. LCA) – būvio ciklo vertinimas

BCA – būvio ciklo analizė

NO_x – azoto oksidai

ISO – Tarptautinė standartizacijos organizacija

CML metodas – tai poveikio vertinimo metodas, kuris riboja kiekybinį modeliavimą ankstyvoje priešasties-poveikio grandinės stadijoje, siekiant apriboti neapibrėžtumus.

SMP (angl. PCB) – spausdintinė montavimo plokštė

P-SMP – popierinė spausdintinė montavimo plokštė

O-SMP – organinė spausdintinė montavimo plokštė

PKŠP – pasaulinis klimato šiltėjimo potencialas

ŠESD – šiltnamio efektą sukeliančios dujos

ABS – termoplastikų grupės polimeras, gaminamas iš akrilnitrilo, butadieno ir stireno monomerų

Pilipienė, Lina. Fotovoltinės vandens šildymo sistemos valdiklio ekologinis projektavimas, Magistro baigiamasis projektas / vadovė dr. Daina Kliugaitytė; Kauno technologijos universitetas, Aplinkos inžinerijos institutas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Aplinkos inžinerija (H170) (Bendroji inžinerija(H100), Inžinerijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: ekologinis projektavimas, valdiklis, energijos naudojimas, būvio ciklo vertinimas
Kaunas, 2018. 77 p.

SANTRAUKA

Augant gyventojų skaičiui, vartojimo įpročiai, gyvenimo tempas verčia gyventojus kuo daugiau vartoti. Įvairiems elektros ir elektronikos įrenginiams pagaminti reikalinga daug žaliavų, energijos. Jiems pagaminti naudojamos pavojingos ir kritinės žaliavos. Trumpėjantis gaminių tarnavimo laikas didina elektronikos atliekų skaičių. Dėl sudėtingo perdirbimo – tai prarastos žaliavos. Europos Sąjungos direktyvos ne tik skatina valstybes nars atsakingai tvarkyti atliekas ir pereiti prie žiedinės ekonomikos, bet taip pat pereiti prie atsinaujinančių energijos šaltinių naudojimo. Šio magistro baigiamojo darbo tikslas išanalizuoti fotovoltinės vandens šildymo sistemos valdiklio būvio ciklą, įvertinti poveikį aplinkai, pasiūlyti sprendimus kaip tą poveikį sumažinti. Šiuo darbu siekiama prisidėti prie iškeltų darnaus vystymosi tikslų, mažinant energijos suvartojimą, keičiant pavojingas medžiagas į nepavojingas, naudojant atsinaujinančią energetiką bei tinkamai sutvarkant atliekas.

Šiame darbe surinkti statistiniai tyrimai, išanalizuota mokslinė ir praktinė literatūra, galiojantys teisiniai reikalavimai, atliktas valdiklio poveikio aplinkai vertinimas, pagal būvio ciklo vertinimo metodiką, pagal ekologinio projektavimo metodiką pasiūlyti sprendimai valdiklio tobulinimui. Darbe buvo vertinama valdiklio ir jo komponentų gamyba, naudojimo fazė, išardymas ir sutvarkymas. Įvertinus valdiklio būvio ciklą, gauti rezultatai: didžiausias poveikis aplinkai yra valdiklio naudojimo etape. Atlikus ekologinį projektavimą FVŠS valdiklio poveikis aplinkai sumažėja 13,4 %, naudojimo etape – 30,5 %.

Pilipienė, Lina. Ecodesign of the photovoltaic water heating system controller. Master's Final Degree Project/supervisor Dr. Daina Kliaugaitė. Institute of Environmental Engineering, Kaunas University of Technology. Study field and area (study field group): Environmental Engineering (H170), Engineering Sciences (H).

Key words: ecodesign, controller, energy consumption, life cycle assessment
Kaunas, 2018. 77 p.

SUMMARY

As the population grows consumer habits and the pace of life makes people use as much as possible. Various electrical and electronic equipments require a lot of raw materials, energy. They are made of rare metals and critical raw materials.

The shorter lifetime of products increases the number of electronics waste. Complex recycling is a loss of raw materials. European Union directives not only encourage Union Members to manage waste responsibly and move to a circular economy but also to move towards the use of renewable energy sources. The objective of this master's thesis is to analyze the life cycle of photovoltaic water heating system controller, to assess the environmental impact and to propose solutions to reduce that impact. This work aims to contribute to the goals of sustainable development, reducing energy consumption, changing hazardous materials to non-hazardous, using renewable energy and managing waste properly.

The statistical researches were collected, scientific and practical literature, current legal requirements were analyzed, environmental impact assessment of the controller was carried out, according to the life cycle assessment methodology, according to the ecodesign methodology and solutions for controller improvement were proposed in this work. The work involved the production, use phase, disassembly and arrangement of the controller and its components.

Assessing the controller life cycle the results are as follows: the greatest environmental impact is at the stage of use of the controller. After ecological design the environmental impact is reduced by 13,4 %, in use - by 30.5% .

Ivadas

Elektronikos pramonė atsirado XX a. ir tapo neatsiejama šiuolaikinės visuomenės dalimi. Vartojimo įpročiai, sumani reklama, gyvenimo tempas verčia gyventojus kuo daugiau vartoti. Didžioji dalis visuomenės dažnai net nesusimąsto, kiek daug žaliavų, energijos reikia elektros ir elektronikos įrenginiams pagaminti. Elektroniniai įrenginiai, kurie kasdien naudojami milijonų žmonių, yra pagaminti iš daugybės mažų elektroninių komponentų, o šie komponentai pagaminti iš įvairių žaliavų. Paprastai metalai naudojami dėl savo laidinių savybių, plastikai – dangai, keramika – elektronikos komponentų apsaugai. Tam, kad elektronika veiktų, dažnai naudojami ne tik retieji metalai, bet ir pavojingos medžiagos. Kai kurių šių medžiagų gamyba yra brangi ir dažnai reikalauja didelės energijos. Technologijoms tobulėjant, vis daugiau cheminių elementų įtraukiama į elektronikos gamybą. Iškyla problema dėl tokios elektronikos išardymo ir medžiagų panaudojimo pakartotinai.

Šiuo metu vis daugiau kalbama apie tvarios plėtros svarbą ir keliamas susirūpinimas dėl mažėjančių žemės išteklių. Gamtos išteklių leidžia žmogui egzistuoti ir vystytis, tačiau turi būti balansas tarp žmonijos poreikių ir gamtos galimybių. Technologijoms sparčiai plečiantis ir didėjant visuomenės poreikiui vartoti, didėja elektros ir elektronikos įrenginių kiekis, trumpėja jų tarnavimo laikas. Dėl šių priežasčių išauga elektronikos atliekų skaičius. Elektros ir elektronikos įrangos gamintojai, tiekėjai, importuotojai, atliekų tvarkytojai privalo laikytis kasmet griežtėjančių aplinkos apsaugos reikalavimų, kuriuos reglamentuoja Europos Sąjungos direktyvos.

Energijai pagaminti taip pat reikalingi žemės išteklių. Jų trūkstant ir siekiant sumažinti neigiamą poveikį aplinkai, vis plačiau naudojama atsinaujinanti energetika, tokia kaip saulės ar vėjo. Europos Sąjunga remia atsinaujinančios energetikos vystymąsi ir numato, kad 2050 m. Visus šalies energetinius poreikius galėtų patenkinti tik iš atsinaujinančių šaltinių.

Viena iš pagrindinių aplinkos apsaugos veiksmingumo didinimo ir prevencijos priemonių yra ekologinis gaminių projektavimas. Tam, kad būtų galima pamatyti visumą, reikia atlikti gaminio būvio ciklo poveikio aplinkai vertinimą visame procese – nuo medžiagų gavybos iki šalinimo.

Temos aktualumas. Ekologinis projektavimas yra vienas iš populiarėjančių metodų įvertinti gaminių poveikį aplinkai. Daugeliui elektros ir elektronikos prietaisų nėra atliktas būvio ciklo vertinimas ir nustatytas poveikis aplinkai prietaisų gamybos, naudojimo ir šalinimo etapuose. Fotovoltinės vandens šildymo sistemos valdiklio poveikio aplinkai vertinimas atliekamas pirmą kartą.

Mokslinis naujumas. Atlikta fotovoltinės vandens šildymo sistemos valdiklio būvio ciklo analizė ir ekologinis projektavimas.

Problematika:

1. Elektronikai gaminti naudojami dideli kiekiai žaliavų ir energijos;
2. Naudojamos pavojingos medžiagos ir kritinės žaliavos;
3. Augantis elektronikos vartojimas bei trumpėjantis tarnavimo laikas didina elektronikos atliekų skaičių. Dėl sudėtingo perdirbimo – tai prarastos žaliavos.

4. Naujų, pažangių technologijų ir medžiagų kūrimas skatina efektyvią gamybą, nedidinant poveikio aplinkai;
5. Europos Sąjungų direktyvų WEEE, RoHs, EuP bei ErP įpareigojimai;

Projekto tikslas. Atlikti fotovoltinės vandens šildymo sistemos valdiklio būvio ciklo analizę bei pateikti pasiūlymus naujo valdiklio projektavimui.

Uždaviniai:

1. Atlikti mokslinės literatūros, teisės aktų, inovacijų, susijusių su elektros ir elektronikos elementų projektavimu, gamyba, naudojimu bei šalinimu analizę.
2. Atlikti FVŠS valdiklio būvio ciklo vertinimą ir identifikuoti didžiausią įtaką aplinkai darančius veiksnius per visą būvio ciklą.
3. Vadovaujantis ekologinio projektavimo strategijomis bei naujausia užsienio praktika pateikti pasiūlymus naujo valdiklio kūrimui.
4. Išanalizuoti pasiūlymų tinkamumą, bei atlikti esamo ir atnaujinto valdiklio poveikio aplinkai palyginamąją analizę.

Šis darbas prisidės prie Jungtinių Tautų Generalinėje Asamblėjoje priimtos rezoliucijos „Keiskime mūsų pasaulį: Darnaus vystymosi darbotvarkė iki 2030 m.“ Darnaus vystymosi tikslų:

7 tikslas. Užtikrinti visiems galimybę naudotis prieinama, patikima, darnia ir modernia energija.

Uždaviniai:

- iki 2030 m. Padidinti atsinaujinančios energijos dalį pasaulinės energijos rūšių derinyje;
- iki 2030 m. Padvigubinti pasaulinį energijos vartojimo efektyvumo padidinimo rodiklį;

12 tikslas. Užtikrinti darnius vartojimo ir gamybos modelius.

Uždaviniai:

- iki 2030 m. Pasiiekti darnų gamtos išteklių valdymą ir veiksmingą jų naudojimą;
- užtikrinti aplinkai nekenksmingą chemikalų ir visų atliekų tvarkymą per jų gyvavimo ciklą, laikantis suderintų tarptautinių programų, ir labai sumažinti jų išmetimą į orą, vandenį ir dirvožemį, kad kuo labiau sumažėtų neigiamas jų poveikis žmogaus sveikatai ir aplinkai.

- iki 2030 m. Labai sumažinti atliekų susidarymą, taikant prevenciją, mažinimą, perdirbimą ir pakartotinį panaudojimą.

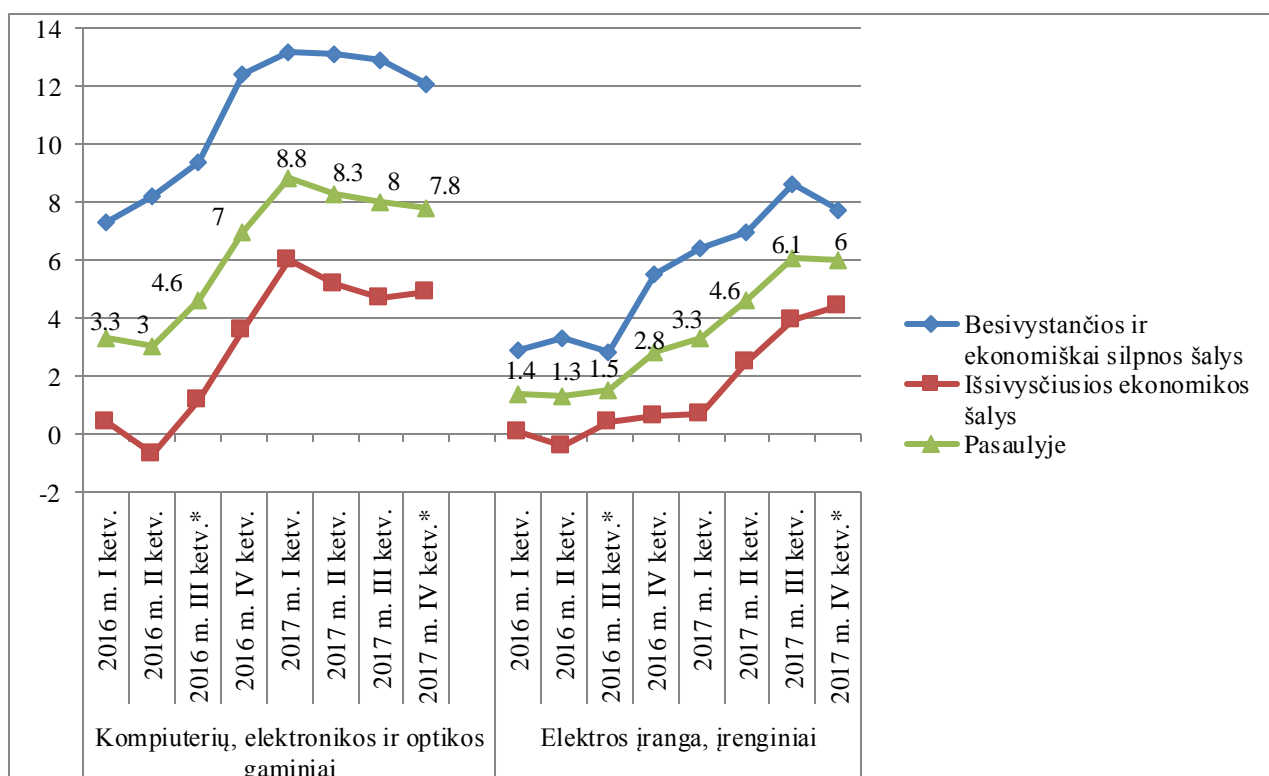
13 tikslas. Imtis skubių kovos su klimato kaita ir jos poveikiu veiksmų.

Uždavinys – gerinti švietimą, informuotumo didinimą bei žmogiškuosius ir institucinius gebėjimus klimato kaitos mažinimo, prisitaikymo prie jos, jos poveikio mažinimo ir ankstyvo įspėjimo srityse.

1. ELEKTROS IR ELEKTRONINĖS ĮRANGOS (EEI) SEKTORIAUS PROBLEMINĖ ANALIZĖ BEI PROBLEMŲ SPRENDIMO GALIMYBĖS

1.1 EEI pramonės sektorius pasaulyje, Europoje ir Lietuvoje

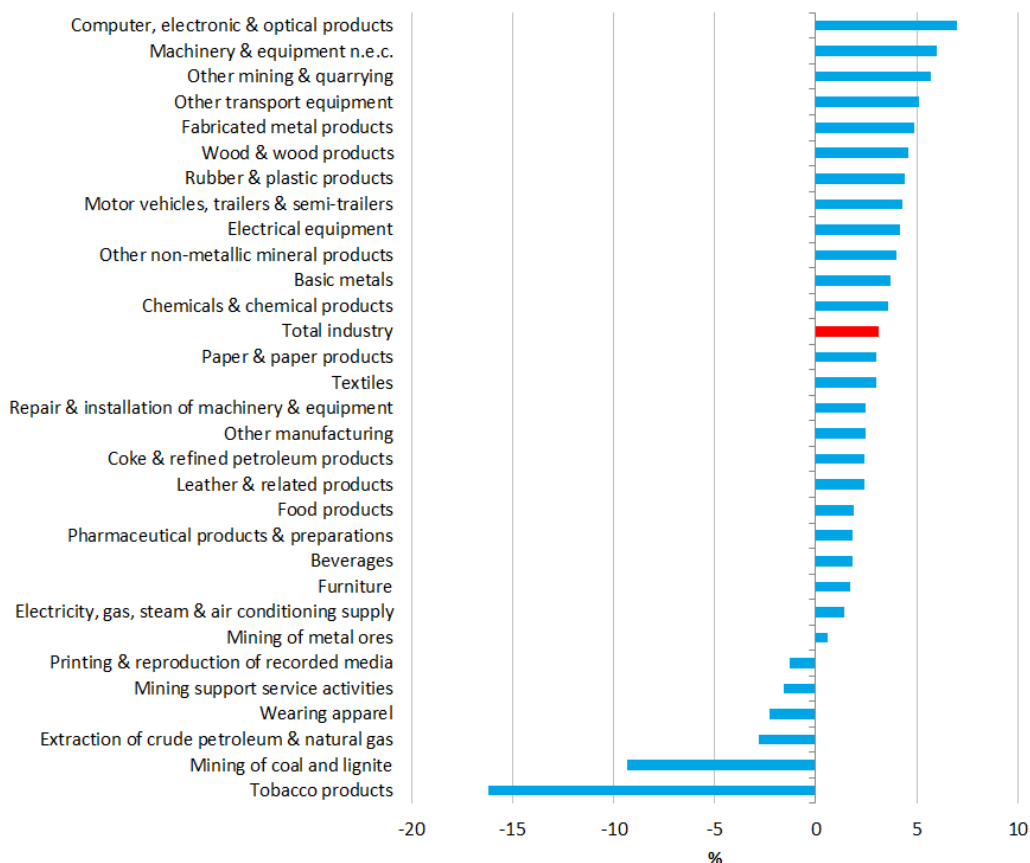
Remiantis Jungtinių tautų pramonės plėtros organizacijos (UNIDO) 2018 m. duomenimis, kompiuterių, elektronikos ir optikos gaminių bei elektros įrangos gamyba 2017 m. buvo vienas iš labiausiai augančių sektorių, palyginus su kitomis pramonės šakomis. Automatika, robotų technika ir skaitmeninimas visame pasaulyje nuolat plečiasi. Struktūriniai pokyčiai, susiję su perėjimu nuo žemesnio lygio prie aukštųjų technologijų gamybos pramonėje atlieka pagrindinį vaidmenį skatinant inovacijas ilgalaikėje perspektyvoje. Investicijos į naujas technologijas yra pagrindinė inovacijų kūrimo sudedamoji dalis, kuri formuoja gamybos ateitį tiek besivystančiose šalyse, tiek išsivysčiusios ekonomikos šalyse (UNIDO 2018). UNIDO pateikti duomenys rodo, kad kompiuterių, elektronikos ir optikos produktų gamyba per 2017 metus augo sparčiausiai kitų pramonės šakų atžvilgiu, ypač besivystančiose šalyse, lyginant su praėjusių metų laikotarpiu. Išsivysčiusiose šalyse šių produktų gamyba yra antroje vietoje. Elektros įrenginių gamyba yra penktoje vietoje lyginant su kitomis pramonės sritimis tiek besivystančiose šalyse, tiek ir išsivysčiusiose šalyse. Elektros įrenginių gamybos augimas besivystančiose šalyse 2017 m. didžiausias buvo pirmame ketvirtyje, o išsivysčiusiose šalyse – IV ketvirtyje. Kompiuterių, elektronikos ir optikos gaminių bei elektros įrangos gamybos pramonės augimo tempai pateikti 1 pav.



1 pav. Gamybos pramonės augimo tempai, %, palyginus su laikotarpiu praėjusiais metais (UNIDO 2018)

Iš 1 pav. matome, kad kompiuterių, elektronikos ir optikos gamybos pramonės augimo tempas pasaulyje 2017 m. IV ketvirtį išaugo 7,8 %, o elektros įrangos gamyba – 6 % lyginant su laikotarpiu 2016 m.

Europos Sąjungos statistikos duomenimis daugelyje įvairių pramonės sektorių augimo tempai 2017 m. Europos Sąjungos šalysedidėjo. Duomenys pateikiami 2 pav., iš kurių matyti, kad kompiuterių, elektros ir optinių gaminių gamybos augimo tempas buvo didžiausias lyginant su kitomis pramonės šakomis. Elektros įrangos gamybos augimas yra devintoje vietoje (*Eurostat2018*).



2 pav. EU-28 bendrosios pramonės produkcijos ir pagrindinių pramonės sričių pokytis 2017 m. % lyginant su 2016 m.(Eurostat 2017)

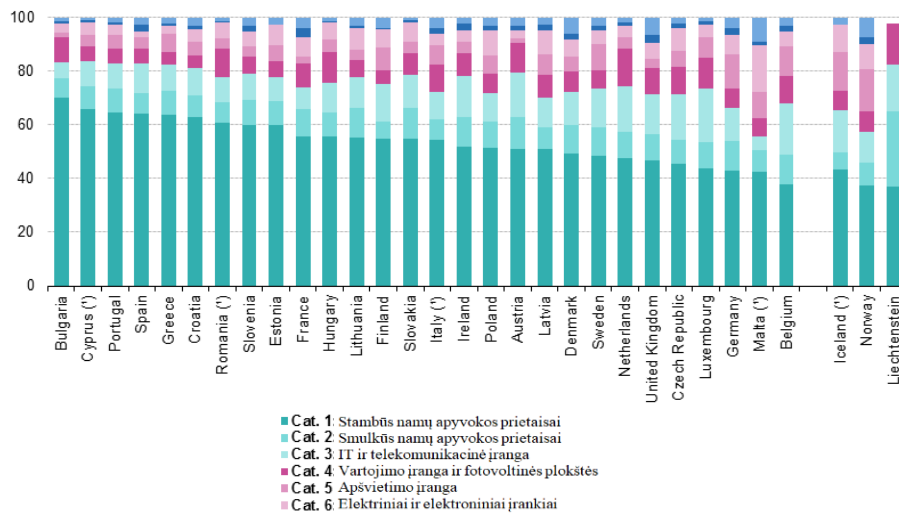
Lietuvos pramoninkų konfederacijos paskelbtoje Lietuvos makroekonominės situacijos apžvalgoje už 2017 m. I pusmetį, teigiama, kad didžiausias produkcijos augimas buvo užfiksuotas metalų, mašinų ir įrenginių pramonėje–daugiau nei 45 %, tuo tarpu elektronikos pramonėje užfiksuotas 27 % augimas (*LPK 2017*).

Elektronika ir elektros inžinerija turi didelę ir patrauklią pardavimo rinką. Remiantis Europos Parlamento ir Tarybos direktyva 2012/19/ES „Dėl elektros ir elektronikos įrangos atliekų“ bei LR Aplinkos ministro įsakymu „Dėl elektros ir elektroninės įrangos bei jos atliekų tvarkymo taisyklių patvirtinimo“ elektros ir elektronikos įranga skirstoma į kategorijas (lentelė 1).

Iki 2017 m. gruodžio 31 d. EEĮ buvo skirstoma į 10 kategorijų:	Nuo 2018 m. sausio 1 d. EEĮ skirstoma į 6 kategorijas:
<ol style="list-style-type: none"> 1. Stambūs namų apyvokos prietaisai 2. Smulkūs namų apyvokos prietaisai 3. IT ir telekomunikacinė įranga 4. Vartojimo įranga ir fotovoltinės plokštės 5. Apšvietimo įranga 6. Elektriniai ir elektroniniai įrankiai (išskyrus stambius stacionarius pramoninius prietaisus) 7. Žaislai, laisvalaikio ir sporto įranga 8. Medicininiai prietaisai (išskyrus implantuotus ir infekuotus produktus) 9. Stebėsenos ir kontrolės prietaisai 10. Automatiniai daiktų išdavimo įtaisai 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Temperatūros keitimo įranga 2. Ekranai, monitoriai ir įranga, kurioje yra ekranų, kurių paviršiaus plotas didesnis nei 100 cm² 3. Lempos 4. Stambi įranga (bent vienas iš išorinių išmatavimų didesnis nei 50 cm) 5. Smulki įranga (nė vienas iš išorinių išmatavimų neviršija 50 cm) 6. Smulki IT ir telekomunikacijų įranga (nė vienas iš išorinių išmatavimų neviršija 50 cm)

1 lentelėje pateikiamos 10 EEĮ kategorijų iki 2017-12-31 ir 6 EEĮ kategorijos nuo 2018-01-01

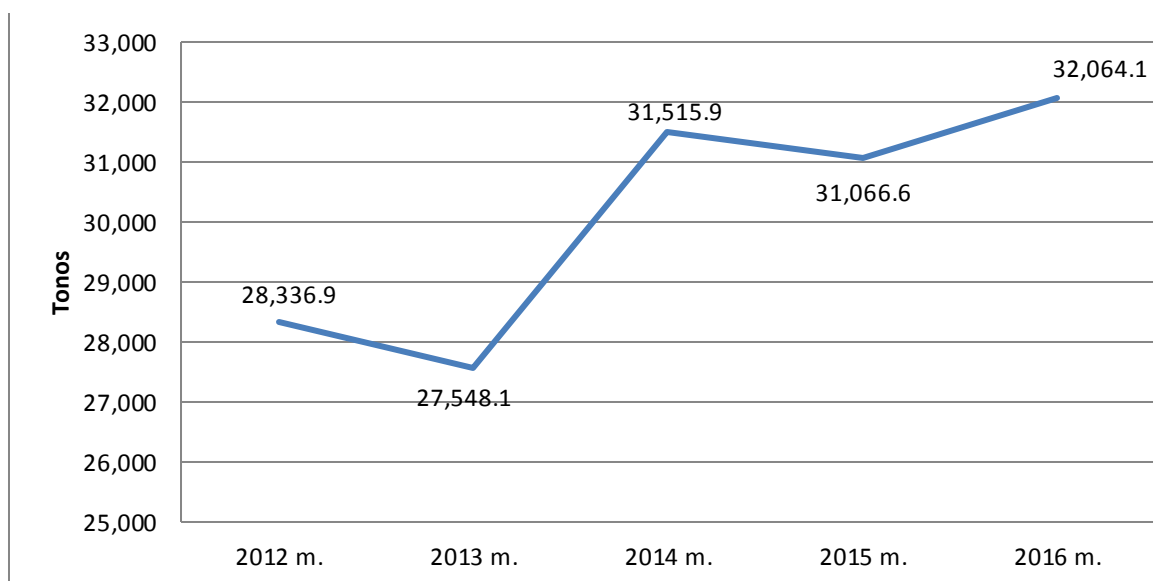
3 pav. matome EEĮ tiekimo į ES šalių rinką 2015 m. procentinį pasiskirstymą pagal produktų vartojimo kategorijas (Eurostat 2017).



3 pav. Elektros ir elektronikos įrangos (EEĮ) tiekimas į ES šalių rinką 2015 m. pagal produktų vartojimo kategorijas (Eurostat 2017)

Didelė buitinė technika (1 kategorija) yra dominuojanti produktų kategorija visose ES šalyse. Jo parduotų EEĮ dalis sudaro 38% Belgijoje ir 70% Bulgarijoje. Daugelyje šalių (22 iš 28 šalių) IT ir telekomunikacijų įranga (3 kategorija) yra antra pagal dydį produktų kategorija, Maltoje – 5%, Liuksemburge – iki 20%. Daugelyje šalių mažos buitinės technikos (2 kategorija) ir vartojimo įranga (4 kategorija) yra proporcingai trečia arba ketvirta. Medicinos prietaisai (8 kategorija), stebėsenos ir kontrolės įranga (9 kategorija) ir automatiniai daiktų išdavimo įtaisai (10 kategorija), kurie yra apibendrinti vienoje kategorijoje, yra tik nedidelė visos rinkoje parduodamų EEĮ. Kartu šios trys kategorijos sudaro mažiau nei 5% visų 25 iš 28 šalių. Tik Danija (6%), Malta (9%) ir Jungtinė Karalystė (6%) nurodo didesnius šių surinktų kategorijų rodiklius (Eurostat 2017).

Lietuvoje pateiktų į vidaus rinką buitinės bei nebuitinės EEĮ kiekiai auga. 4 pav. pateikiama bendra EEĮ tiekimo Lietuvos rinkai statistika tonomis už 2012–2016 m. (Aplinkos apsaugos agentūra 2018).



4 pav. EEĮ tiekimas Lietuvos vidaus rinkai, tonomis už 2012 – 2016 m. (Aplinkos apsaugos agentūra)

Remiantis Aplinkos apsaugos agentūros duomenimis 2017 m. EEĮ tiekiamų Lietuvos vidaus rinkai lyginant su 2015 m. išaugo 3,21 %.

1.2 EEĮ būvio ciklas: žaliavų savybės ir atliekų šalinimas

Išnagrinėjus EEĮ pramonės augimo tendencijas matyti, kad tai viena didžiausių pramonės šakų visame apdirbamosios pramonės sektoriuje (1.1 skyrius). Ji turi tendenciją sparčiai plėstis, ne tik didindama gaminių kieki, bet ir kurdama naujus gaminius, ar juos tobulindama diegiant vis naujesnes technologijas. EEĮ gaminių ir technologijų kūrimui reikalingos įvairios medžiagos ir energija, nuo iškastinio kuro iki ekonomiškai vertingų tauriųjų metalų. Augant gamybai ir vartojimui didėja ir EEĮ atliekų kiekis. Su tuo susijęs ir augantis EEĮ poveikis aplinkai per visą būvio ciklą (nuo žaliavų ir elektros energijos vartojimo, iki atliekų susidarymo ir su jomis susijusiu poveikiu aplinkai). Žaliavų išgavimo ir elektronikos įrenginių gamybos bei jų surinkimo etapai reikalauja didelių energijos ir žaliavų resursų. Naudojimo etape – dideli elektros energijos kiekiai, perdirbimo etape – papildomi energijos resursai. Ir visa tai kelia pavojų žmonių sveikatai.

1.2.1 Kritinės medžiagos, kritiškumas

2010 m. Europos Komisija nustatė labai svarbių ES ekonomikai 14 kritinių žaliavų ir pabrėžė atsiradusią didelę šių medžiagų pasiūlos riziką. Remiantis atlikta studija, jau per artimiausius 10 metų ES susidurs su šių medžiagų pasiūlos problemomis (Commission, 2010). Iš šių 14 žaliavų net 7 grupėms priklauso retieji metalai. Kritinių metalų parinkimas grindžiamas trimis tiekimo rizikos elementais (Bakas ir kt. 2014): rezervas-gamybos santykis, regioninė rezervų koncentracija, netinkamų perdirbimo technologijų trūkumas. Taip pat trims paklausos ar ekonominiais elementais: spartus paklausos augimas, kainų pokyčiai, EEĮ tinkamumas metalo vartojimui.

Remiantis šiais kriterijais ir atlikus 60 metalų vertinimą, nustatyta trylika metalų, kurie pagal svarbą suskirstyti į dvi grupes:

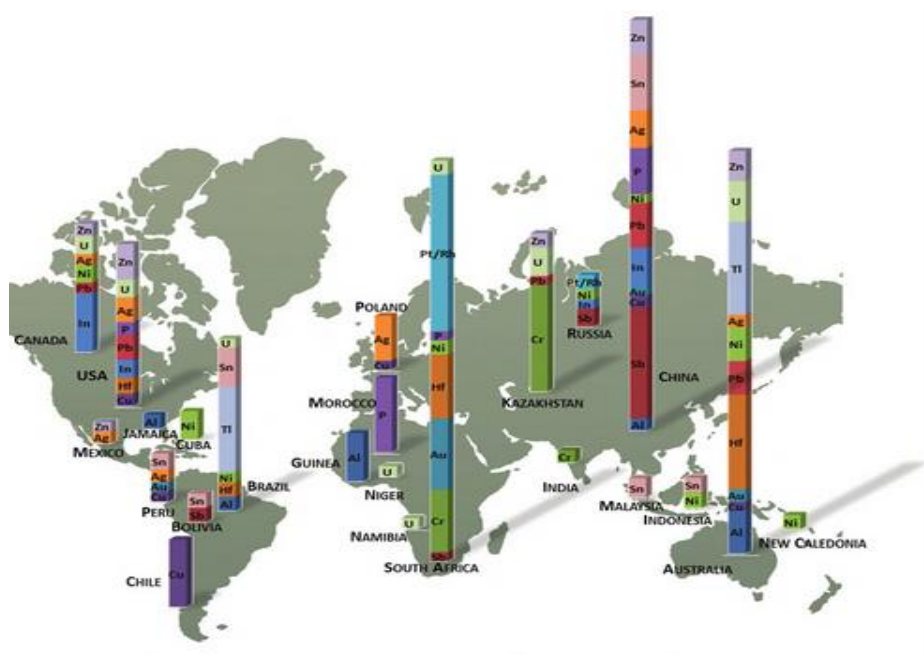
- 1 grupė (sidabras, kobaltas, indis, litis, tantalas, telūras ir volframas);
- 2 grupė (auksas, berilis, galisas, germanis, paladis ir rutenis).

Šie metalai daugiausia randami EEĮ komponentuose (kompiuteriuose, telefonuose, įkraunamose baterijose, televizoriaus monitoriuose) ir EEĮ produktų grupėse. Jų taip pat yra ir plonasluoksniuose ir įprastuose kristalinės linijos saulės energijos keitikliuose (fotovoltiniuose elementuose) (Bakas 2014). Nustatant prioritetus išteklių naudojimo efektyvumo didinimo galimybėms, kaip papildomas aspektas vertinamas išteklių kritiškumas (Malinauskienė ir kt. 2016). Anot jų Lietuvoje įvežamų gamtinių išteklių tyrimas parodė, kad metalai yra viena iš svarbiausių žaliavų ekonominės svarbos, pasiūlos ir aplinkosaugos požiūriu.

1		Remaining years until depletion of known reserves (based on current rate of extraction)																2							
H 1.00794																		He 4.002602							
3	4																	5	6	7	8	9			
Li 6.941	Be 9.012182																	B 10.811	C 12.0107	N 14.00674	O 15.9994	F 18.99840	Ne 20.1797		
11	12																	13	14	15	16	17			
Na 22.98977	Mg 24.3050																	Al 26.98153	Si 28.0855	P 30.97376	S 32.066	Cl 35.4527	Ar 39.948		
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36								
K 39.0983	Ca 40.078	Sc 44.95591	Ti 47.867	V 50.9415	Cr 51.9961	Mn 54.93804	Fe 55.845	Co 58.93320	Ni 58.6934	Cu 63.546	Zn 65.38	Ga 69.723	Ge 72.63	As 74.92160	Se 78.96	Br 79.904	Kr 83.80								
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54								
Rb 85.4678	Sr 87.62	Y 88.9062	Zr 91.224	Nb 92.90638	Mo 95.94	Tc (98)	Ru 101.07	Rh 101.065	Pd 106.42	Ag 107.8682	Cd 112.411	In 114.818	Sn 118.710	Sb 121.760	Te 127.60	I 126.9044	Xe 131.29								
55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86								
Cs 132.9054	Ba 137.327	La* 138.9055	Hf 178.49	Ta 180.9479	W 183.84	Re 186.207	Os 190.23	Ir 192.22	Pt 195.084	Au 196.9665	Hg 200.59	Tl 204.3843	Pb 207.2	Bi 208.9804	Po (209)	At (210)	Rn (222)								
87	88	89	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118								
Fr (223)	Ra 226.025	Ac‡ (227)	Rf (257)	Db (260)	Sg (263)	Bh (262)	Hs (265)	Mt (268)	Ds (271)	Rg (272)	Uub (285)	Uut (288)	Uuq (289)	Uup (292)	Lv (293)	Uus (294)	Uuo (297)								
Lanthanides*		58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71										
		Ce 140.9077	Pr 144.24	Nd (145)	Pm 150.36	Sm 153.964	Eu 157.25	Gd 158.9253	Tb 158.9253	Dy 162.50	Ho 164.9303	Er 167.26	Tm 168.9342	Yb 173.04	Lu 174.967										
Actinides‡		90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103										
		Th 232.0381	Pa 231.0369	U 238.0289	Np (237)	Pu (244)	Am (243)	Cm (247)	Bk (247)	Cf (251)	Es (252)	Fm (257)	Md (258)	No (259)	Lr (262)										

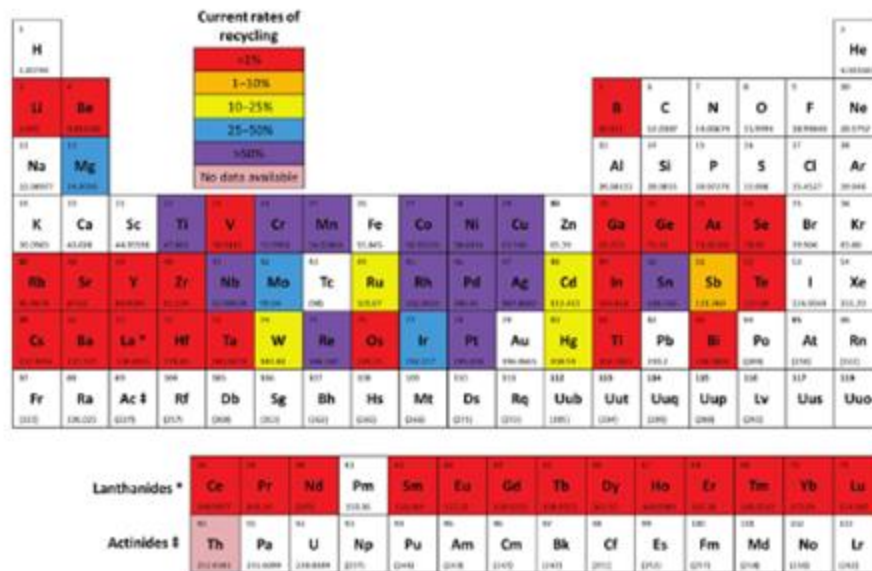
5 pav. Įvairių metalų naudojimo laikotarpis priklausomai nuo atsargų (Hunt'as ir kt., 2013; 2015)

Mokslininkų yra akcentuojama kritinių medžiagų pasiūlos rizika, tačiau svarbu pabrėžti, kad šiuose rodikliuose neįskaičiuojami šių medžiagų perdirbimo ir atgavimo kiekiai. Dauguma elementų nėra prarasti, bet jie yra paplitę visoje mūsų aplinkoje, įvairiomis koncentracijomis atliekose. Tai ypač būdinga galutinio vartojimo ir pramonės produktams. Kasybos būdu gaunami išteklių yra daug energijos naudojantis procesas, taigi šiai veiklai taip pat galima priskirti didelę aplinkosauginę naštą. Daugelio elementų perdirbimas vis dar yra ribotas, todėl labai svarbu tobulinti metodus perdirbimo normoms didinti. Numatoma, kad ateityje didesnė dalis elementų bus gaunama iš atliekų, įskaitant sąvartynus, EEĖA, užterštus vandenius, pramonines atliekas ir kasyklų atliekas, tačiau tai turės dramatiškai pakeisti mūsų atliekų tvarkymo politiką (Hunt'as ir kt. 2015).



6 pav. Retųjų ir brangiųjų metalų atsargos pasaulyje (Hunt'as ir kt. 2013)

6 pav. parodytas retųjų ir brangiųjų elementų atsargų pasiskirstymas visame pasaulyje. Akivaizdu, kad šių elementų koncentracija yra lokalizuota ribotose vietovėse, pvz. Pietų Afrika turi 89% pasaulinių platinos grupės metalų atsargų. Kinija teikia daugiau kaip 95% pasaulio retųjų žemių metalų (Dodson'as ir kt. 2012). 40 % pasaulio kobalto išgaunama Kongo Demokratinėje Respublikoje, o 90 % niobio – Brazilijoje (Hunt'as ir kt. 2013). Dabartiniai kasybos būdai daro didelę įtaką tiek aplinkai, tiek mūsų sveikatai. Atliekant kasybos atliekų išmetimą ir sklaidą padidėjo metalų kiekis aplinkiniuose dirvožemiuose ir vandens telkiniuose, dėl ko sunaikinta augmenija ir pasėliai. Šis užteršimas taip pat gali patekti į maisto grandinę (Dodson'as ir kt. 2012).



7 pav. Metalų perdirbimo efektyvumas pasaulyje (Hunt'as ir kt. 2013)

Metallų atgavimas iš atliekų srautų ir perdirbimas yra ekonomiškai naudingas ir aplinką tausojantis kelias vertingų medžiagų atgavimui. Dabartinis aliuminio perdirbimas yra 49% aliuminio suvartojimo JAV. Tai sutaupo 95% energijos ir pagamina tik 5% CO₂. Moksliniai tyrimai parodė, kad perdirbant metalus galima taupyti energiją. Plieno perdirbimas sutaupo 74% energijos, 90% pradinių medžiagų, sumažina 86% oro taršos, 40% vandens naudojimo, 76% vandens užteršimo, 97% kasybos atliekų. Kiti elementai, kurie buvo naudojami dešimtmečius, taip pat jau yra tam tikru mastu perdirbami (7 pav.), nors naudojami metodai paprastai yra riboti, jų pagalba galima sistemingai susigrąžinti visus elementus. Kita vertus, elementų, kurie yra svarbūs esamiems ir besiformuojantiems naudojimui būdams, perdirbimas yra mažai arba visai netaikomas, pvz. platina, indis, galis ir hafnis. Pasibaigus jų gyvenimui produktai, turintys šiuos elementus; mobilieji telefonai, televizoriai ir kompiuteriai, patenka į sąvartynus arba deginami, o elementai prarandami. (Hunt'as ir kt. 2013).

1.2.2 Elektros energijos naudojimas EEI vartojimo fazėje

Elektros energijos poreikis Lietuvoje 2016m., palyginti su 2015m., padidėjo 3,3 % ir sudarė 12,5TWh. 2016 m. Lietuvos poreikius užtikrinti buvo importuota beveik du trečdaliai elektros energijos, o pagaminta tik apie trečdalis (4,3 TWh). Palyginus su 2015m., elektros energijos gamyba šalyje sumažėjo 13,5%. Iš atsinaujinančių energijos išteklių pagaminta 49 % visos pagamintos elektros energijos.

Galutinis energijos suvartojimas 2016 m., palyginus su 2015 m., padidėjo 5 %. Galutinių vartotojų struktūroje didžiausią dalį užima transporto ir namų ūkių sektoriai, kuriuose 2016 m. buvo suvartota atitinkamai 38,5 ir 28 % energijos. Pramonės sektoriaus dalis galutinio energijos suvartojimo struktūroje sudarė 18,8 %. Vartotojų poreikiams tenkinti naudojami tiek šalies, tiek importuoti kuro ir energijos ištekliai. 2016m. kuro ir energijos išteklių importo poreikis padidėjo 2,9 %. Labiausiai didėjo elektros energijos importas, o gamtinių dujų bei naftos produktų – mažėjo.

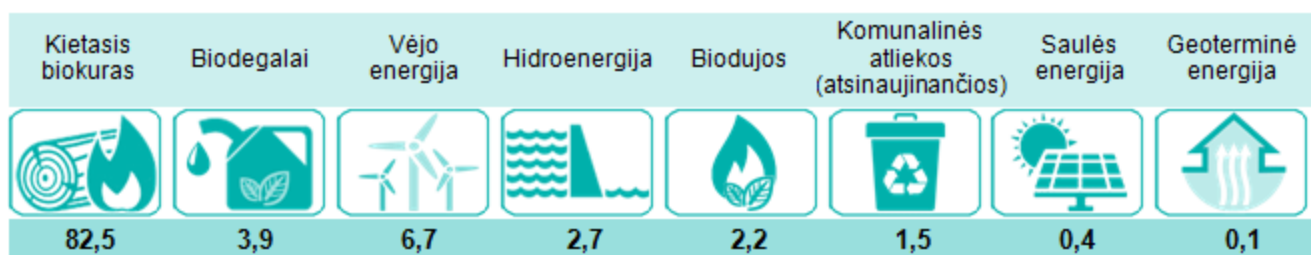
Lietuva ir toliau išlieka priklausoma nuo importuojamos energijos. Tai geriausiai atspindi energetinės priklausomybės rodiklis, kuris 2016 m. sudarė 75,3 % ir gerokai viršijo Europos Sąjungos (ES) vidurkį (2015 m. – 54 %).

„Lietuva yra įsipareigojusi padidinti atsinaujinančių energijos išteklių naudojimą tiek pagal ES, tiek pagal Lietuvos nacionalinius strateginius dokumentus. Privalomus tikslus dėl atsinaujinančių energijos išteklių naudojimo siekiant užtikrinti, kad iki 2020 m. ES mastu 20 % bendrojo galutinio energijos suvartojimo sudarytų energija, gaunama iš atsinaujinančių energijos išteklių, nustato ES Direktyva dėl skatinimo naudoti atsinaujinančių išteklių energiją“ (Štreimikienė, 2014, *Directive 2009/28/EC*).

Pagal Hertwich'ą (2014) išnagrinėtą elektros energijos tiekimo scenarijų integruotą būvio ciklo vertinimą, atsiskyrimas iš kintamo kuro, plačiai panaudojant saulės ir vėjo energiją, gali sumažinti oro ir vandens taršą. Jo tirtame „BLUE Map“ scenarijuje, kuriame kintamos vėjo ir saulės energijos technologijos aprūpina 24 % bendrą elektros energijos gamybą, iš kintamo kuro kūrenamų jėgainių, kuriuose nėra surinkimo ir saugojimo, pajėgumo koeficientas yra sumažintas nuo 40 % 2007 m. iki 19 % 2050 m. gamtinėms dujoms ir nuo 65% iki 30% akmens anglių už tą patį laikotarpį. Jo gauti rezultatai teigia, kad per numatytą studijos laiką, 2010–2050 m., išmetamų šiltnamio dujų kiekis, naudojant saulės ir vėjo jėgaines, yra 62% mažesnis, kietosios dalelės yra 40% mažesnės, gėlo vandens ekotoksikumas yra beveik 50% mažesnis, o eutrofikacija – 55%. Be to, sumažinamas ir bendras energijos suvartojimas, ir žemės naudojimas (Hertwich'as ir kt. 2015).

Remiantis Lietuvos oficialiosios statistikos duomenimis (2017), atsinaujinančių energijos išteklių (hidroenergijos, vėjo, saulės, geoterminės energijos, kietojo biokuro (malkų ir medienos atliekų, šiaudų), biodujų, biodegalų, atsinaujinančių komunalinių atliekų) naudojimo skatinimas – vienas geriausių sprendimų patenkinti energijos poreikį, saugant gamtą ir jos išteklius. ES šalių tikslas – iki 2020 m. pagaminti iš atsinaujinančių energijos išteklių nemažiau nei 20 %. Visos Europoje pagaminamos energijos. Lietuvai iki minėto laikotarpio numatyta pasiekti 23 % Šį tikslą Lietuva pasiekė jau 2014 m. (23,9 %), o 2015 m. šis rodiklis sudarė 25,8 % (ES vidurkis – 16,7 %).

Procentais



8pav. Atsinaujinančių energijos išteklių sąnaudų struktūra 2016 m. (*Lietuvos statistikos departamentas 2017*)

Lietuvoje atsinaujinančių energijos išteklių gamyba 2016 m., palyginus su 2015 m., padidėjo 2,1 %. Didžiausią atsinaujinančios energijos potencialą turi kietasis biokuras. 2016 m. didžiausias jo kiekis buvo suvartotas elektrai ir centralizuotai tiekiamai šilumai gaminti (48,4 %) bei namų ūkiuose (40,1 %). Elektrinės ir katilinės, naudojančios biokurą, 2016 m. pagamino 9,3 % daugiau šiluminės energijos, tačiau elektros energijos

gamyba iš biokuro sumažėjo 17,6 %. Kasmet plečiasi vėjo jėgainių parkas. Bendra įrengtų jėgainių galia 2016 m. pabaigoje siekė 509 MW (2015 m. pabaigoje – 432 MW). 2016m. vėjo jėgainės pagamino 1,1 TWh elektros energijos, arba 40,2 % daugiau nei 2015 m., ir tai sudarė 26,6 % visos šalyje pagamintos elektros energijos, arba daugiau kaip 9 % šalyje suvartotos elektros energijos (*Lietuvos statistikos departamentas 2017*)

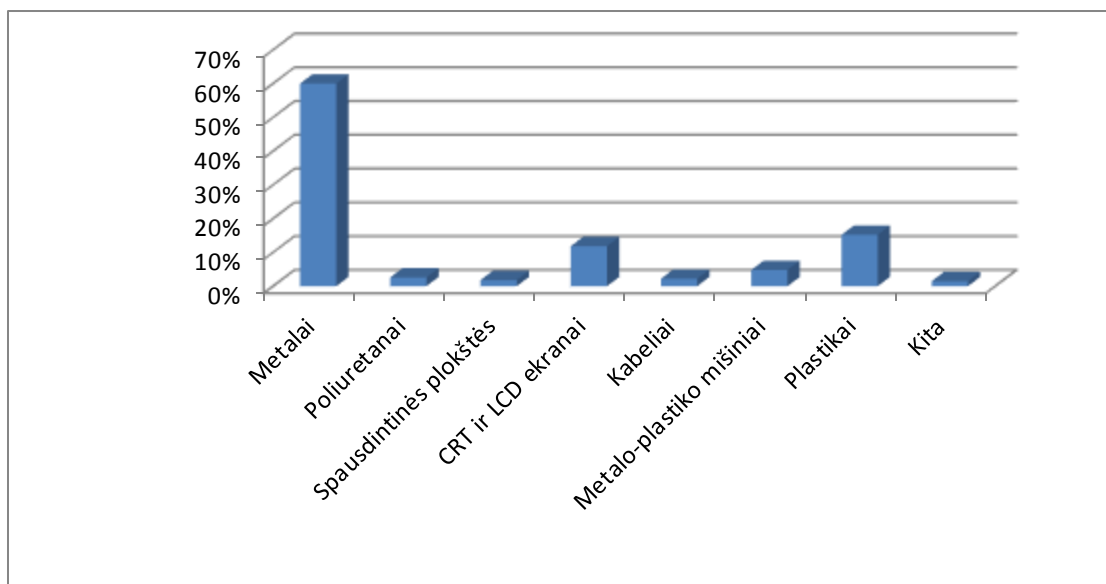
Vandens jėgainės 2016 m. pagamino 453,9 mln. kWh elektros energijos, t. y. beveik trečdaliu daugiau nei 2015 m. Vis dažniau elektros energijai gaminti panaudojamos biodujos. 2016m. iš biodujų buvo pagaminta beveik 122,7 mln. kWh elektros energijos, t. y. 42,2 % daugiau nei 2015 m.

Atsižvelgiant į sparčiai augančią energijos paklausą ir susirūpinimą dėl pasaulinės klimato kaitos, atsinaujinanti energija ir ypač fotoelektros galia yra ilgalaikiai sprendimai, susiję su saugiu energijos tiekimu ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimo mažinimu (Hoang'as ir kt. 2014). Nors Lietuvoje saulės energijos potencialas nėra didelis, 2016 m. į elektros tinklus patiekta 66,5 mln. kWh elektros energijos (9 % mažiau nei 2015 m.), kurią pagamino saulės jėgainės.

„Nors saulės energijos konversijos technologijos taip pat eikvoja medžiagas, tačiau atlikus šių medžiagų bendrojo poveikio aplinkai analizę, matyti, kad šias technologijas galima vertinti kaip aplinkai palankiausias. Atsinaujinančios energijos technologijų plėtrai turi būti priskirtas aukščiausias prioritetas, vystantis darnios plėtros kryptimi“ (Kriščiūnas ir kt., 2007).

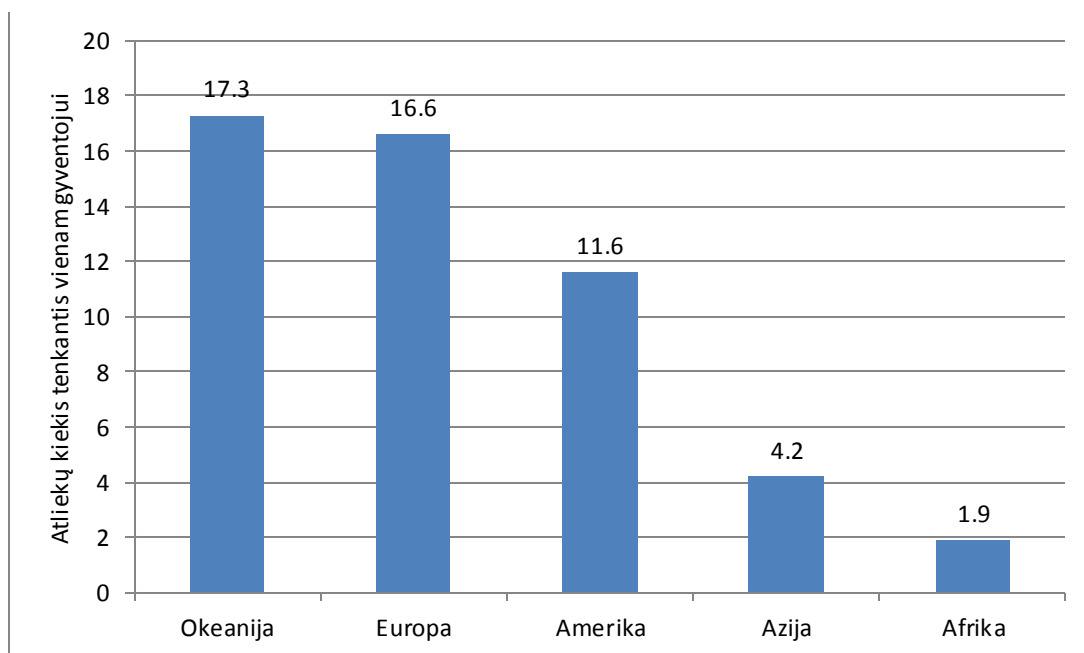
1.2.3 EEĮ atliekos ir jų perdirbimo galimybės

EEĮA, tai visi elektriniai bei elektroniniai prietaisai, skirti pakartotiniam naudojimui, perpardavimui, perdirbimui ar šalinimui. Šie prietaisai yra sudėtingi pavojingų, labai toksiškų medžiagų ir ekonomiškai vertingų tauriųjų metalų mišinys. Elektros ir elektronikos įrangos atliekas daugiausia sudaro metalai (~ 60% svorio), po jų plastikai (~15,21% svorio), CRT ir LCD ekranai (11,87% svorio) (Zhang'as ir kt. 2016) (9 pav.)



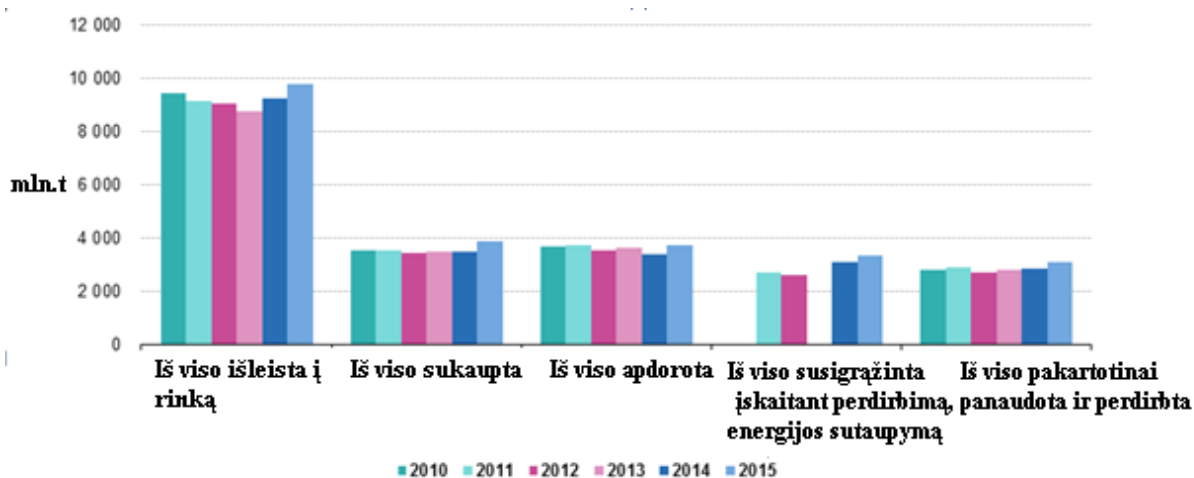
9 pav. EEĮA sudėtis (Zhang'as ir kt. 2016)

Statistikos portale *Statista* pateikiami duomenys (9pav.) rodo, koks 2016 m. elektroninių atliekų kiekis pasaulyje tenka vienam gyventojui visame pasaulyje pagal regionus (*Statista* 2018)



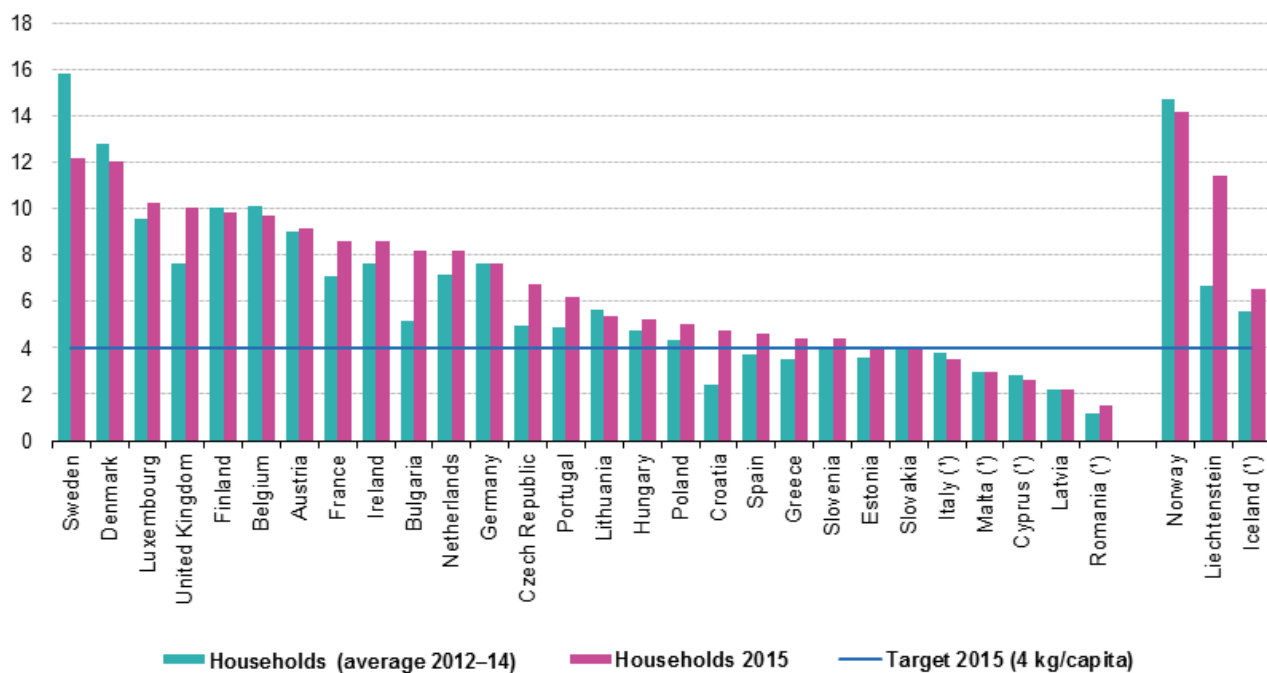
10 pav. Elektroninių atliekų susidarymas vienam gyventojui visame pasaulyje 2016 m. pagal regionus (kilogramais vienam asmeniui)(Statista2017)

Pagal šią statistiką, matome, kad didžiausias kiekis atliekų tenka Okeanijai, 17,3 kg, Europai – 16,6 kg, o Amerikai – 11,6 kg elektroninių atliekų vienam gyventojui. Dauguma e. atliekų, susidarančių visame pasaulyje, yra smulki elektroninė įranga. Remiantis *Eurostat* duomenimis šiuo metu EEJA laikomos vienu iš sparčiausiai augančių atliekų srautų ES ir kasmet auga 3–5%. EEJA, tai įvairūs įrenginiai ir medžiagos, kurios, jei jos yra netinkamai apdorotos, kelia didelį pavojų aplinkai ir sveikatai. Kita vertus, EEJA perdirbimas suteikia didelių galimybių rinkai tiekti antrines žaliavas. Šiuo metu apie trečdalį EEJA ES pranešama apie atitikties schemas, kurios yra surenkamos atskirai ir tinkamai tvarkomos (*Eurostat*, 2018).



11 pav. EEJ pateikta vidaus rinkai, susidariusios atliekos ir apdirbimas (*Eurostat* 2018)

11 pav. pateikiamos į rinką tiekiamos EEĮ kiekio tendencijos bei ES surinktų ir apdorotų EEĮA 2010–2015 m. laikotarpiu tendencijos. Atsižvelgiant į EEĮA surinkimo tikslą, šiuo metu neatsižvelgiama į laiko tarpą nuo tų metų, kai EEĮ pateikiama į rinką, ir metų, kai ji tampa atliekomis. 2010–2013 m. į rinką pateiktos EEĮ kiekis sumažėjo beveik 0,7 milijono tonų iki mažiau nei 8,8 milijono tonų 2013 m. šis sumažėjimas (7,2 %) labiausiai tikėtinas dėl pasaulinės finansų ir ekonomikos krizės nuosmūkiu. Rinkai tiekiamų EEĮ kiekis vėl padidėjo 2014 m. ir 2015 m. iki 9,3 mln. tonų ir 9,8 mln. tonų. 2010–2015 m. laikotarpiu padidėja 3,4 %. (*Eurostat, 2018*).



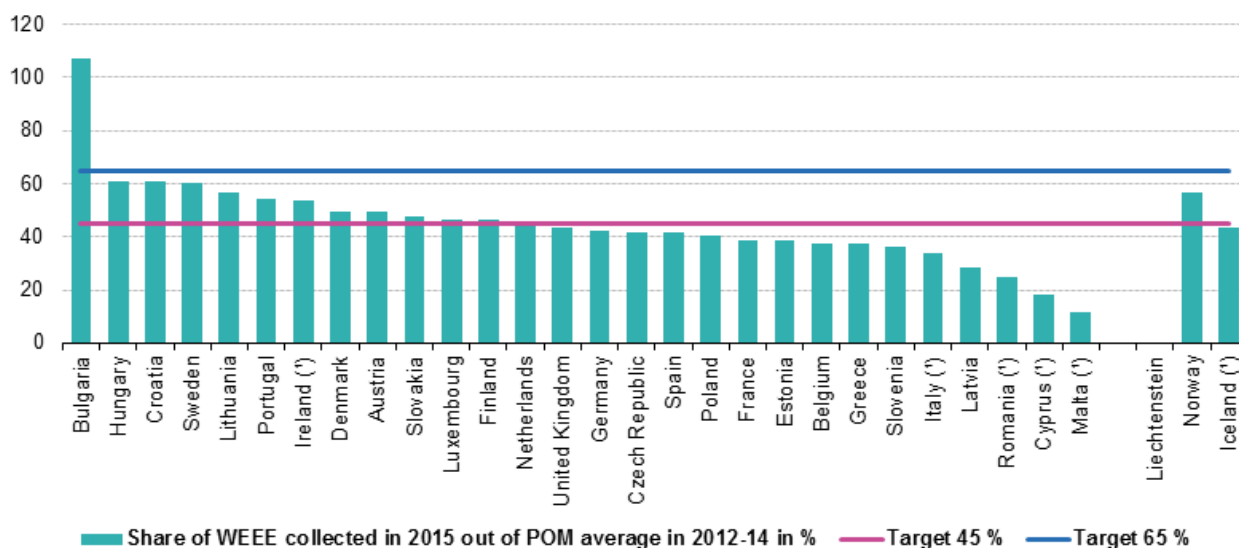
Note: ranked by 'Households 2015' data
 (*) 2015: 2014 data instead and average 2011 - 2013
 Source: Eurostat (online data code: env-waseelee)

12 pav. Namų ūkių EEĮ atliekų surinkimo norma 2015 m., palyginti su vidutiniu surinkimu per trejus ankstesnius metus (2012–2014 m.) (kg/vienam gyventojui) (*Eurostat 2018*)

12 pav. parodytas EEĮA kiekis, surinktas pagal šalis, išreikštas kilogramais vienam gyventojui 2008 ir 2015 metais. Matosi tiek atskirų rinkimų lygis šalyse, tiek ir 2008–2015 m. padaryta pažanga. 2015 m. surinktų EEĮ atliekų kiekis visose ES valstybėse narėse labai skiriasi, svyruoja nuo 1,6 kg vienam gyventojui Rumunijoje iki 14,7 kg vienam gyventojui Švedijoje. Norvegija išlaikė didelį EEĮA surinkimo lygį 20,3 kg vienam gyventojui, ypač pastebimas palyginant duomenis apie atliekų šaltinius. Esminiai surinktų kiekių svyravimai atspindi EEĮ sąnaudų skirtumus ir skirtingus esamų atliekų surinkimo sistemų eksploatacinių savybių skirtumus.

13 pav. nurodoma, kad kiekvienai šaliai 2015 m. surinktų EEĮA kiekis yra vidutinis į EEĮ į rinką įtrauktų EEĮ svoris 2012–2014 m., o būsiami surinkimo tikslai bus 45% ir 65%. Šie skaičiai rodo, kiek daugiau ES valstybių narių turimų EEĮA reikia surinkti, kad būtų pasiekti būsiami tikslai. Remiantis *Eurostato* duomenimis, 2015 m. 45% tikslo viršijo 13 ES valstybių narių (Bulgarija, Danija, Airija, Kroatija, Lietuva, Liuksemburgas, Vengrija, Olandija, Austrija, Portugalija, Slovakija, Suomija ir Švedija), o Čekijos Respublika, Vokietija,

Ispanija, Jungtinė Karalystė ir Islandija išliko artimi tikslui. Didelis Bulgarijos augimo tempas buvo susijęs su akcija: 2015 m. buvo surengta daug papildomų surinkimo akcijų, kad būtų užtikrintas reikiamas EEĀ kiekis siekiant patenkinti nacionalinius EEĀ surinkimo tikslus. Šios akcijos metu buvo surinktos už rinkliavą, suteikiant tiesioginį atlyginimą ar čekius piliečiams.



13 pav. Surinkta EEĀ 2015 m. palyginus su pateiktais į rinką 2012–2014 m., % (Eurostat 2018)

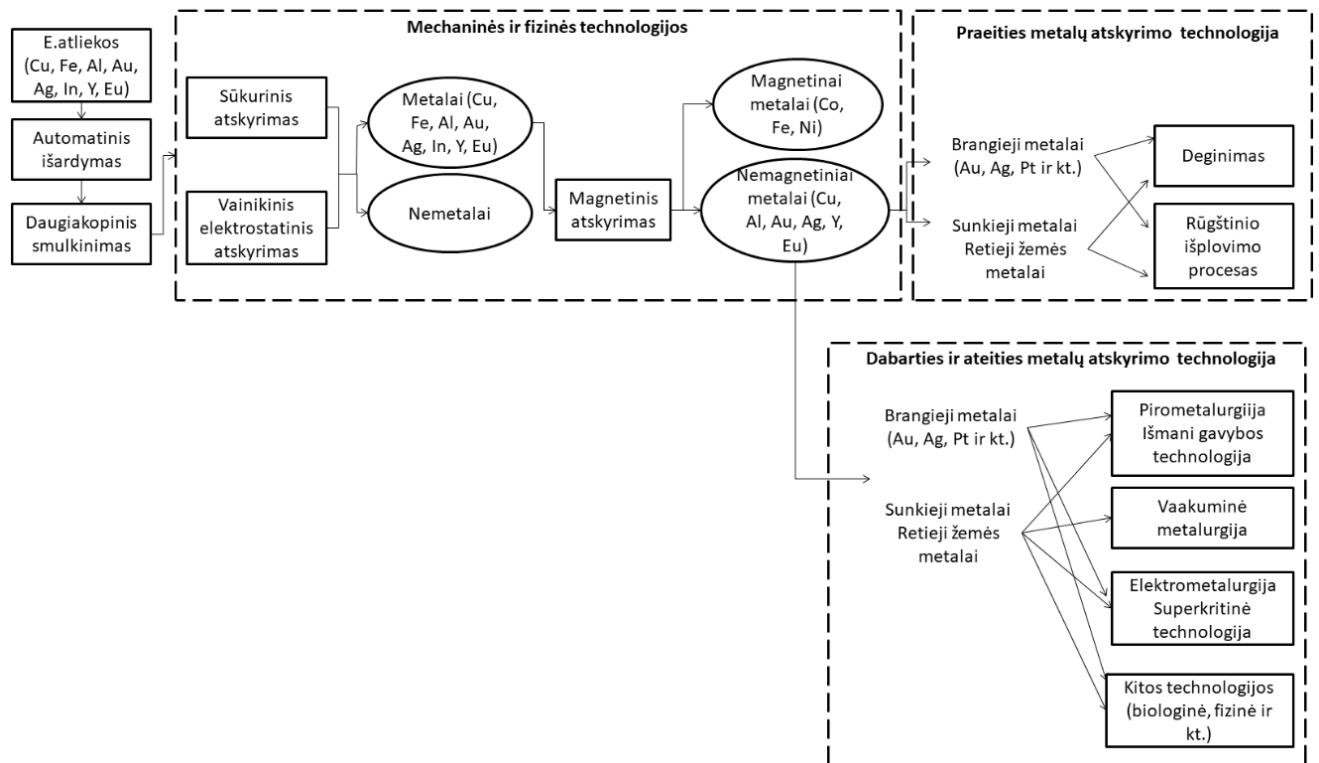
Aplinkos apsaugos agentūros duomenimis 2015 m. iš viso surinkta 16259,961 t EEĀ. Surinkta 52,3 % nuo patiekto rinkai kiekio. Apdorota (perdirbta ar kitaip panaudota, paruošta naudoti ar šalinti) Lietuvoje 15880,15 t, apdorota kitose valstybėse 1282,002 t. Iš viso apdorota 17162,152 t.

Sprendžiant elektroninių atliekų sutvarkymo problemą, reikalingos technologijos, galinčios šias medžiagas atskirti, perdirbti ir išgauti vertingus išteklius, taip mažinant bet kokią neigiamą poveikį aplinkai, žmonių sveikatai ir kuo labiau priartėti žiedinės ekonomikos vizijos. Kuo lengviau bus atskirti medžiagas pradinėje stadijoje, tuo lengviau jas perdirbti. Tačiau technologijos vystosi ir šioje srityje. Mokslininkai ieško būdų, kaip tą procesą palengvinti.

Elektroninių atliekų kiekio didėjimas kelia dvi pagrindines pasaulines problemas: mineralinių išteklių trūkumo grėsmę ir aplinkos taršos bei žmonių sveikatos rizikos problemas, ypač sąlygojamas dėl nereguliuoto perdirbimo. Priešingai, formalus ir reglamentuotas perdirbimas ar kasybos būdai gali turėti teigiamos aplinkos, išteklių ir ekonominės naudos (Zeng'as ir kt. 2017). Elektronikos atliekų perdirbimas aplinkai nekenksmingu ir ekonomiškai naudingu būdu yra sudėtinga sistema. Cecere ir kt. (2017) straipsnyje analizuoja įvairių medžiagų išgavimui iš elektronikos atliekų naudojamas įvairias technologijas:

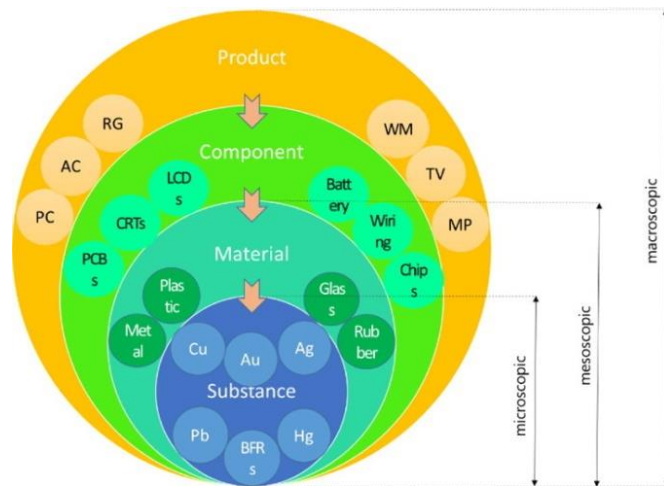
1. Pirometalurgija
2. Hidrometalurgija
3. Biometalurgija
4. Elektrocheminės technologijos.
5. Vakuuminės metalurgijos technologijos.

Panašias technologijas nagrinėja ir Zhang ir kt. (2016) bei Zeng ir kt. (2016, 2017). Jie pripažįsta, kad ne visų technologijų pritaikymas šiuo metu yra visiškai ištyrinėtas iki galo. Daug ko negalima atlikti vienostechnologijos pagalba, nes EEĪA perdirbimas yra sudėtingas procesas. Mokslininkai dirba tuo klausimu, kad būtų kuo efektyviau galima perdirbti EEĪA pritaikant kelias technologijas vienu metu. Daug tyrimų atliekama efektyvumui, ekonominei naudai gauti. Tyrinėjama, vienu ar kitu būdu atgauti medžiagas iš atliekų daromas mažesnis poveikis aplinkai, nei pirminėje gamyboje. Išsamiai analizuojami esamų technologijų defektai ir trūkumai (Zhang'as 2016). Ateities technologijos turėtų turėti aukštą atskyrimo efektyvumą, atgauti kuo daugiau medžiagų ir būti tvaresnės (14 pav.).



14 pav. Schema, kurioje pateikiama integruota perdirbimo technologija, skirta metalams perdirbti iš EEĪA (Zhang ir kt. 2016)

Moksliniu požiūriu sėkmingas e. atliekų tvarkymas turėtų apimti įvairius medžiagų srautų pakartotinio perdirbimo etapus. Fiziniame pasaulyje keturi produktų, komponentų, elementų ir medžiagų lygiai bus nustatyti makroskopinėje, mezoskopinėje ir mikroskopinėje skalėje (15 pav.) (Zhang ir kt. 2017). Jų teigimu ateityje ypač didelį dėmesį reikia sutelkti perkeltant atliekų perdirbimą iš makroskopinio lygmens į mikroskopinį. Visa teisinė bazė yra koncentruota į makroskopinį lygį.

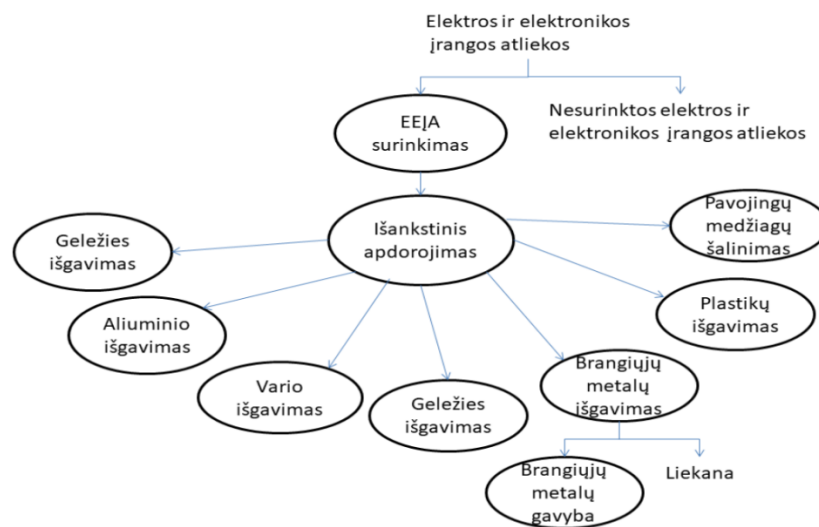


15 pav. Elektronikos atliekų perdirbimo procesas (Zhang ‘as ir kt. 2017)

Mezoskopiniame lygyje e. atliekų problema yra tiesiogiai ar netiesiogiai kontroliuojama trimis lygiais:

1. Medžiagų suderinamumas projektavimo etape.
2. Materialiu „nuovargiu“ vartojimo etape.
3. Medžiagų atgavimu pasibaigus būvio ciklui.

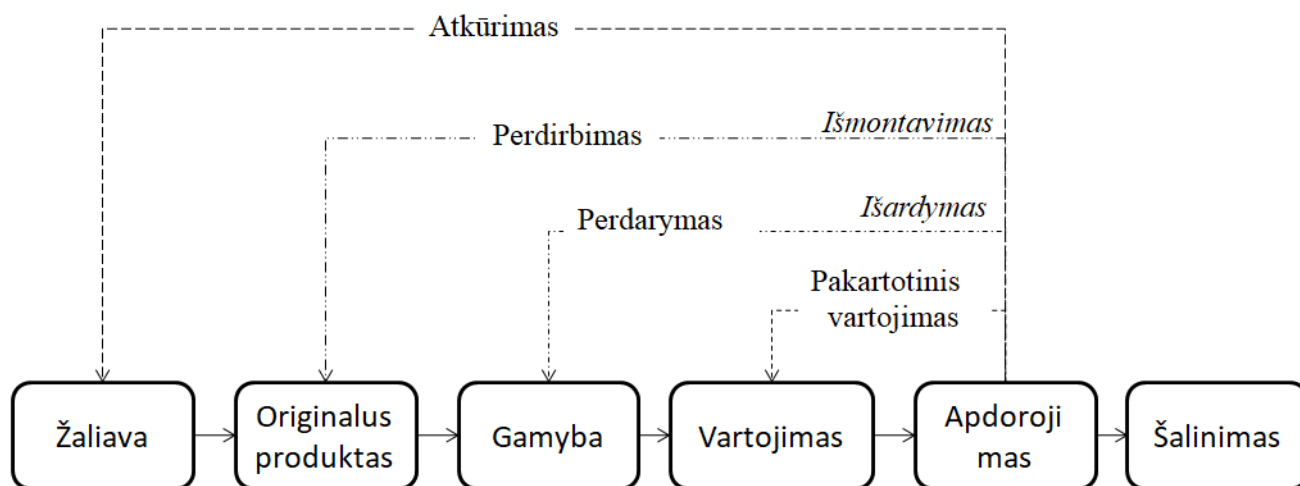
Mikroskopiniame lygmenyje kyla labai nemažai problemų dėl perdirbimo metu susidarančių pavojingų medžiagų, kurios paskui patenka pas vartotoją kartu su nauju produktu. Iš egzistuojančio e. atliekų tvarkymo, galima išskirti dvi pagrindines spragas: nėra pakankamo susirūpinimo dėl išgautų medžiagų bei nėra kontroliuojamos medžiagos, kad sunkieji metalai nepatektų į naujus produktus. Ne visos išgautos medžiagos yra saugios keliauti toliau pas vartotoją. Taigi ne visada yra galimybė pereiti iki uždaro žiedinės ekonomikos principo. Reikia tikėtis, kad e. atliekų apdorojimo technologijos bus gerokai patobulintos, kad sumažėtų ir netgi būtų išvengta toksiškų medžiagų, patenkančių į kitas medžiagas. Turėtų būti gerai išskirta žinių bazė, susijusi su pavojingų medžiagų ekologine rizika ir ekotoksikologija naujame produkte (Zhang ir kt. 2016, 2017).



16 pav. Supaprastinta EEJA perdirbimo schema, orientuota į brangiųjų metalų atkūrimą (Bakas ir kt. 2014)

1.3 EEĮ sektorius Žiedinėje ekonomikoje ir Ketvirtojoje pramonės revoliucijoje

Pastaraisiais metais koncepcija „neutralizuoti anglies dioksidą“ tapo aktualia tema, tačiau kiti aspektai, tokie kaip retųjų ir brangiųjų metalų išteklių mažėjimas negavo tokio pat dėmesio. Dabartinės kartos vartojimas neturėtų apriboti vartojimo ateities kartoms (Hunt'as ir kt. 2015). Negalima sustabdyti ar uždrausti išteklių paklausos dabartinėje praktikoje, tačiau jie turėtų būti vartojami siekiant skatinti holistines elementų gavybos, gaminimo, panaudojimo ir grąžinimo strategijas. Tokia veikla yra gyvybiškai svarbi siekiant sukurti tvarią, žiedinę ekonomiką (Hunt'as ir kt. 2015). Žiedinės ekonomikos tikslas išteklius naudoti kuo tausiau, sukurti uždarą produktų ir medžiagų būvio ciklą, kuo ilgiau su tais pačiais ištekliais sukurti vertę. Remiantis JAV Aplinkos apsaugos agentūros apklausa, palyginti su pirminių metalų gamyba, EEĮA metalų išteklių perdirtimas turi reikšmingų privalumų, pvz. turi mažiau antrinių atliekų ir reikalauja mažesnio energijos suvartojimo (Zhang'as ir kt. 2016). Visi autoriai pripažįsta, kad elektronikos atliekos vis dar yra didžiausia visuotinė problema. Zeng'as ir kt. (2016) teigimu, „Kaip pasaulinė visuomenė, mes vis dar toli nuo žiedinės ekonomikos, todėl svarbiausias yra veiksmingesnis perdirtimas, kad būtų galima susigrąžinti kritines medžiagas ir išspręsti pasaulinę elektronikos atliekų problemą“. Reikalinga ieškoti būdu pereiti prie žiedinės ekonomikos, kuo daugiau įtraukiant mokslininkus, inžinierius, visuomenę ir politikus. Atsižvelgiant į 17 pav. pavaizduotą būvio ciklą, galima atrasti naujos EEĮA regeneravimo proceso paradigimą, atspindinčią žiedinės ekonomikos koncepciją. Žiedinėje ekonomikoje didelę reikšmę įgauna EEĮ ekologinio projektavimo valdymas, t. y. gaminys turi būti projektuojamas ilgam naudojimui, pakartotiniam naudojimui, turi būti lengvai išardomas ir lengvai pergaminamas ir tik įgyvendinus ankstesnės strategijas turi būti galvojama apie perdirtimą ir atstatytų elementų grąžinimą į būvio ciklą. Projektuojant gaminį būtina atsižvelgti ir į gaminio patvarumą, bei galimybes jį perdaryti bei perdirbti naudojimo laikui pasibaigus (Staniškis ir kt. 2005).



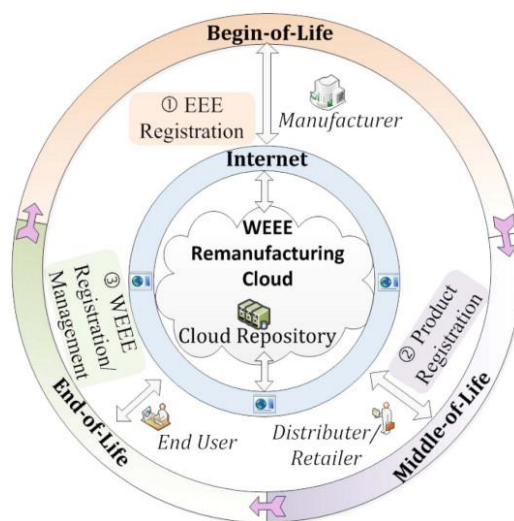
17 pav. EEĮ atliekų panaudojimo proceso paradigma (Li ir kt. 2017)

Aukštos kokybės elektronika būvio ciklo pabaigos etape gali būti pakartotinai naudojama, gali būti išmontuota perdirtimui, kai kurie jų elementai gali būti regeneruoti ir įvesti į pradinį gamybos procesą, kai

kurie iš jų gali būti panaudoti kaip žaliava ir tik visi likę gali būti šalinami. Bet elektroninis atliekų perdirbimo lygis yra tik apie 13 % visame pasaulyje, o ne daugiau kaip 20 metalų elementų galima perdirbti daugiau kaip 50 % (Liir kt. 2017).

Be ekologinio projektavimo, kitas efektyvus, prevencinis būdas išvengti EEĮA, bei išteklių išekvojimo – tai EEĮ įrangą naudoti kuo efektyviau. Esant ant ketvirtosios, skaitmeninės, pramonės revoliucijos slenksčio tai tampa įmanoma. Maynard'as (2015) teigimu, „ketvirta pramoninė revoliucija yra precedento neturinti sintezė tarp skaitmeninių, fizinių ir biologinių technologijų ir iš to kylanti numatoma produktų gamybos ir naudojimo transformacija“. Ketvirtoji pramoninė revoliucija ir tai, ką reiškia nauja žiedinė ekonomika, reikalauja, kad visuomenė orientuotųsi į išteklių kūrimą, o ne į atliekų susidarymą (ISWA 2017). Paskutinės naujos ir naujausios technologijos – tai debesų kompiuterija ir daiktų internetas – viena iš pagrindinių tendencijų, lemiančių technologijų plėtrą informacinių ir ryšių technologijų sektoriuje. Debesų kompiuterija yra skirta teikti įvairias paslaugas, tokias kaip saugojimas internete, įrangos ar sistemų programinės įrangos dideliuose duomenų centruose, kurie teikia šias paslaugas. Tai formuoja IT įrangos kiekio minimizavimą ir skatina, kad vartotojai naudotų tik keletą elektronikos prietaisų tinkamam aptarnavimui, prieigai prie debesų duomenų centro. Taikydamas skaitmenines technologijas, atliekų sektorius galės iš naujo apibrėžti savo verslą šioje naujoje sistemoje (ISWA 2017). Elektroninių atliekų šalinimas ir pakartotinis naudojimas yra inžinierių, vartotojų, elektronikos bendrovių ir politikos formuotojų problema (Cecere 2017).

Perėjimas prie debesija pagrįstos programinės įrangos ir duomenų saugojimo reiškia, kad daugelis dabartinių elektronikos komponentų gali būti nebereikalingi. Reikėtų atsižvelgti į tai, kad perkėlimas į saugyklą, esančią debesyje, reiškia padidėjusį serverių kiekį duomenų centruose, ir šie serveriai vis dar sudaromi iš modulinį komponentų (Charles'as ir kt. 2017). Visame pasaulyje diskutuojama apie debesijos gamybos modelį, kuris leidžia gamybos įmonėms greitai ir veiksmingai reaguoti į besikeičiančią pasaulinę rinką. Ypač dėl elektros ir elektroninės įrangos atliekų, tai yra esminė būtinybė pakartotinai naudoti, perdirbti ir iš naujo perdirbti būvio ciklo valdymo modelius (Wang'as ir kt.2014) (18 pav.).



18 pav. Debesimis pagrįstas EEĮ valdymas (Wang'as 2014)

Taigi, nors bendrą perdirbimo žaliavos sudedamąją įrangą galima sumažinti dėl debesų kompiuterijos, tauriųjų metalų kiekis bendrame integruotame tinkle gali išlikti stabilus. Daugiau tauriųjų metalų, įdiegtų serveriuose, gali būti tik dėl pasikeitimų, kur jie yra sudėti, o atkūrimas gali būti didesnis, nes įrenginių centralizavimas gali padėti efektyviau surinkti (Charles'as ir kt. 2017).

Moksliniu požiūriu sėkmingas e. atliekų tvarkymas turėtų apimti įvairius medžiagų srautų pakartotinio perdirbimo etapus. Nuolatinė pramoninė revoliucija suteikia didelę naudą perdirbant ir atliekų tvarkymo srityje, nes dėl naujų pigių ir efektyviai energiją vartojančių jutiklių daugelis pramonės šakų galės atidžiai stebėti bet kurio parduoto daikto būvio ciklą. Tai leis produktų kūrėjams optimizuoti dizainą, sumažinti nereikalingas funkcijas ir medžiagas, išvengti žalos, gerinti techninę priežiūrą ir galiausiai sukurti švarių medžiagų uždara ratą. „Nulinių atliekų“ metodai konkrečioms tiekimo grandinėms taps realistiškesni nei bet kada. Technologiniu požiūriu pakartotinis naudojimas, perdirbimas ir medžiagų atgavimas bus lengvesni (ISWA, 2017).

Ateityje EEĪA perdirbimo „debesys“ gali būti toliau plėtojami remiantis glaudžiu bendradarbiavimu su perdirbimo pramone.

1.4 EEĪ sektoriaus teisės aktų apžvalga

Siekiant pagerinti aplinkosauginę būklę, Europos Parlamente ir Taryboje buvo priimta keletą direktyvų, reglamentų, sprendimų bei standartų. Vienas pagrindinių sprendimų, tai 2013-11-20 Nr. 1386/2013/ES „Dėl bendrosios Sąjungos aplinkosaugos veiksmų programos iki 2020 m. „Gyventi gerai pagal mūsų planetos išgales“. Jame yra aprašyti Sąjungos susitarimai siekiant Septintojoje aplinkosaugos veiksmų programoje nustatytų tikslų. Sąjunga išsikėlė ambicingus tikslus. 7-oji aplinkosaugos veiksmų programa grindžiama atsargumo principu, prevencinių veiksmų bei taršos mažinimo ten, kur yra jos šaltinis, principais ir principu „teršėjas moka“.

Kita aktuali direktyva, tai 2009-04-23 Europos Parlamento ir Tarybos direktyva 2009/28/EB dėl skatinimo naudoti atsinaujinančių išteklių energiją. Norint sumažinti išmetamųjų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį ir įvykdyti Jungtinių Tautų bendrosios klimato kaitos konvencijos Kioto protokolą bei kitus įsipareigojimus, reikia didinti atsinaujinančių išteklių energijos vartojimą, taupyti energijos išteklius, valdyti energijos vartojimą Europoje. To siekti sudarant palankias sąlygas atsinaujinančios energetikos rinkos vystymuisi. Tai papildo Europos Parlamento ir Tarybos 2009-04-23 sprendimas Nr. 406/2009/EB „Dėl valstybių narių pastangų mažinti jų šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas, Bendrijai siekiant įvykdyti įsipareigojimus iki 2020 m. Sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas“.

Ekologinį projektavimą reglamentuoja keletas Europos Sąjungos direktyvų. Viena iš jų, tai 2009 m. spalio 21 d. Europos parlamento ir tarybos direktyva 2009/125/EB, nustatanti ekologinio projektavimo reikalavimų su energija susijusiems gaminiams nustatymo sistemą. Ja siekiama gauti kuo didesnę aplinkosauginę naudą ir informuoti vartotojus kaip naudoti gaminius aplinkai nekenkiančiu būdu. Šia direktyva yra papildomos kitos galiojančios direktyvos. 2009/125/EB direktyvą iš dalies keičia Europos Parlamento ir Tarybos direktyva 2012/27/ES „Dėl energijos vartojimo efektyvumo“.

2013 m. balandžio 9 d. Europos komisijos rekomendacija Nr. 203/179/ES „Dėl produktų ir organizacijų būvio ciklo aplinkosauginio veiksmingumo matavimo ir pranešimo apie jį bendrų metodų taikymo“. Ši

rekomendacija taikoma Europos sąjungos valstybėms narėms, privačiam ir viešajam sektoriui, kurie vertina arba ketina vertinti savo produktų, paslaugų arba organizacijos būvio ciklo aplinkosauginį veiksmingumą, norėdama suvienodinti skaičiavimo metodiką (Europos Komisija, 2013). Rekomendacijos tikslas yra skatinti naudoti ekologinio pėdsako matavimo metodus. Komisija rekomenduoja naudoti produkto ir organizacijos aplinkosauginio pėdsako matavimo ir pranešimo apie juos metodus. Rengiant šias rekomendacijas buvo atsižvelgta į esamus aplinkosaugos matavimo metodus ir kitus rekomendacinius dokumentus, tokius kaip: ISO 14044 (2006), ISO/DIS 14067 (2012), ISO 14025(2006), ISO 14020(2000), ILCD (Tarptautinės etaloninės būvio ciklo duomenų sistemos) vadovą, „Ecological Footprint Standards 2009“, WRI/WBCSD Šiltnamio efektą sukeliančių dujų protokolą, bendruosius aplinkosauginės informacijos apie masinio vartojimo produktus skelbimo principus BPX 30-323-0 (ADEME), su produktų bei paslaugų būvio ciklu susijusių išmetamų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekio įvertinimo specifikaciją (PAS 2050, 2011).

Dar vienu Europos komisijos komunikatu (COM/2013/0196 final) „Žaliųjų produktų bendrosios rinkos kūrimas“ skatinama rinktis tausiuosius produktus. Tuo siekiama, kad gamtos išteklių būtų naudojami tausiau ir mažėtų poveikis aplinkai (Europos komisija, 2013 ŽP).

Taip pat svarbus 2015-02-12 Komisijos komunikatas (COM/2015/0614 final) Europos Parlamentui, tarybai, Europos Ekonomikos ir socialinių reikalų komitetui ir regionų komitetui „Uždaro ciklo kūrimas. ES žiedinės ekonomikos veiksmų planas“. Jame aiškiai apibrėžiama ekologinio projektavimo nauda vartotojui ir gamintojui.

Jungtinių Tautų bendrosios klimato kaitos konvencijos Kioto protokolas, priimtas 1997-12-11 yra aktualus energetikos sektoriui dėl energijos taupymo, šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimų bei atsinaujinančių energijos šaltinių naudojimo.

2002 metais Tarptautinė standartizacijos organizacija įsteigė ISO/TR 14062, kuriame pateikta išsami informacija susijusi su aplinkosauginių aspektų įtraukimu į produktų projektavimo procesą. Be to, 2004 m. įsteigė ISO 14001. Jame nėra numatyta absoliučių reikalavimų įmonei dėl poveikio aplinkai, išskyrus, tai kad organizacija specialiame dokumente turi paskelbti apie savo siekį atitikti tarptautinius ir nacionalinius standartus.

Be pasaulio aplinkos apsaugos susitarimo, nuo 2002 m. buvo sukurtos ir regioninės bei nacionalinės direktyvos ar reglamentai. Beveik visi reglamentai grindžiami išplėsta gamintojo atsakomybe sprendžiant e. atliekų problemą. Europos Sąjunga arba Europos Bendrijos nustatė EEĖA direktyvą, tam tikrų pavojingų medžiagų naudojimo EEĖ apribojimą, pakuočių ir pakuočių atliekų direktyvą, su energija susijusius gaminius ir integruotą taršą Prevencijos ir kontrolės direktyva. Kinija nuo 2003 m. sukūrė „Švaresnio gamybos skatinimo įstatymą“, „Elektroninių ir informacinių produktų taršos prevencijos ir kontrolės įstatymą“, „Elektros ir elektroninių produktų atliekų surinkimo ir tvarkymo administracinį reglamentą“. Jungtinėse Amerikos Valstijose 25 valstybės turi e. atliekų įstatymus, ir dabar 65% gyventojų yra įtraukti į valstybės e. atliekų perdavimo įstatymą. Pasauliniai, regioniniai ir nacionaliniai teisės aktai pagerino ekologinį buitines elektronikos projektavimą, kad būtų sumažintas išmetamųjų teršalų kiekis, taupomi išteklių ir pašalintas toksiškumas. Europos Parlamento ir Tarybos Direktyva 2011-06-08 Nr. 2011/65/ES „Dėl tam tikrų pavojingų medžiagų naudojimo elektros ir elektroninėje įrangoje apribojimo“, kitaip vadinama RoHS 2 direktyva)

siekama prisidėti prie žmonių sveikatos ir aplinkos apsaugos, numatant aplinkos apsaugai priimtina EEĪA naudojimą ir šalinimą. Ribojamos medžiagos, tokios kaip švinas, gyvsidabris, kadmis, šešiavalentischromas, PBB, PBDE.

Europos Parlamento ir Tarybos Direktyvoje 2012-07-04 Nr. 2012/19/ES „Dėl elektros ir elektroninės įrangos atliekų“, kitaip vadinama WEEE direktyva, nustatomos priemonės, skirtos apsaugoti aplinką ir žmonių sveikatą vengiant elektros ir elektronikos atliekų susidarymo ir jų tvarkymo neigiamo poveikio arba tą poveikį mažinant, bei mažinant bendrą išteklių naudojimo poveikį.

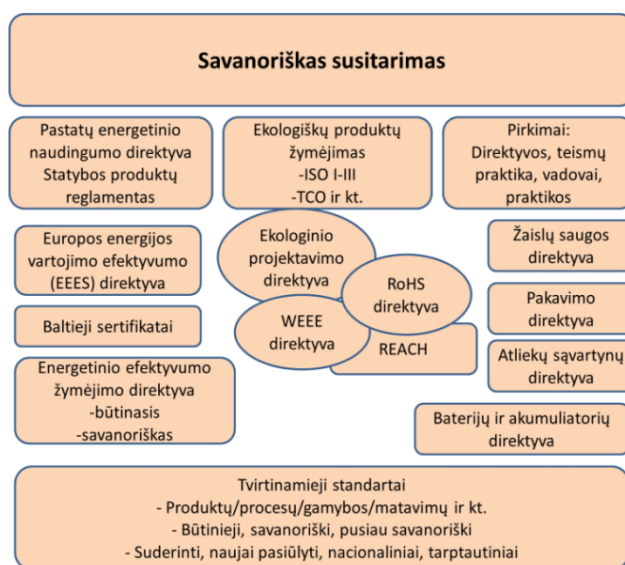
2009-04-06 Komisijos reglamentas (EB) Nr. 278/2009, kuriuo įgyvendinant Europos Parlamento ir Tarybos direktyvą 2005/32/EB nustatomi išorinių maitinimo šaltinių elektros energijos suvartojimo be apkrovos ir vidutinio efektyvumo aktyviuoju režimu ekologinio projektavimo reikalavimai.

Būvio ciklui vertinti patvirtinti standartai:

1. ISO 14044:2006 Aplinkos vadyba. Būvio ciklo vertinimas. Reikalavimai ir nurodymai. 2006 m. birželis.
2. ISO 14040: 2006 Aplinkos vadyba. Būvio ciklo vertinimas. Principai ir sandara. 2006 m. birželis.

ISO 14040 gairės apima keturis etapus: (1) tikslų ir taikymo srities nustatymą; (2) inventorizacijos analizę, kuri kiekybiškai įvertina medžiagų sąnaudas, energijos sąnaudas ir aplinkos išleidimą per specifinius būvio ciklo etapus, (3) poveikio vertinimas, kuris kaupia įvairias poveikio kategorijas ir (4) rezultatų aiškinimą.“ (Europos komisija 2010)

19 pav. pavaizduotas ES teisės aktų tarpusavio sąsaja. Ekologinio projektavimo direktyva (Direktyva 2008/98/EB) nustatomos energijos naudojimo efektyvumo taisyklės, o REACH reglamentas (Reglamentas (EB) Nr. 1907/2006) ir Pavojingų medžiagų naudojimo apribojimo direktyva (Direktyva 2011/65/ES) reglamentuoja pavojingą turinį; REACH turi platesnę taikymo sritį, nei Pavojingų medžiagų naudojimo apribojimo direktyva, ir taip pat reglamentuoja, kaip susirūpinimą keliančios medžiagos turi būti valdomos per tiekimo grandines. Dėl EEĪ, kurie klasifikuojami kaip žaislai arba kurių sudėtyje yra baterijų, taikomos papildomos taisyklės.



19 pav. EEĪ reglamentavimo ES apžvalga (Dalhammar 2016)

EEĀ reglamentuojamos EEĀ atliekų direktyvoje (Direktyva 2012/19/ES). Daugelis EEĀ, pvz., didžioji buitinė technika (pvz. šaldytuvai) ir dulkių siurbiai, taip pat yra privalomai ženklinami (reglamentuojama Direktyva 2010/30/ES). Gamintojai pasirenka, ar savo gaminiuose taikys savanoriškas priemones, pvz. savanoriškos ekologinės etiketės ir energetinis žymėjimas, pvz. „Green Star“. Įvairūs savanoriški pramonės standartai yra svarbūs nustatant reikalavimus ir parodant atitikimą teisės aktams. Kai kurios taisyklės reglamentuoja savanoriškų priemonių taikymo būdą. Pavyzdžiui, ES viešųjų pirkimų taisyklės daro įtaką tam, kokius aplinkosaugos reikalavimus vyriausybės gali taikyti savo viešųjų pirkimų programose (Dalhammar, 2016).

Europos Sąjungos direktyvos nustatytos atliekų tvarkymo užduotys pateiktos 2 lentelėje.

2lentelė. ES direktyvose nustatytos gaminių atliekų tvarkymo užduotys

Atliekos	Metai	Atliekų surinkimo užduotys	Atliekų naudojimo užduotys	Atliekų perdirbimo užduotys
Elektros ir elektroninės įrangos atliekos	2006	Min. 4 kg gyventojui	70–80 proc., atsižvelgiant į EEĀ kategoriją	50–80 proc., atsižvelgiant į EEĀ kategoriją
	2016	45 proc. Išleistų į rinką EEĀ	75–85 proc., atsižvelgiant į EEĀ kategoriją	55–80 proc., atsižvelgiant į EEĀ kategoriją
	2018 (2020)**	65 proc. Išleistų į rinką EEĀ arba 85 proc. Surinktų EEĀ atliekų	75–85 proc., atsižvelgiant į EEĀ kategoriją	55–80 proc., atsižvelgiant į EEĀ kategoriją

(**) valstybėms narėms, kurioms numatytos išimties (EE, UK, PL, CZ, LT, GR, IE, RO, BU, LV, SK).

Remiantis aukščiau aprašytais direktyvomis Lietuvoje buvo parengti šie teisės aktai:

LR Aplinkos Ministro įsakymas „Dėl elektros ir elektroninės įrangos bei jos atliekų tvarkymo taisyklių patvirtinimo“ *Žin. 2004, Nr. 141-5168*. Jose numatoma kaip tinkamai ženklinti, platinti, surinkti, vežti, apdoroti, saugoti, apskaityti EEĀ ir informuoti apie EEĀ vartotojus. Įsakyme apibrėžiama, kad tiekama į rinką EEĀ privalo būti paženklinta ir šios įrangos vartotojai turi būti informuoti apie:

- reikalavimą rinkti EEĀ atskirai ir jų nešalinti kartu su kitomis komunalinėmis atliekomis;
- esamas EEĀ surinkimo sistemas ir galimybes jomis naudotis;
- visuomenės teises ir pareigas prisidedant prie EEĀ pakartotinio naudojimo, perdirbimo ir kitų šių atliekų naudojimo būdų;
- elektros ir elektroninėje įrangoje esančių pavojingų medžiagų keliamą pavojų aplinkai ir žmonių sveikatai.

Pagrindines juridinių ir fizinių asmenų teises ir pareigas išsaugant ekologines sistemas, užtikrinant sveiką ir švarią aplinką, racionalų gamtos išteklių naudojimą, atsakomybę reglamentuoja Lietuvos Respublikos aplinkos apsaugos įstatymas. 1992-01-21 *Įstatymas paskelbtas: Lietuvos aidas 1992, Nr. 20-0; Žin. 1992, Nr. 5-75, i. K. 0921010ISTA001-2223*

Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2009-05-05 įsakymas Nr. D1-252 „Dėl gamtos išteklių taupymo ir atliekų mažinimo planų rengimo metodinių rekomendacijų patvirtinimo“ (*Žin.*, 2009, Nr. 53-2126).

EEĀ surinkimą reglamentuoja Lietuvos Respublikos atliekų tvarkymo įstatymas 1998 m. birželio 16 d. (*Žin. 1998, Nr. 61-1726, Nr. IX-1004, 2002-07-01, Žin., 2002, Nr. 72-3016 (2002-07-17)*). Taikant gamintojo

atsakomybės principą, gamintojai ir importuotojai atsakingi už jų vidaus rinkai tiekiamų gaminių (elektros ir elektroninės įrangos):

- poveikį aplinkai per visą būvio ciklą nuo gamybos iki saugaus atliekų sutvarkymo, įskaitant surinkimo, vežimo, perdirbimo, naudojimo ir šalinimo;
- sistemos organizavimą ir (ar) finansavimą, nustatytų gaminių atliekų;
- tvarkymo užduočių vykdymą, informacijos apie gaminius ir jų atliekų tvarkymą teikimą šių gaminių naudotojams ir atliekų tvarkytojams, gražinamų produktų ir juos panaudojus susidarančių atliekų priėmimą, tvarkymą ir finansinę atsakomybę už tokią veiklą.

Ekologinį projektavimą reglamentuoja du įsakymai:

Lietuvos Respublikos ūkio ministro įsakymas 2007 m. Spalio 23 d. Nr. 4-438 „Dėl ekologinio projektavimo reikalavimų su energija susijusiems gaminiams nustatymo sistemos ir jos įgyvendinimo priemonių taikymo techninio reglamento patvirtinimo“ *Įsakymas paskelbtas: Žin. 2007, Nr. 111-4555, i. k. 1072020ISAK0004-438*

Lietuvos Respublikos ūkio ministro įsakymas 2010 m. Gruodžio 17 d. Nr. 4-928 „Dėl Lietuvos Respublikos ūkio ministro 2007 m. Spalio 23 d. Įsakymo Nr. 4-438 „Dėl ekologinio projektavimo reikalavimų energiją vartojantiems gaminiams nustatymo sistemos ir jos įgyvendinimo priemonių taikymo techninio reglamento patvirtinimo“ pakeitimo.“ *Įstatymas paskelbtas: Žin. 2010, Nr. 152-7750 (2010-12-23), i. k. 1102020ISAK0004-928*

Galime išskirti šiuos aspektus, kurie iš esmės apibūdina aplinkosaugos teisės aktus ES šalyse (Sakao ir kt. 2006):

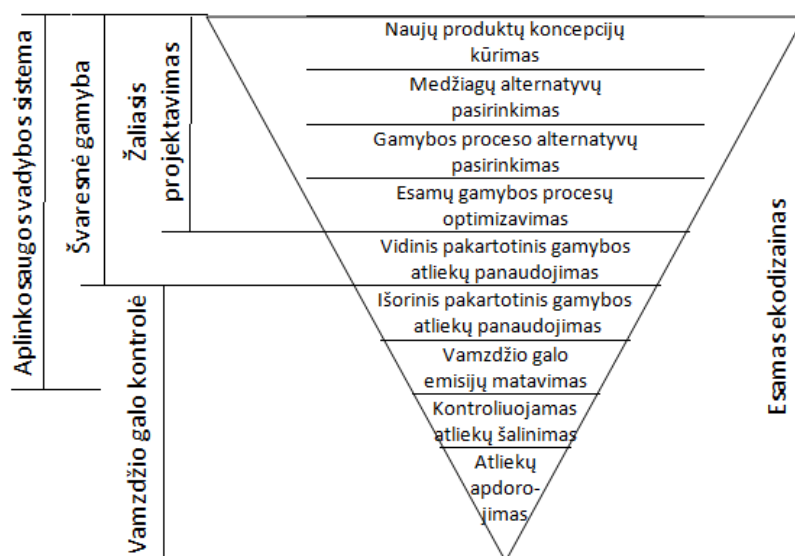
- EEĮ (pvz. buitinės technikos) atliekų mažinimas didinant pakartotinio naudojimo ir perdirbimo galimybes, gerinant šių gaminių aplinkosauginį veiksmingumą ir skatinant įmonių pasiūlytą gražinimo politiką;
- produktų, kurių sudėtyje yra pavojingų medžiagų, kontrolė, taip pat gamintojų atsakomybė ekonominiu požiūriu;
- gamintojų pareiga apsvarstyti visą produktų būvio ciklą, taip pat užtikrinti, kad jie atitiktų taisykles pagal vidaus projektavimo kontrolę, įgyvendinant aplinkosaugos vadybos sistemą, naudojant ekologinius ženklus ir kt.

1.5 Ekologinio projektavimo aspektai

Ekologinio projektavimo tikslas – sumažinti gamtos išteklių ir energijos sąnaudas, siekiant mažiausio poveikio aplinkai ir didžiausios naudos vartotojams. Staniškis ir kt. 2004 p. 351 teigia, kad „ekologinis projektavimas ne tik padeda sumažinti poveikį aplinkai, bet ir sukuria naujas inovacijų sąlygotas verslo galimybes: prailginus gaminio naudojimo trukmę, galima padidinti įmonės teikiamų paslaugų skaičių ir pagerinti santykius su vartotojais“. Lietuvoje atliktas tyrimas parodė, kad informacijos prieinamumas ir susirūpinimas aplinkos apsauga yra svarbūs veiksniai, lemiantys Lietuvos gyventojų pasirengimą mokėti už produktų inovacijas, susijusias su klimato kaitos švelninimu. (Štreimikienė ir kt. 2014).

Ekologiškai darni plėtra yra svarbi pačiai įmonei, siekiant pranašumo prieš konkurentus. „Komunikate „Europos vartotojų darbotvarkė pasitikėjimui ir ekonomikos augimui skatinti“ pabrėžiama, kad vartotojai turi teisę žinoti apie produktą, kuriuos jie ketina pirkti, poveikį aplinkai per visą jų būvio ciklą ir kad vartotojams reikėtų padėti lengvai atpažinti tikrai tvarius produktus“. (Europos komisija, 2013/179/ES). Mažinant poveikį aplinkai dažnai įmonės patiria ir ekonominę naudą, t.y. mažesnes sąnaudas. Be to, tokia įmonė rinkoje užima saugesnę poziciją prieš konkurentus. Be šio argumento, Varžinskas ir kt. (2006) išskiria ir kitas įmonės gaunamas naudas – įmonė, taikanti ekologinį projektavimą: „pagerina gaminių kokybę, užtikrina atitiktį vis griežtėjantiems teisiniams reikalavimams, padidina gamybos efektyvumą ir taip sumažina gamybos kaštus, atranda naujų gaminių kūrimo idėjų, pagerina įmonės įvaizdį“.

Ekologinis projektavimas yra orientuotas į 3 pagrindinius aspektus: energijos gamybos ir vartojimo metu išmetamų teršalų mažinimą, medžiagų (ir netiesiogiai energijos naudojimo) išteklių taupymą ir medžiagų toksiškumo pašalinimą. Juo siekiama pagerinti gaminio aplinkosauginį veiksmingumą, kuo labiau sumažinant jo poveikį aplinkai per jo būvio ciklą, kad jį būtų galima vertinti kaip produkcijos kūrimo būdą, atitinkantį subalansuotos plėtros ir būvio ciklo sampratą. Dabartinis ekologinis projektavimas pasikeitė nuo ankstesnio ekologinio projektavimo, kuris apėmė tik gaminio projektavimo etapą. Žalioji projektavimas, švaresnė gamyba, aplinkosaugos vadybos sistema, vamzdžio galo kontrolė ir žaliasis projektavimas aiškiai parodyti paveiksle (Li J. ir kt. 2014) (20 pav.).



20 pav. Ekodizaino, švaresnės gamybos, aplinkosaugos vadybos sistemos, vamzdžio galo kontrolės ir žaliojo projektavimo sritys (Li ir kt. 2014)

Teoriškai esamo ekologinio projektavimo apibrėžimas ir taikymo sritis grindžiami būvio ciklo sistema. Ekologinis projektavimas laikomas pagrindine tvarumo kūrimo veikla, susiejant mažos įtakos medžiagų parinkimą, medžiagų vartojimo sumažinimą, gamybos metodų ir paskirstymo sistemos optimizavimą, poveikį naudojimo metu, pradžios, vartojimo ir pabaigos (EoL) sistemų optimizavimą bei naujų koncepcijų kūrimą. Ekologinio projektavimo strategijos šiuo metu turėtų apimti naujos koncepcijos kūrimą, mažo poveikio

medžiagų parinkimą, medžiagų vartojimo mažinimą, gamybos metodų, paskirstymo sistemos, pirminio eksploatavimo, EoL sistemos optimizavimą bei poveikio mažinimą eksploatacijos metu. Tokie aspektai dominuoja ekologinio dizaino skatinimo srityje (Li ir kt. 2014). Žaliaisiais produktais vadinami tokie produktai, „kuriuos gaminant ir naudojant išteklių naudojami tausiai ir kurių žala aplinkai per visą jų būvio ciklą – pradedant žaliavų gavyba, produktų gamyba, platinimu, naudojimu ir baigiant ciklo pabaigos procesais (įskaitant pakartotinį naudojimą, perdirbimą ir šiluminės energijos gavybą iš atliekų) – yra mažesnė.“ (Europos komisija, Žalieji produktai, 2013) „Paprastai kuo daugiau medžiagų ribotoje sistemoje išmetama, tuo mažiau lieka aukštos kokybės medžiagų tinkamų naudoti ateityje“ (Kriščiūnas 2007, p. 203).

Vis dėl to, Li ir kt.(2017) teigia, kad svarbiausi yra trys aspektai: medžiagų pasirinkimas, technologinės naujovės gaminiuose ir galutinis produkto pašalinimas yra laikomi svarbiausiais ekologinio projektavimo aspektais, o trys ekologinio projektavimo elementai – tai naujos medžiagos, naujos technologijos ir teisės aktai. „Suprojektavus technologiją, kuri racionaliai naudoja medžiagas ir energiją, būtina atsivelti į jų regeneravimo ir pakartotinio naudojimo galimybes, kai gaminių vartojimo laikas pasibaigia“ (Kriščiūnas ir kt. 2007, p. 204).

Dažniausia autorių išskiriamos ekologinio projektavimo strategijos (Kriščiūnas ir kt. 2007; Varžinskas 2006)

1. Pasirinkti aplinkai mažiau kenkiančias medžiagas;
2. Vengti toksinių ar kenksmingų medžiagų;
3. Pasirinkti švaresnės gamybos procesus;
4. Didinti energijos ir vandens suvartojimo veiksmingumą;
5. Keisti dizainą, kad susidarytų mažiau atliekų.

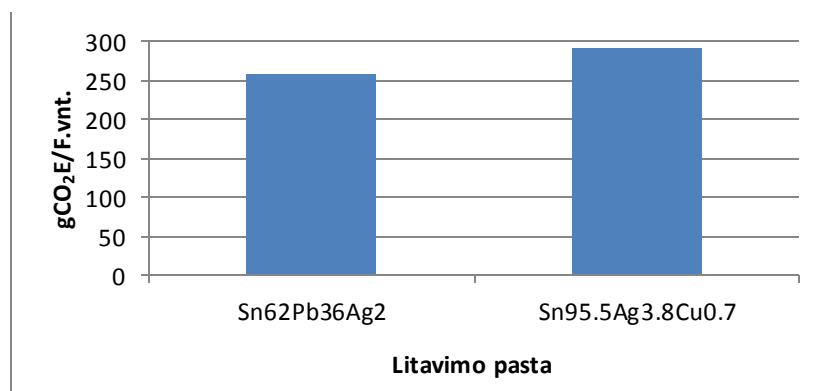
Atliekant gaminio ekologinį projektavimą labai svarbūs šie aplinkosauginiai aspektai(www.lrs.lt „Dėl Ekologinio projektavimo reikalavimų energiją vartojantiems gaminiams nustatymo sistemos ir jos įgyvendinimo priemonių taikymo techninio reglamento patvirtinimo“):

1. gaminio svoris ir tūris;
2. perdirbtų medžiagų naudojimas;
3. energijos, vandens ir kitų išteklių sąnaudos per būvio ciklą;
4. medžiagų, laikomų pavojingomis sveikatai ir (arba) aplinkai dėl tam tikrų pavojingų medžiagų naudojimo elektros ir elektronikos įrangoje apribojimo naudojimas;
5. vartojimo reikmenų, kurių reikia tinkamam naudojimui ir eksploatacijai, kiekis ir pobūdis;
6. patogumas pakartotinai naudoti ir perdirbti, reiškiamas naudojamų medžiagų ir sudedamųjų dalių skaičiumi, standartinių sudedamųjų dalių naudojimu, išardymo trukme, išardyti naudojamų įrankių sudėtingumu, sudedamųjų dalių ir medžiagų kodavimo standartų naudojimu siekiant nustatyti pakartotinai naudoti ir perdirbti tinkamas sudedamąsias dalis ir medžiagas (įskaitant plastikinių dalių žymėjimą pagal ISO), lengvai perdirbamų medžiagų naudojimu, lengvai prieinamomis vertingomis ir kitomis perdirbti tinkamomis sudedamosiomis dalimis ir medžiagomis, lengvai prieinamomis sudedamosiomis dalimis ir medžiagomis, turinčiomis pavojingų elementų;
7. naudotų sudedamųjų dalių įkomponavimas;

8. techninių sprendimų, trukdančių pakartotinai naudoti ir perdirbti sudedamąsias dalis ir visą prietaisą, vengimas;
9. funkcionavimo trukmės pailginimas, išreiškiamas trumpiausia garantuota funkcionavimo trukme, trumpiausiu atsarginių dalių įgijimo laiku, moduliškumu, patobulinimo galimybe, taisymo galimybe;
10. atliekų ir pavojingų atliekų susidarymo kiekiai;
11. išmetami (dujiniai) teršalai (šiltnamio efektą sukeliančių dujų, rūgštinančiųjų medžiagų, lakiųjų organinių junginių, ozono sluoksnį ardančių medžiagų, patvariųjų organinių teršalų, sunkiųjų metalų, smulkių kietųjų dalelių ir suspenduotų kietųjų dalelių), nepažeidžiant 1997 m. gruodžio 16 d. Europos Parlamento ir Tarybos direktyvos 97/68/EB, dėl valstybių narių įstatymų, susijusių su priemonėmis, mažinančiomis vidaus degimo variklių, įrengiamų ne kelių mobiliosiose mašinose, dujinių ir kietųjų dalelių teršalų kiekį, suderinimo;
12. su nuotekomis išleidžiami teršalai (sunkieji metalai, žalingą poveikį deguonies balansui turinčios medžiagos, patvarieji organiniai teršalai);
13. į gruntą išleidžiami teršalai (pirmiausia pavojingų medžiagų nuotėkiai ir išsiliejimai gaminių naudojimo fazėse ir dirvožemio išplovimo galimybė pašalinus šias medžiagas kaip atliekas).

1.6 Mokslinių tyrimų, susijusių su EEĮ ekologiniu projektavimu, apžvalga

Keletas mokslininkų atliko įvairius EEĮ medžiagų naudojamų jiems pagaminti BCV tyrimus, nustatė ir lygino poveikį aplinkai įvairiuose būvio ciklo etapuose bei siūlė ir vertino įvairias ekologinio projektavimo alternatyvas. Ekvall'as ir kt. (2006) atlikto tyrimo pagrindiniai tikslai yra parodyti ir palyginti BCV metodikas bei prisidėti prie aplinkosauginio įvertinimo, susijusio su visuotiniu perėjimu nuo bendros alavo ir švino litavimo pastos (sudėtis: 62% Sn, 36% Pb, 2% Ag) prie litavimo pastos, kurios sudėtyje nėra švino (sudėtis: 95,5% Sn, 3,8% Ag, 0,7% Cu).



21 pav. Poveikio aplinkai vertinimo rezultatai renkantis litavimo pastą su švinu ir be švino (Ekvall'as ir kt. 2006)

Po atlikto būvio ciklo vertinimo, rezultatai rodo, kad lydmetalio pasirinkimas be švino sudaro 10% didesnę poveikį (21 pav.) globalinio klimato atšilimo kategorijoje nei turinčiuose švino (SnPb). Naudojant

litavimo pastą be švino, bus daugiau sunaudojama daugiau išteklių, tokių kaip sidabras ir alvas(Andrae ir kt. 2007), o jų gamyba taip pat daro didelį poveikį aplinkai.

Muñoz ir kt. (2009) atliko žaislo su elektroninėmis sudedamosiomis dalimis būvio ciklo įvertinimą „nuo lopšio iki kapo“, siekiant nustatyti reikšmingus aplinkosaugos taškus ir pasiūlyti gamintojui darnesnio produkto alternatyvas. Tyrimo objektas yra meškiukas, kuris dainuoja dainas ir pasakoja istorijas, judindamas kūną, naudodamas įprastas šarmines baterijas kaip energijos šaltinį. Šis žaislas suprojektuotas Ispanijos kompanijos, bet gaminamas tik Kinijoje, iš kur jis yra eksportuojamas į Europą, Ameriką ir Afriką. BCV tyrimas apima visų Kinijoje sudedamųjų dalių gamybą, transportavimą, naudojimo etapą ir eksploatavimo pabaigą. BCV yra orientuotas į penkias standartines poveikio kategorijas pagal 2001 m. CML metodą. Gauti rezultatai rodo, kad naudojimo etapas yra potencialiai svarbiausias būvio ciklo etapas dėl akumulatoriaus gamybos poveikio. Priklausomai nuo poveikio kategorijos, jis yra atsakingas už 50-64% viso būvio ciklo poveikio. Žaislų gamyba taip pat yra svarbus etapas – sudaro nuo 28% iki 34% viso būvio ciklo poveikio. Atliekant tyrimą buvo pastebėti svarbūs duomenų trūkumai, ypač susiję su naudojimo etapu, nes trūko duomenų apie vartotojų elgseną, ir pagrindinių atsargų duomenų apie šarminių baterijų gamybą.

Hong ir kt.(2015) tyrė elektronikos atliekų būvio ciklo etapą. Pagrindiniai veiksniai, mažinantys bendrą e. atliekų perdirbimo poveikį aplinkai, yra optimizuoti energijos vartojimo efektyvumą, mažinti nuotekas ir kietųjų atliekų išekvojimą, didinti tinkamą e. atliekų apdorojimo kiekį, išvengti e. atliekų šalinimo sąvartynuose ir deginimo vietose ir aiškiai apibrėžti visas suinteresuotąsias šalis (pvz., gamintojus, mažmenininkus, perdirbimo įmonės ir vartotojus).Sistemos ribos – „nuo vartų iki vartų“. Šiame tyrime kaip funkcinis vienetas pasirinktas 1 tonos e. atliekų (t. y. kompiuterio ir televizoriaus) valdymas, siekiant pateikti kiekybinę nuorodą visoms kitoms susijusioms sąnaudoms ir rezultatams. Visi oro, vandens ir dirvožemio išmetimai, žaliavos ir energijos suvartojimas bei atliekų šalinimas priklauso nuo šio funkcinio vieneto. Šiame tyrime buvo lyginamas e. atliekų (su galutiniu šalinimu ir be jo)būvio ciklas. Siekiant padidinti tyrimo patikimumą, taip pat buvo atlikti jautrumo ir neapibrėžtumo tyrimai. Būvio ciklo aprašas, pagrindiniai veiksniai ir BCV poveikio aplinkai analizės rezultatai naudingi e. atliekų tvarkymo sprendimų priėmėjams. Pagrindinės išvados parodė, kad nors atliekų su galutiniu šalinimu scenarijaus poveikis klimato pokyčiams, gėlavandenių eutrofikacijai ir iškastinio kuro išmetimui yra žymiai didesnis nei atliekų be galutinio šalinimo scenarijus, bendras atliekų be galutinio šalinimo scenarijaus poveikis aplinkai yra gerokai didesnis nei atliekų su galutiniu šalinimu scenarijus. Atliekų apdorojimo kiekių mažinimas yra veiksmingi būdai, kaip sumažinti bendrą aplinkosaugos našą. Palyginus su atliekų su galutiniu šalinimu scenarijumi, atliekų šalinimas yra netinkamas deginimo ir sąvartyno technologijoms, nes e. atliekos gali gaminti daug svarbių mineralinių išteklių. Tačiau šių mineralinių išteklių atkūrimo nauda aplinkai nėra aiški. Todėl reikia atlikti tolesnius tyrimus šiuo klausimu.

P. Andrijauskas (2017) atliko elektronikos industrijos – išmaniųjų telefonų medžiagųinventorinė analizė. Sistemos ribos – išmaniųjų telefoną sudarančios dalys – korpusas, spausdintinė plokštė, LCD ekranas. Funkcinis vienetas – 1 išmanusis telefonas. Šioje inventorinėje analizėje apžvelgiamos energijos sąnaudos ir metalų kiekis, taip pat ir retųjų.

V. Varžinsko ir kt. (2008) atliktas elektroninio trijų fazių skaitiklio BCV. Būvio ciklas aprėpia 30 metų laikotarpį.Funkcinis vienetas – vienas elektros energijos skaitiklis EMS. Skaitiklio būvio ciklas vertinamas jo

gamybos, naudojimo ir šalinimo fazėse. Gautos išvados, jog didžiausią neigiamą poveikį aplinkai daro energijos naudojimas, naudojimo fazėje. Didžiausią poveikį aplinkai gamybos metu daro skaitiklio skydelis, t.y. plieno gamyba ir jo cinkavimas, skaitiklio korpusas, t.y. PC granuliu gamyba ir liejimas, metalinės tvirtinimo detalės: plombos, varžtai, elektroniniai komponentai (kondensatoriai, mikroschemos, varžos), litavimas, naudojant lydmetali su švinu. Pritaikius ekologinio projektavimo metodus, išanalizavus daromą poveikį aplinkai gauti rezultatai: sumažinus skaitiklio korpusą, sunaudojamų medžiagų sumažėja 20 %, atsisakius plieninio skaitiklio ekrano poveikis aplinkai sumažėja 100 %, atsisakius 3 m laidų poveikis aplinkai sumažėja 90 %, naudojant bešvinį lydmetali ir komponentus poveikis aplinkai sumažėja 8 %, atsisakius metalinių tvirtinimo detalių poveikis aplinkai sumažėja 20 % (Varžinskas ir kt. 2008).

Elduque ir kt. (2014) išanalizavo poveikį aplinkai, kurį sukelia SMP viryklėje su 4 indukciniiais degikliais. Svarbiausias poveikis aplinkai kiekvienoje kategorijoje buvo nustatytas naudojimo etape. Šiame tyrime analizuojamos dabartinės kartos indukcinės viryklės, sukurtos ir surinktos Ispanijoje. BCV, apibrėžiantis funkcinį bloką kaip elektroninės plokštės, naudojamos indukcinėje viryklėje su 4 kaitvietėmis ir 7,2 kW nominalios galios. BCV modeliui sukurti naudojama programinė įranga buvo SimaPro 7.3.3, naudojant dvi duomenų bazines Ecoinvent v2.2 ir Chalmers CPM duomenų bazę. Nustatyta, kad SMP sukuria svarbiausią poveikį kiekvienoje vertintoje poveikio aplinkai kategorijoje. Nagrinėjant pavienius EEI komponentus, reikšmingą poveikį aplinkai sukelia žiedinės šerdies induktoriai, diodai ir kondensatoriai. Žiedinės šerdies induktoriai yra sunkaus svorio komponentai, kurių vienetas sveria iki 105 g. Poveikį aplinkai daugiausia lemia gamybos etapas, ypač vario naudojimas.

Vienas iš aktualiausių EEI komponentų aplinkos poveikio atžvilgiu yra SMP. SMP gamyba reikalauja daug energijos ir įvairių vertingų žaliavų išteklių. SMP atliekos laikomos sunkiausiais perdirbamomis dėl sudėtingų jų struktūrų ir medžiagų. SMP perdirbimo procesas gali būti suskirstytas į du tipus pagal naudojamų medžiagų regeneravimo procesą:

1. terminis apdorojimas: tai apima pirolizę ir metalurgijos metodą;
2. neterminis apdorojimas: tai apima išardymą, smulkinimą, atskyrimą ir cheminį apdorojimą.

Neterminių procesų produktai paprastai yra atliekami cheminiais būdais. Didžiausia problema, susijusi su SMP perdirbimu, yra susijusi su jo sudėtinga struktūra ir medžiagų sudėtimi (Hischer'is ir kt. 2007).

Kaip alternatyva organinei SMP artimiausioje ateityje laikoma popieriaus elektronika viena iš labiausiai įdomių technologijų dėl tvarumo, mažų sąnaudų bei mechaninio lankstumo (Liu ir kt. 2014). Nors buvo atlikta nemažai tyrimų apie šią technologiją, nėra jokio kiekybinio tyrimo, kaip popieriaus elektronika sumažintų poveikį aplinkai (Liu ir kt. 2014). Atliktas BCV tyrimas, siekiant kiekybiškai įvertinti popierinės spausdintinės plokštės poveikį aplinkai (rūgštėjimo, klimato atšilimo, toksiško žmogui, ozono sluoksnio mažėjimo potencialu), kurio rezultatai rodo, kad popierinė spausdintinė plokštė daro maždaug du kartus mažesnę poveikį aplinkai nei O-SMP. P-SMP žaliavos yra paprastos ir aplinką tausojančios, iš kurių daugiau kaip 80% yra celiuliozės popierius, o aplinkai kenksmingos medžiagos sudaro tik mažiau kaip 5%. Priešingai, O-SMP turi daugiau retųjų elementų, kenksmingų medžiagų, tokių kaip epoksidinė derva, stiklo pluoštas ir vario folija. Dėl vario kasybos ir perdirbimo procesų, dėl energijos suvartojimo ir išmetamųjų teršalų (išmetamųjų dujų, tokių kaip CO₂, SO₂, NO₂ ir nuotekų) vario naudojimas SMP labiausiai prisideda prie rūgštėjimo potencialo (45%),

eutrofikacijos potencialo (64%), ekotoksiškumo gėlo vandens telkiniams (90%), toksiško žmoniems (84%), toksiško ekosistemoms (85 %) ir fotocheminio ozono susidarymo potencialo (38 %). O-PCB atliekų tvarkymas yra labiau palankesnis aplinkai. Tačiau dabartinė technologija ir esamos charakteristikos gali patenkinti tik mažo tankio ir žemo dažnio elektronikos poreikius (Liu ir kt. 2014).

Chalmerso technologijos universiteto tyrimas rodo, kad yra galimų technologinių sprendimų, kurie gali pakeisti daugelį metalų anglies nanomedžiagomis, pvz., grafitu. Jis gali būti naudojamas beveik visoje elektroninėje įrangoje ir daugelyje plastikų. Visuomenė labai priklausoma nuo retųjų metalų, ir ši priklausomybė turi daugybę trūkumų. Reti metalai, tokie kaip alavas, sidabras, volframas ir indis, yra sunkiai išgaunami, nes naudingos jų koncentracijos yra labai mažos. Aplinkos sistemų analizės Chalmerso technologijos universiteto mokslininkai Rickard Arvidsson'as ir Björn Sandén'as (2017) tyrė alternatyvų sprendimą: pakeisti anglies trūkstamus metalus nanomedžiagomis. Šios medžiagos, geriausiai žinomos kaip grafenas, yra stiprios medžiagos, turinčios gerą laidumą, panašų į ribotus metalus. Jau dabar rasti galimi technologiniai sprendimai, kurie pakeistų tokius metalus, kaip indis, gali, berilį ir sidabrą anglies nanomedžiagomis (Arvidsson'as ir kt. 2017).

„Žaliavos daro poveikį aplinkai jas išgaunant, apdorojant, transportuojant ir galiausiai gaminių gamybos metu“ (Staniškis ir kt. 2005 p. 66). Vienas iš keliamų projektuotojams tikslų yra projektuoti taip, kad „gamybai [...] būtų sunaudota kuo mažiau medžiagų“ (Kriščiūnas ir kt. 2007, p. 255). „Darnesnės technologijos suprantamos kaip praktinių[...] poreikių tenkinimas, naudojant kiek galima mažiau medžiagų ir energijos“ (Kriščiūnas K. ir kt. 2007, p. 203). Medžiagas, mažiau kenkiančias aplinkai, Kriščiūnas ir kt.(2007) siūlo vertinti pagal kelis kriterijus: išgavimą, apdorojimo metodus, priemaišas, energijos efektyvumą, ilgaamžiškumą ir perdirbamumą.

1.7 Elektronikos komponentai valdiklyje: jų gamyba ir poveikis aplinkai

Valdikliuose naudojama daug skirtingų elektronikos komponentų, kuriuos sudaro medžiagų rūšių įvairovė. Dauguma jų išgaunama iš neatsinaujinančių gamtinių išteklių. Išteklių vertės atkūrimas iš šio srauto kelia nemažus sunkumus identifikuojant ir atgaunant medžiagas, tai reikalauja naujų eko-inžinerinių technologijų kartu su gyvavimo ciklo įvertinimu ir ekologinės tiekimo grandinės analize, siekiant kokybiško medžiagų atgavimo.

Valdymo blokas – tai blokas mechanizmui, aparatui, įrenginiui, įtaisui ar pan. valdyti (Kaulakienė ir kt., 2014). Pagrindiniai valdymo bloko komponentai: elektroninės dalys, dažniausia sumontuotos ant SMP; vidiniai bei išoriniai kabeliai ir korpusas (*Eco Invent* 2007).

Elektronikos komponentai skirstomi į aktyviusius ir pasyviuosius. Aktyvieji komponentai: tranzistoriai, diodai. Pasyvieji komponentai: kondensatoriai, indikatoriai, rezistoriai, transformatoriai, jungtys. Visų šių skirtingų komponentų gamybai reikalinga tinkamos technologijos, infrastruktūra, bei ideali švara (*Eco Invent* 2007). Remiantis Suyang ir kt. 2010 atliktu elektronikos kontrolės sekcijos būvio ciklo vertinimu, didžiausią šalutinį poveikį aplinkai gamybos etape daro integruoto grandyno ir SMP gamybos procesai. Remiantis ankstesniais tyrimais, didžiausia rūgštėjimo problema iškyla dėl sidabro gamybos procesų

integriniais grandynais ir SMP (Suyang'as 2010). Duomenų bazėse naudojami paladžio inventorizacijos duomenys, bet jie yra patikimi dėl to, kad paladžio savybės labai panašios į sidabro (Suyang'as 2010). Norint sumažinti poveikį aplinkai dėl rūgštėjimo reikėtų vengti gaminti aukso vielą, mažiau naudoti arba visai nenaudoti sidabro elektronikos valdymo bloke, o siekiant sumažinti eutrofikacijos poveikį, reikia spausdintinėse plokštėse sumažinti vario ir aliuminio lydinio gamybą ir naudojimą (Suyang'as 2010). SMP gaminti naudojamas stiklo pluoštas. Stiklo pluoštu sustiprinto polimero kompozitai, paprastai vadinami stiklo pluoštu, nes jų vidutinis stiklo kiekis yra 20–60% (*FlexForm Technologies* 2013). Tačiau šį pluoštą galima pakeisti aplinkai draugiškesniu natūraliu pluošto kompozitu. „Natūralaus pluošto kompozitai yra gaminami iš natūralių pluoštų, tokių kaip kenafas, kanapės, linas, džiuatas ir sizalas, ir termoplastinių polimerų, tokių kaip polipropilenas ir poliesteriai, mišinys (*FlexForm Technologies* 2013).

SMP turi polichlorintus ir polibromintus bifenilus, kurie sudagina dioksiną (Hischer'as ir kt. *e-waste2007*). Tie patys autoriai teigia, kad spausdintinės plokštės gamybai 1980 m. buvo naudojama 11 elementų, 1990 m. – apie 15, o 2000 m. elementų skaičius padidėjo net iki 60.

Kai kurių medžiagų kritiškumas, apibrėžtas Europos Sąjungos žaliavų iniciatyvoje, yra svarbus elektros ir elektroninės įrangos pramonei 2 perspektyvose: viena vertus, nustatyti metalai yra būtini naujoms technologijoms kurti; kita vertus, galimas pavojus susidurti su šių medžiagų tiekimo trūkumu, o tai gali turėti neigiamos įtakos EEĮ pramonei (Gurauskienė 2016).

Elektronikos įrenginių sudedamosiose dalyse yra šių svarbių ir kritinių elementų:

1. SMP sudėtyje - Ag, Au, Pd, Be;
2. rezistoriuose - Ge, Au, Pd, Ru;
3. laiduose - W, Be, Au;
4. integruotose grandinėse - Co, In, Ag, Te, Be, Ga, Ge, Au, Pd, (Bakas ir kt. 2014)

Spausdintinė montažo plokštė (SMP) ir jos komponentai

SMP, tai plokštė, kurioje yra elektroniniams elementams montuoti reikalingos skylutės ir elektrinės grandinės laidieji takeliai (Kaulakienė ir kt., 2014). SMP yra neatskiriama bet kurios elektroninės įrangos dalis, nes ji elektriškai sujungia ir mechaniškai palaiko kitus elektroninius komponentus (Ghosh'as 2015) Pagrindinė SMP struktūra yra padengtas variu padengtas laminatas, sudarytas iš stiklo armuotų epoksidinių dervų ir keleto metalinių medžiagų (Ghosh'as 2015), įskaitant tauriuosius metalus. Be to, SMP taip pat yra įvairių pavojingų elementų, įskaitant sunkiuosius metalus, antipirenus, kurie kelia rimtą pavojų ekosistemai per įprastą atliekų šalinimą sąvartyne ir deginant (Ghosh'as 2015). SMP montuojami induktoriai, rezistoriai, kondensatoriai, jutikliai, diodai, jungtys, tranzistoriai, transformatoriai ir integriniai grandynai.

Dalis laidaus sluoksnio pašalinama, tuo būdu suformuojant elektrai laidžių takelių tinklą. Prie šių takelių tvirtinamos - lituojamos detalės. Skylės, reikalingos elektroninių komponentų gamybai yra išgręžiamos per plokštę. Joje daugiausia yra vario, stiklo pluošto, epoksidinės dervos ir net sidabro arba aukso. Sumontavus detales, plokštė dengiama izoliaciniu apsauginiu sluoksniu. Prie varinių takelių detales iš karto lituoti gana sunku, todėl pagaminta plokštė dengiama arba plonu lydmetaliu sluoksniu arba kai kada net ir sidabru ar auksu.

Puslaidininkiniai įtaisai

Puslaidininkinis įtaisas, tai įtaisas, kurio pagrindines savybes lemia krūvininkų judėjimas puslaidininkio viduje (Kaulakienė ir kt. 2014). Puslaidininkinius įtaisus sudaro – diodai, dvizoliai tranzistoriai, tiristoriai, integriniai grandymai, mikrobangų puslaidininkiniai įtaisai (Štaras 2009). Puslaidininkių gamybai yra naudojama labai daug išteklių ir išmetama daugybė teršalų, iš kurių kai kurie iš jų turi visuotinį poveikį (Boyd 2011). Puslaidininkių gamyboje naudojami procesai išskiria kelias pagrindines teršalų klases, įskaitant pasaulioklimato kaitos emisijas (pvz., CF₄, NF₃, C₄F₈), ozoną formuojančias lakias organines medžiagas (pvz. izopropilo alkoholi, formaldehidą), pavojingus teršalus (pvz. arseną, fluorą) ir degias medžiagas (pvz. silanas, fosfinas) (Boyd 2011). Puslaidininkių gamybos įrenginiai taip pat sunaudoja didelius vandens ir energijos kiekius, o gamyboje naudojami didelio grynumo chemikalai yra labai rafinuoti ir todėl turi didelę „įkūnytąją energiją“ (Boyd 2011). Puslaidininkio lusto eksploatacijos pabaiga sukelia švino emisijas, jei lydmetaliu sudėtyje yra švino (Boyd 2011). Nors daugelis puslaidininkių yra klasifikuojami kaip biologiškai neskaidūs, tačiau egzistuoja kelios biologiškai skaidžios puslaidininkinės medžiagos ir naudojamos kaip elektros komponentai.

Tranzistorių gamyba

Tranzistorius, tai puslaidininkinis įtaisas, turintis tris elektrodus ir skirtas elektriniams virpesiams generuoti, valdyti ir stiprinti (Kaulakienė ir kt. 2014). Jie yra visur elektroninių prietaisų visuminiai elementai: kiekvienoje mikroschemoje yra milijardai jų. Tačiau, kadangi lustai tampa mažesni ir mažesni, dabartiniai 3D lauko elektroniniai tranzistoriai pasiekia savo efektyvumo ribą. Mokslinių tyrimų komanda dirbtinių mažo matmenų elektroninių sistemų centre, esančio Pagrindinių mokslo institute sukūrė pirmąją 2D elektroninę grandinę (FET), pagamintą iš vienos medžiagos. „Gamtos nanotechnologijos“ tyrimas rodo naują metodą metalui ir puslaidininkiu gaminti iš tos pačios medžiagos, kad būtų galima gaminti 2D lauko tranzistorius. (Sung ir kt, 2017).

Induktorių gamyba

Induktoriai yra dalis spausdintinės montažinės plokštės, kurie naudojami kartu su puslaidininkiais, kad atskirti reikiamus signalus nuo nereikiamų. Jie priklauso pasyviems komponentams. Šiame būvio cikle naudojami induktoriai droseliai. Jie gaminami iš cinko, nikelio, ferito šerdies ir varinės vielos. Taip pat naudojamas transportas pervežimui.

Paprastai, induktoriaus gamyba yra prasideda nuo šerdies montažo ir pritvirtinama epoksidine derva. Ultragariniu suvirinimu apvija prikabinama prie rėmelio. Vėliau atliekamas lenkimas ir liejimas, bei galutinis testavimas. Tada pakuojama ir pristatomas pirkėjams.

Rezistorių gamyba

Rezistorius, tai elementas, kurio varžą lemia atsitiktinis krūvininkų judėjimas ir jų skaičius (Kaulakienė A. ir kt. 2014). Rezistorius yra vienas iš labiausiai paplitusių naudojamų elektroninių komponentų, tai yra daugiausia naudojami riboti ir mažinti elektros srovę į elektroninę grandinę. Rezistorius yra pasyvus dvigubo terminalo elektrinis komponentas, sukeliantis elektros pasipriešinimą kaip grandinės elementas. Per rezistorių einanti

srovė yra tiesiogiai proporcinga per rezistoriaus terminalus sklindančiai įtampai. Šiuose rezistoriuose daugiausia yra šių žaliavų: lydmetalio, nikelio, aliuminio oksido dalis ir elektrodo (sidabro).

Kondensatorių gamyba

Kondensatorius, tai dviejų ar daugiau laidžių plokščių elektrodų, atskirtų dielektriku (įskaitant orą) sistema, skirta krūviui kaupti ir kintamajam signalui atskirti nuo nuolatinio (Kaulakienė A. ir kt., 2014). Kondensatoriai yra pasyvūs elektroniniai komponentai. Daugiausia juose yra nailono, aliuminio, elektrodo, alavo, vario ir polimero. Šiame būvio cikle naudojami 4 rūšių kondensatoriai: elektrolitiniai maži, mažiau nei 2 cm, elektrolitiniai dideli, didesni nei 2 cm, filmo tipo ir paviršinio montavimo.

Kondensatorius geba kaupti ir išlaikyti elektros krūvį. Kondensatoriai veikia kaip mažos talpos baterijos, įsikrauna, o reikiamu momentu išsikrauna.

Diodų gamyba

Diodas – elektronikos įtaisas, paprastai skirtas praleisti srovę viena kryptimi. Naudojamas kintamai srovei lyginti, moduluoti virpesiams detektuoti, virpesių grandinėms derinti, dažniams keisti, virpesiams generuoti, elektrinėms grandinėms perjungti ir kt. (Kaulakienė ir kt., 2014). Paprastai naudojami 2 tipų diodai: paviršiuje montuojami ir montuojami per kiaurymę. Abiejų rūšių diodams pagaminti naudojamos panašios medžiagos. Pagrindinės medžiagos naudojamos diodų gamyboje yra aliuminio oksidas, varis, nikelis, ketus, silicis, švinas.

Diodų gamyba prasideda nuo plokštelių išpjovimo. Po to klijuojami ir lituojami silicio antgaliai. Po to liejami ir formuojami, testuojami ir žymimi.

Lydmetalio naudojimas

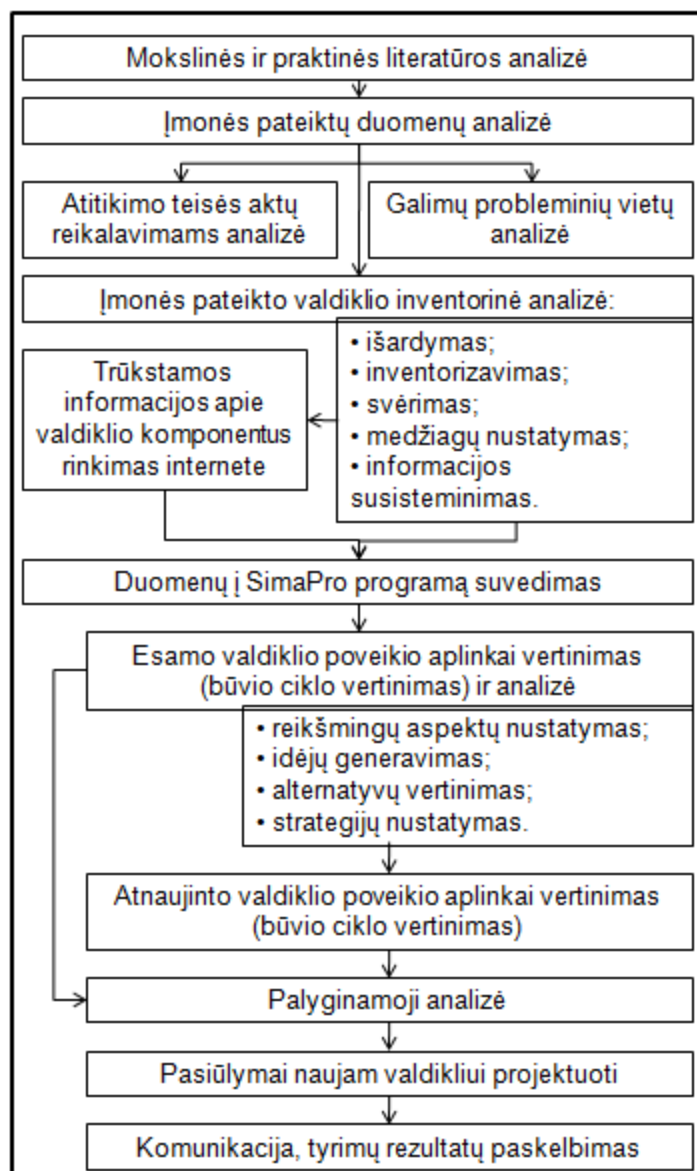
Lydmetalių pastos naudojamos elektronikos gaminiuose, siekiant užtikrinti elektros jungčių sujungimą tarp elektros komponentų ir SMP. Prieš keletą dešimtmečių alavo-švino lydmetalis buvo plačiai naudojamas, kad sunkieji metalai spausdintinėse plokštėse patekdavo į aplinką, kai būvio ciklo pabaigoje buvo neteisingai tvarkomos (Li ir kt. 2017). Remiantis RoHs direktyva, lig šiol naudoti lydmetaliai, kurių sudėtyje yra švino, turi būti pašalinti iš gamybos procesų. Tačiau ES nenustatė tam vienareikšmiškos alternatyvos. Prieš dešimtį metų, siekiant išspręsti galimą riziką tiek aplinkai, tiek žmonių sveikatai, buvo sukurtos dvi alternatyvos: bešviniai lydiniai ir elektrai laidūs klijai (Li ir kt. 2017). ROHS direktyva numato išimti naudoti šviną aukštos lydymosi temperatūros lydmetaliuose (>85% švino), tačiau švinas yra pavojinga medžiaga, daranti didelę žalą aplinkai ir žmonių sveikatai. Populiariausias bešvinis lydinys, galintis pakeisti švino lydmetalius, yra lydinys alavo, vario ir sidabro pagrindu. Tačiau jis pasižymi aukštesne lydymosi temperatūra. Siekiant visiškai patenkinti RoHS reikalavimus, būtina ne tik apriboti Direktyvos uždraustas medžiagas, bet ir pritaikyti elementus bešvino litavimo procesams arba pasiekti, kad patys elementai taptų atsparesni aukštesnei litavimo temperatūrai. Deja, lydmetaliai, kurių sudėtyje nėra švino, lydosi maždaug 40°C aukštesnėje temperatūroje nei švininiai. Dėl to pailgėja litavimo trukmė ir tai turi neigiamos įtakos susidariusio litavimo taško kokybei. Galima alternatyva šiuo

atveju gali būti elektrai laidūs klijai, tačiau esamu metu jie nėra plačiai naudojami (Li ir kt. 2017). Lydmetalio be švino yra alavo bazės lydmetalis, į kurį neįeina švino elementas kaip pagrindinė medžiaga. Alavo-švino (Sn-Pb) lydmetalio charakteristikos naudojamos kaip etalonas bešviniam lydmetaliumi, kuris paprastai yra naudojamas elektronikos industrijoje montavimui. Sn ir Pb yra 14 elementų grupės periodinėje lentelėje; ši grupė rodo didėjančią metalo charakteristiką, kai patenka į žemesnę grupę. Todėl Sn-Pb lydmetalio pasta gali efektyviai užtikrinti gerą ryšį su mažo lydymosi temperatūros elektroninėmis sąrankomis. Deja, visame pasaulyje taikomi aplinkos apsaugos įstatymai uždraudė naudoti Pb lydmetaluose, nes juose yra labai toksiškų savybių, keliančių rimtą grėsmę ekosistemai. Taigi, alavo pagrindu pagaminto švino neturinčių liejinių naudojimas buvo įtvirtintas elektronikos gamyboje kaip produktų inovacija. Ypač alavo-sidabro-vario (Sn-Ag-Cu (SAC)) lydmetalio mišinys parenkamas kaip tinkamas Sn-Pb lydmetalio pakaitalas. Sn-Pb lydmetalio šiluminės, mechaninės ir elektrinės savybės tampa pagrindu naujai sukurtiems lydmetaliams be švino. Kadangi Sn-Pb užtikrina geras mechanines savybes, lyginant su bešvinių lydmetalių pastomis, mokslininkai vienodai sustiprino mikro daleles (tokias kaip Co, Cu, Ag, Ni ir Sb) į nematomą matricą, kad sudarytų kompozitinį litavimą, kuris gali padidinti litavimo jungčių patikimumą (Chellvarajoo ir kt., 2015).

„Elektrai laidūs klijai yra natūralios elektronikos jungiamosios medžiagos, susidedančios iš dviejų komponentų: rišiklių ir užpildų.“ (Li et al, 2017) „Todėl metalinių dalelių pakeitimas anglies nanovamzdeliais laidžiosios klijų kompozicijose gali būti naudingas, nes medžiaga yra be švino, atspari korozijai, elektrai ir (arba) termiškai laidi, lengva, kurios technologinė temperatūra yra žema ir kurios mechaninis stipris yra aukštas. Šiuo metu anglis yra viena iš labiausiai geologiškai gausių elementų. Anglies nanovamzdeliai laikomi puikiais kandidatais, kurie ateityje bus naudojami kaip jungtys elektroninėse grandinėse dėl jų išsiskiriančių elektrinių savybių, tokių kaip didelis laidumas ir išskirtinis stabilumas“ (Li ir kt. 2017). Litavimo pasta į kurią įeina Ag geriausia nei bet kuri kita bešvinė alternatyva (Anders 2011). Visi bešviniai lydmetaliai turi aukštesnę alavo (Sn) koncentraciją nei švino bazė.

2. FOTOVOLTINĖS VANDENS ŠILDYMO SISTEMOS VALDIKLIO EKOLOGINIO PROJEKTAVIMO METODIKA

Šiame darbe vykdomas fotovoltinės vandens šildymo sistemos valdiklio ekologinis projektavimas, t. y. atliekami esamo gaminio - valdiklio ekologinio projektavimo tyrimai siekiant patbulinti ir atnaujinti gaminį, sumažinti jo neigiamą poveikį aplinkai per visą būvio ciklą.



22 pav. Fotovoltinės vandens šildymo sistemos valdiklio ekologinio projektavimo etapai ir naudojama metodika

Ekologinio projektavimo kiekybinis vertinimo pagrindas yra būvio ciklo analizė, tai yra esamo ir atnaujinto gaminio poveikio aplinkai vertinimas bei palyginimas apimant visus gaminio būvio ciklus nuo žaliavų išgavimo iki atliekų galutinio panaudojimo. Kiti svarbūs ekologinio projektavimo etapai yra: reikšmingų aplinkosauginių aspektų nustatymas, idėjų generavimas, alternatyvų vertinimas, ekologinio projektavimo strategijų pasirinkimas. Apibendrinta darbų schema bei tyrimo tikslui ir uždaviniams pasiekti naudojama metodika pateikta 22 pav.

2.1 Būvio ciklo vertinimo metodika

BCV yra vienas iš aplinkos vadybos metodų, taikomų su gaminiais ar paslaugomis susijusių aplinkos aspektų ir potencialių poveikių identifikavimui ir įvertinimui. Būvio ciklo požiūris suteikia galimybę išnagrinėti gaminio poveikį aplinkai nuo jo fizinio atsiradimo iki išnykimo (LST EN ISO 14040:2007). BCV leidžia palyginti gaminius pagal poveikį aplinkai ir spręsti, kuriose gaminio būvio ciklo stadijose gaminys labiausiai veikia aplinką. Į BCV vertinimo rezultatus dažniausiai žiūrima kaip į palyginamuosius, o ne absoliutinius, todėl jis tinkamesnis vidiniam vertinimui ir produktų tobulinimui. Tarptautinė standartizacijos organizacija (ISO) apibendrinę sukaupią patirtį ir parengė tarptautinius standartus, kurie buvo nuolat atnaujinami. Šiuo metu galioja du pagrindiniai standartai, kurie buvo patvirtinti ir Lietuvoje.

- LST EN ISO 14040:2007. Aplinkos vadyba. Būvio ciklo įvertinimas. Principai ir sandara (ISO 14040:2006).

- LST EN ISO 14044:2007. Aplinkos vadyba. Būvio ciklo įvertinimas: Reikalavimai ir nurodymai (ISO 14044:2006).

ISO apibūdina BVC kaip „su gaminiu siejamų aplinkos aspektų ir potencialių poveikių vertinimo metodą, kuriuo:

- kaupiami atitinkamų gaminių sistemos įvedinių ir išvedinių inventoriniai duomenys;
- vertinami su šiais įvediniais ir išvediniais susiję poveikiai aplinkai;
- interpretuojami inventorinės analizės ir poveikio vertinimo tarpinių rezultatų, atsižvelgiant į tyrimo tikslus”.

Būvio ciklo vertinimo struktūra ir pagrindiniai keturi etapai yra standartiniai, pateikiami ISO 14040 standarte (23 pv.).

Tyrimo tikslų ir apimties apibrėžimas

Suformuluojamas analizės tikslas ir prielaidos, apimtis, kuriais remiamasi atliekant tolimesnį vertinimą. Pagal iškeltus tikslus BCV galima suskirstyti į dvi stambias grupes:

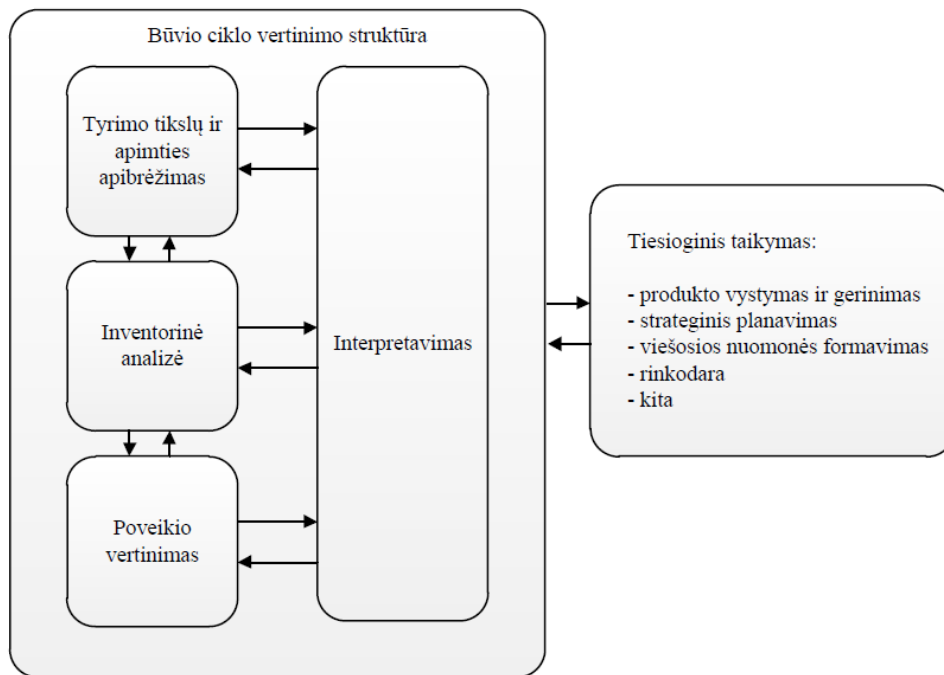
1. Tobulinimų tyrimai, kuriais siekiama nustatyti galimybes sumažinti esamos sistemos ar proceso daromą poveikį aplinkai;

2. Palyginamieji tyrimai, kurių tikslas iš pasirinktų alternatyvų atrinkti geriausią gaminį ar procesą.

Tyrimas priskiriamas prie tobulinimų tyrimų.

Apibrėžiant BCV tyrimo tikslus ir apimtį, ISO 14040 reikalauja išnagrinėti ir aiškiai aprašyti šiuos aspektus:

1. Gaminio sistemą: funkcijas, ribas;
2. Funkcinį vienetą;
3. Poveikių kategorijas, poveikio vertinimo metodus ir interpretavimo būdus;
4. Duomenų tipų kokybę, prielaidas ir trūkumus.



23 pav. Būvio ciklo vertinimo etapai (LST EN ISO 14040:2007)

Gaminio sistema, tiriamo būvio ciklo ribos

Atliekant būvio ciklo vertinimą, gaminys nagrinėjamas ne kaip atskiras fizinis objektas, o kaip sistema, veikianti pagal tam tikrą modelį. Gaminio sistema ISO 14040 standarte apibrėžiama kaip „medžiagų ir energijos požiūriu sujungtų vienetinių procesų visuma, vykdanči vieną ar daugiau apibrėžtų funkcijų“. Gaminio sistema aprašoma taikant procesų technologinę schemą, kurioje būtų parodyti vieniniai procesai ir jų tarpusavio ryšiai. Gaminio sistemos skirstymas į ją sudarančius procesus lengvina sistemos įvedinių ir išvedinių identifikavimą.

Kadangi gaminio sistema yra fizikinė, kiekvienas procesas vyksta pagal masės ir energijos tvermės dėsnius. Dėl šios priežasties gaminio sistemai aprašyti naudojamas masės ir energijos balanso metodas. Vėliau gaminio sistema analizuojama modeliuojant.

Gaminio sistema be apribojimų gali išaugti iki nepaprasto masto, todėl gali tapti keblu efektyviai rinkti bei analizuoti duomenis, taigi būtina apibrėžti sistemos ribas. Kita vertus, sistema neturi būti pernelyg siaura, kad nebūtų praleistos būvio ciklo stadijos ar procesai, darantys nemažą poveikį aplinkai.

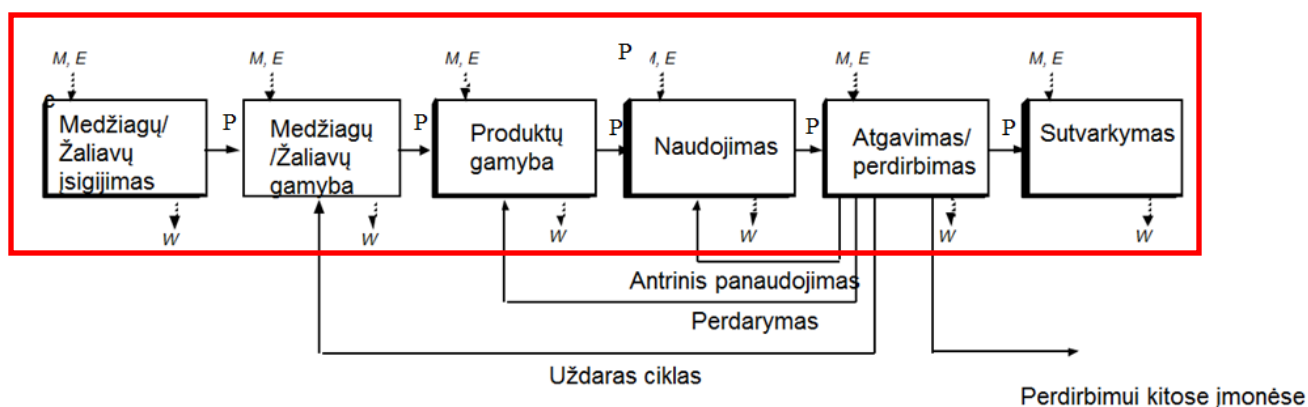
Šiame tyrime pasirinktas objektas yra fotovoltinės vandens šildymo sistemos valdiklis. FVŠS valdiklis yra alternatyvus ir taupus vandens šildymo būdas, kurio metu naudojama fotovoltinių modulių generuojama saulės energija. Jis yra gaminamas įmonėje, kuri specializuojasi saulės fotoelektrinių bei kolektorinių sistemų projektavime, montuoja saulės elektrines, įrengia sistemas karšto vandens tiekimui, prižiūri jas garantinio laikotarpio metu.

Pilną vandens šildymo sistemą sudaro saulės baterijos, valdiklis ir namų ūkyje esantis elektrinis boileris. Valdiklis jungiamas faktiškai prie visų namų ūkio reikmėms naudojamų elektrinių boilerių. Prietaisas prie boilerio jungiamas tiesiogiai, nekeičiant jau esamos elektros instaliacijos. Minimalus sistemos sudėtinių dalių skaičius užtikrina sistemos bendrą patikimumą ir darbo efektyvumą, kuris gali siekti iki 99 %. Tai įgalina

maksimaliai sumažinti išlaidas vandens šildymui. Naudojant šią sistemą sutaupoma iki 70 % išlaidų vandeniui pašildyti.

Tobulinimų tyrimais įmonė siekia nustatyti galimybes sumažinti esamo gaminio daromą poveikį aplinkai, t. t. įvertinti esamo valdiklio poveikį aplinkai būvio cikle, nustatyti problemines būvio ciklo vietas poveikio aplinkai atžvilgiu ir atnaujinti gaminį, kurio poveikis aplinkai būtų žymiai mažesnis.

Šiame darbe vertinamas tik pats fotovoltinis vandens šildymo valdiklis su temperatūros jutikliu, termostatu, DC jungikliu, bet neįtraukiant PV modulių jungčių. Vertinamos būvio ciklo ribos nuo žaliavų išgavimo iki atliekų sutvarkymo (24 pav.). Transportavimas yra įskaičiuotas Ecoinvent duomenų bazėje, pasirenkant pasaulinę rinką.



M, E = Medžiagų ir energijos naudojimas gamybos procesuose ir paskirstyme, platinime
P = Produktas
W = Atliekos (dujinės, skystos, kietos) gaminant produktus, procesuose, ar skirstant, platinant

24 pav. Įvediniai ir išvediniai būvio ciklo etapuose bei būvio ciklo vertinimo ribos

Funkcinis vienetas. Funkcinio vieneto apibrėžimas – tai svarbus BCV tyrimo uždavinys. Funkcinis vienetas – bet koks gaminio (paslaugos) funkcijos matavimo vienetas ir jo kiekis. Funkcinis vienetas yra atskaitos taškas, su kuriuo matematiškai susiejami gaminio sistemos įvediniai ir išvediniai.

Analizuojamo valdiklio funkcija yra reguliuoti vandens pašildymą. Jo gyvavimo laikas iki 20 metų. Funkciniu vienetu šiame darbe laikomas valdiklis (1 vienetas, sveriantis 1,54 kg; 230x210x80 mm matmenų), kuris per 20 gyvavimo metų darbui sunaudoja 56 kWh.

Kai gaminio funkcija apibrėžta, reikia kiekybiškai išreikšti funkcijai vykdyti reikalingą gaminio kiekį, kuris vėliau tyrimų metu yra kaip atskaitos srautas, t.y. visa informacija, surinkta inventorinės analizės ir poveikio įvertinimo metu, bus išreiškiama naudojant funkcinį vienetą.

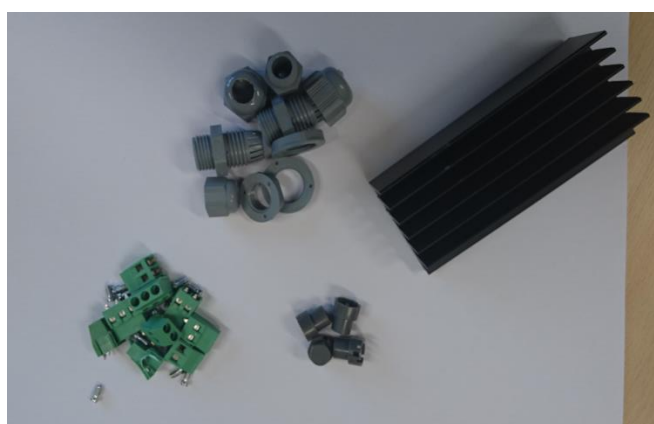
Inventorinė analizė

Inventorinės analizės metu atliekami medžiagų ir energijos apskaičiavimai, kurių metu visi duomenys (įvediniai/išvediniai) susiejami su funkciniu vienetu. Duomenų šaltiniai gali būti labai įvairūs: įmonės duomenys, tiesioginiai matavimai, teoriniai medžiagų ir energijos balansai, statistinių duomenų bazės ir literatūra. BCV vertinimo procese įvediniais laikomos medžiagos ir energija (M, E). Medžiagų sąnaudos sukelia atsinaujinančių ir neatsinaujinančių išteklių išekvojimą, prisideda prie atliekų susidarymo ir emisijų į atmosferą

padidėjimo. Būvio cikle susidarančius išvedinius apima pats produktas (P), tarpiniai ir šalutiniai produktai, emisijos į atmosferą, nuotekos, atliekos ir kiti teršalai (W) (24 pav.).

Daugiausia pastangų reikalaujantis uždavinys atliekant BCV yra duomenų rinkimas. Dažnai būvio ciklo įvertinimo tyrimų tikslumą riboja reikalingų duomenų prieinamumas ar jų kokybė.

Inventorizuojant medžiagų ir energijos srautus buvo naudojimąsi įmonės duotu valdikliu, duotais duomenimis (atskirų detalių techninėmis specifikacijomis) ir Ecoinvent duomenų baze Valdiklis buvo išardytas. Atskiros dalys pasvertos, gauta informacija susisteminta ir atskiros dalys sugrupuotos.



25 pav. Valdiklio sudedamosios dalys

Valdiklį sudaro tokios pagrindinės dalys (25 pav.):

- Korpusas
- Išoriniai ir vidiniai kabeliai bei laidai su priedais
- Mygtukai
- Radiatorius
- Įvairios jungtys
- Spausdinto montažo plokštė su įmontuotais elektronikos komponentais: -kondensatoriais, diodais, relėmis, induktoriais, rezistoriais ir kt. (žr. 1.7 skyrių).

Visi komponentai yra gaminami pas skirtingus gamintojus ir surenkami ant SMP plokštės Lietuvoje.

Atliekų fazėje pasibaigus valdiklio naudojimo laikui, valdiklis yra išardomas, tinkamos elektronikos detalės panaudojamos pakartotinai. Įvertinama, kad iš elektronikos atliekų galima atgauti šias kritines medžiagas (Gurauskienė ir kt. 2016):

Kritinė medžiaga	Perdirbimo grandinės efektyvumas, %
Ag	58 %
Co	90 %
Li	100 %
W	49 %
Au	58 %
Pd	58 %
Ru	49 %

Įvertinama, kurias valdiklio sudedamąsias dalis galima perdirbti ir duomenys sukelti į programą.

Poveikio vertinimas

Produktų poveikio aplinkai vertinimas dažniausiai atliekamas programine įranga bei duomenų bazėmis, kuriose sukaupti ir jau atliktų tyrimų duomenys. Šiam tyrimui buvo naudojamos Ecoinvent duomenų bazės ir specialiaja BCA kompiuterinė programa SimaPro 8. Programa sukurta olandų, mokslininkų, Pre-consultants.

Šiame etape analizuojamas ir palyginamas poveikis aplinkai, kurį sukelia ankstesnėje fazėje nustatytas medžiagų ir energijos poreikis. Paprastai inventorinėje analizėje išaiškinti srautai suklasifikuojami į tam tikras kategorijas (pvz., šiltnamio efektas, išteklių nykimas, ekotoksiškumas) ir apskaičiuojamas potencialus poveikis.

BCV poveikio vertinimą sudaro:

1. inventorinių duomenų priskyrimas poveikio kategorijoms (klasifikavimas);
2. poveikio kategorijos inventorinių duomenų modeliavimas (apibūdinimas);
3. galimas duomenų agregavimas labai specifiniais atvejais ir esant aiškiam tikslui (vertinimas taikant svorinius koeficientus).

Klasifikavimas. Klasifikuojant nustatomos poveikio aplinkai kategorijos ir kiekvienai jų priskiriami inventoriniai duomenys. Bendrąsias nagrinėjamas poveikių aplinkai kategorijas sudaro išteklių vartojimas, žmonių sveikata ir aplinkos apsaugos pasekmės. Šios trys pagrindinės kategorijos gali būti toliau skirstomos į grupes arba parametrus. Pavyzdžiui, aplinkos apsaugos pasekmių kategorijai priskiriami eutrofikacija, šiltnamio efektas, smogas, biologinės įvairovės mažėjimas ir kt.

Apibūdinimas. Apibūdinant klasifikavimo rezultatai kiekvienoje poveikio aplinkai kategorijoje yra kiekybiškai arba kokybiškai sujungiami pasitelkus modeliavimą. Pagrindinė šio etapo problema ta, kad kai kurie parametrai gali priklausyti kelioms poveikio aplinkai kategorijoms. Kiekybiškai parametrai dažniausiai sujungiami naudojant ekvivalentiškumo koeficientus. Pavyzdžiui, 1 kilogramas NO_x savo poveikiu aplinkai atitinka 1,43 kg CO₂.

Normalizacija ir vertinimas. Galiausiai BCV poveikio įvertinimo metu skirtingoms poveikių kategorijoms tarpusavio palyginimui gali būti suteikiami socialinėmis vertėmis pagrįsti svoriai, o pasitelkus svorinius koeficientus, poveikis gali būti sujungiamas ir į vieną aplinkos indeksą (indikatorių).

Poveikis aplinkai gali būti vertinamas ir pagal poveikio aplinkai kategorijas (midpoint) ir ir pasekmes ar padarinius t.y. žalos kategorijas (Endpoint) (Lemagnen, 2009).

Šiame tyrime poveikio aplinkai vertinimui buvo naudojami metodai:

IPCC GWP 100a – pasaulinis klimato šiltėjimo potencialas (*Intergovernmental Panel on Climate Change – Tarpvalstybinė klimato kaitos komisija*).

ReCiPe Midpoint(E) V1.11 – 18 poveikio aplinkai kategorijų, įskaitant ir klimato šiltėjimo potencialą (*RIVM, CML, PRé Consultants, Radboud Universiteit Nijmegen ir CE Delft*). Srautai konvertuojami į potencialų poveikį.

ReCiPe Endpoint (E) V1.11 – 17 poveikio aplinkai kategorijų ir 3 žalos kategorijos (*PRé Consultants, Radboud Universiteit Nijmegen and CE Delft*). Srautai konvertuojami į pasekmes ir padarinius.

ILCD 2011 Midpoint+ 16 poveikio aplinkai kategorijų įskaitant ir klimato šiltėjimo potencialą (*Europos komisijos, Joint Research Centre in 2012*).

3 lentelė. Poveikio aplinkai kategorijos vertinamos poveikio analizės (tarpinio vertinimo (angl. Midpoint) metu

Eil. Nr.	Poveikio aplinkai kategorija	Vienetas
	Klimato atšilimo potencialas (GWP)	kgCO ₂ eq
1.	Ozono sluoksnio retėjimas	kgCFC-11 eq
2.	Kancerogeninis poveikis	CTUh
3.	Toksiškumas žmogui (sunkieji metalai)	CTUh
4.	Kietosios dalelės	kg PM2.5 eq
5.	Jonizuojanti radiacija HH	kBq U235 eq
6.	Jonizuojanti radiacija E	CTUe
7.	Fotocheminio ozono formavimasis	kg NMVOC eq
8.	Rūgštėjimo potencialas	mole H+eq
9.	Sausumos eutrofikacija	mole N eq
10.	Vandenių eutrofikacija	kg P eq
11.	Jūros eutrofikacija	kg N eq
12.	Ekotoksiškumas vandenims	CTU e
13.	Žemės naudojimas	kg C deficit
14.	Vandenių išteklių eikvojimas	m ³ water eq
15.	Mineralų iškastinio kuro ir energijos šaltinių naudojimas	kg Sb eq

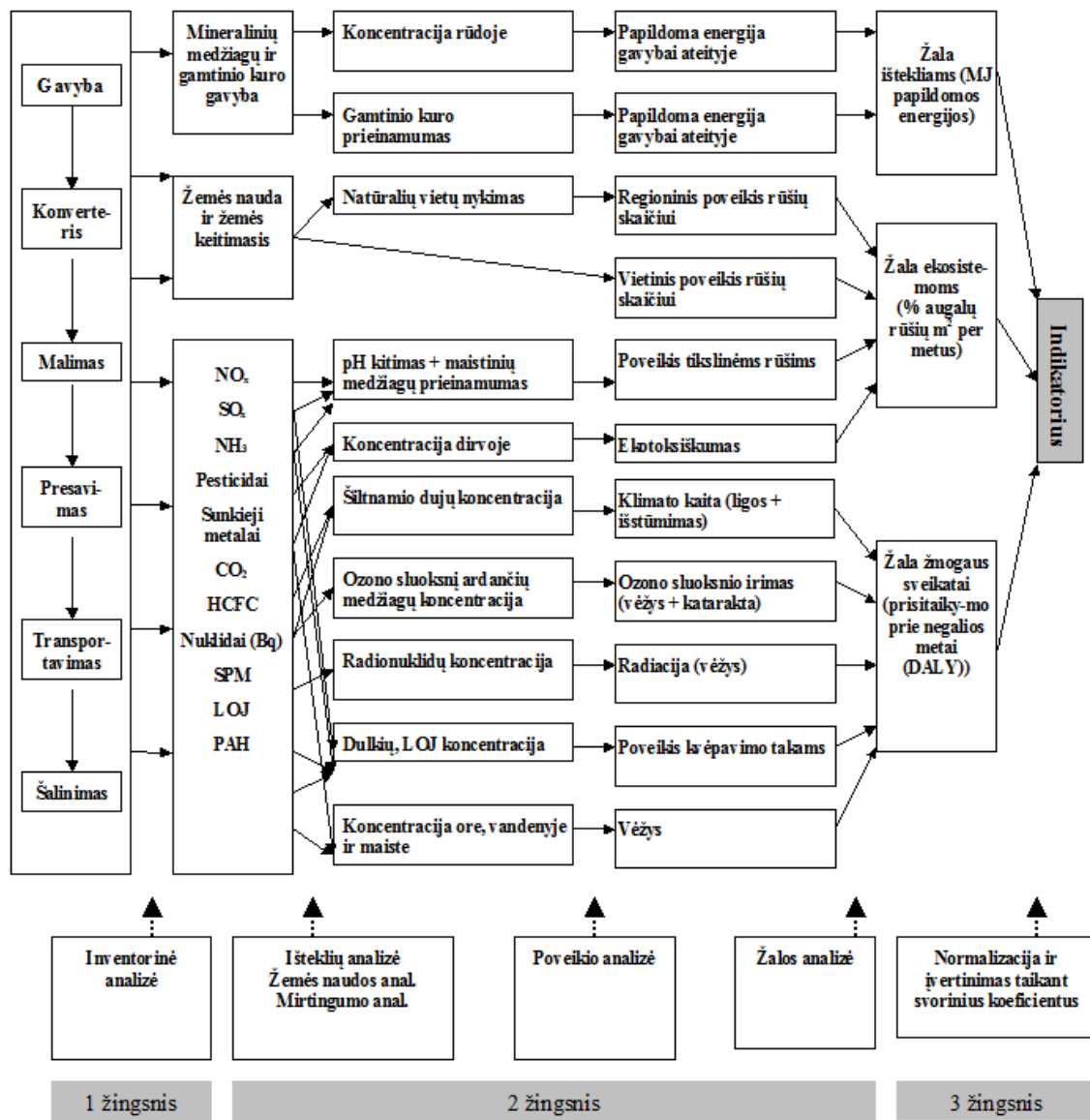
(*SimaPro 8*)

Poveikis aplinkai gali būti vertinamas ir pagal 5 lentelėje pateiktas kategorijas. Būvio ciklo poveikio analize siekiama konvertuoti srautus į potencialų poveikį (Midpoint) ir pasekmes ar padarinius (Endpoint). (Lemagnen ir kt. 2009).

4 lentelė. Poveikio aplinkai kategorijos vertinamos ReCiPe metodu Midpoint arba Endpoint taškuose

Nr.	Poveikio aplinkai kategorija	Vienetas
	Klimato kaita	kgCO ₂ eq
1.	Ozono sluoksnio retėjimas	kgCFC-11eq
2.	Žemės rūgštėjimas	kgSO ₂ eq
3.	Vandenių eutrofikacija	kg P eq
4.	Jūros eutrofikacija	kg N eq
5.	Toksiškumas žmogui	kg1,4-DB eq
6.	Fotocheminio ozono formavimasis	kg NMVOC eq
7.	Kietųjų dalelių susidarymas	kg PM10 eq
8.	Ekotoksiškumas žemei	kg1,4-Dbeq
9.	Ekotoksiškumas vandenims	kg1,4-Dbeq
10.	Ekotoksiškumas jūroms	kg1,4-Dbeq
11.	Jonizuojanti radiacija	kg1,4-Dbeq
12.	Agrokultūrinės žemės užėmimas	m ² a
13.	Miesto žemės užėmimas	m ² a
14.	Natūralios žemės pakeitimas	m ²
15.	Vandens eikvojimas	m ³
16.	Metallų eikvojimas	kgFe eq
17.	Iškasenų eikvojimas	kg oil eq

(*SimaPro 8*)



26 pav. Žalos žmogaus sveikatai, ekosistemų kokybei ir ištekliams nustatymo modelis (Staniškis ir kt. 2005)

Žalos kategorijų įvertinimas atliekamas remiantis prielaida, kad poveikis žmogaus sveikatai ir žala ekosistemoms yra vienodai svarbūs, tačiau dvigubai svarbesni už žalą ištekliams.

Apskaičiuojamas poveikis žmogaus sveikatai, ekosistemų kokybei ir ištekliams:

1. **Poveikis žmogaus sveikatai** išreiškiamas kaip nenugyventas metų skaičius ir kaip negalios metų skaičius. Šie skaičiai sudaro vadinamąjį DALY indeksą – pritaikymo prie negalios metai (angl. *Disability Adjusted Life Years*);
2. **Žala ekosistemų kokybei** parodo rūšių išnykimą tam tikroje teritorijoje ir per tam tikrą laiko tarpą;
3. **Žala ištekliams** – tai papildoma energija, kurios reikės išgaunant mineralines medžiagas ir gamtinį kurą ateityje.

Interpretavimas

Šiame etape nustatomi, apskaičiuojami, patikrinami ir pateikiami ankstesnių fazių rezultatai, juos derinant su apibrėžtu tikslu ir apimtimi. Dažniausiai šioje fazėje parengiami sprendimai ar veiksmų planai. Diagnostiniuose tobulinimų tyrimuose išaiškinami vadinamieji būvio ciklo „karštieji taškai“, kurie daro didžiausią įtaką bendram sistemos poveikiui aplinkai. Identifikavus problemines vietas, jas galima pašalinti arba sumažinti modifikuojant sistemą. Jeigu atliekamas lyginamasis vertinimas, nagrinėjamos sistemos yra sugrupuojamos pagal jų aplinkos apsaugos veiksmingumą ir pasirenkamas optimalus variantas.

2.2 Reikšmingų aspektų nustatymo, idėjų generavimo ir ekologinio projektavimo strategijų pasirinkimo metodika

Gaminių ekologinio projektavimo metodika susideda iš (Staniškis ir kt. 2005):

1. Projekto organizavimo;
2. Bendros gaminio analizės;
3. Gaminio poveikio aplinkai vertinimo;
4. Projektavimo strategijų pasirinkimo;
5. Idėjų kūrimo;
6. Prioritetų iškėlimo;
7. Gaminio specifikacijų nustatymo ir detaliojo projektavimo;
8. Projekto rezultatų įvertinimo ir skleidimo.

Šiame darbe pirmasis etapas yra praleistas. Projekto organizavimo etapas buvo įgyvendintas įmonėje, kuri pateikė užsakymą valdiklio ekologiniam projektavimui. Bendros gaminio analizės metu surenkami duomenys apie gaminį, jo komponentus, žaliavas, gamybos procesus ir kitus reikšmingus aspektus. Tai poveikio aplinkai vertinimo pagrindas (Staniškis ir kt. 2005). Jei aplinkos apsaugos aspektas yra susijęs su teisinių reikalavimų neatitiktimi, jis iš karto vertinamas kaip reikšmingas (Toth'as ir kt. 2005)

Gaminio poveikio aplinkai vertinimo etapo tikslas – nustatyti sritis turinčias didžiausią įtaką neigiamam gaminio poveikiui aplinkai. Į tai turi būti kreipiamas didžiausias dėmesys projektavimo metu (Varžinskas ir kt. 2006). Tai galima atlikti keliais metodais: atliekant detalų arba supaprastintą būvio ciklo vertinimą, sudarant klausimynus, atmintines, matricas, remiantis anksčiau išnagrinėtais panašių gaminių būvio ciklo vertinimais (Staniškis ir kt. 2005). Nagrinėjama gaminio sistema taip pat turi aprėpti visas gaminio būvio ciklo fazes, įskaitant žaliavų gamybą ir tiekimą gaminio gamybą logistiką, vartojimą, utilizavimą ar kitus būvio pabaigos scenarijus (Varžinskas ir kt. 2008). Šiame darbe buvo pasirinktas būvio ciklo vertinimo metodas bei mokslinės literatūros analize.

Ekologinio gaminio projektavimo strategijos parenkamos išanalizavus gaminio poveikį aplinkai bei siekiant nustatyti aplinkosauginio gerinimo kryptis (Varžinskas ir kt. 2006).

Idėjų kūrimo metu reikia įvertinti visų galimų gaminių ekologinio projektavimo strategijų taikymą: (Staniškis ir kt. 2005)

1. Naujo gaminio koncepcijos kūrimas
2. Medžiagų, darančių mažesnę poveikį aplinkai parinkimas;

3. Pavojingų cheminių medžiagų vengimas;
4. Švaresnės gamybos procesų parinkimas;
5. Poveikio transportavimo metu mažinimas;
6. Energijos ir vandens suvartojimo efektyvumo didinimas;
7. Atliekų mažinimo projektavimas.

Nustačius gaminio aplinkos apsaugos aspektus, privaloma išsikelti prioritetus aplinkosauginiam gerinimui. Prioritetams nustatyti naudojamos diagramos arba matricos, leidžiančios nustatyti techninius, finansinius, pajėgumus bei sumažintą poveikį aplinkai (Staniškis ir kt. 2005) (Varžinskas ir kt. 2006).

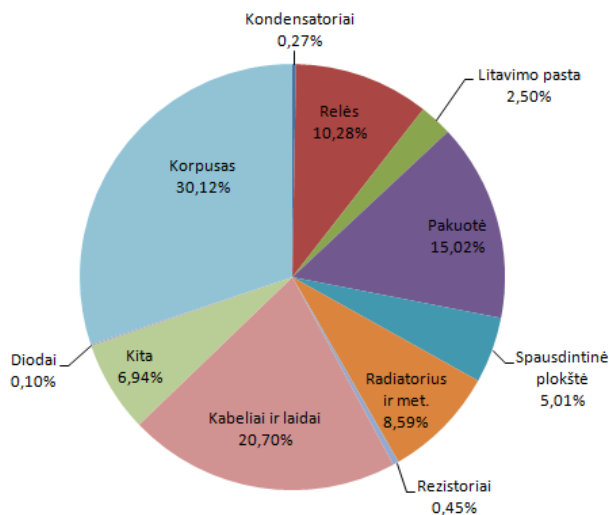
Įvertinus aukščiau išvardintus žingsnius, sudaroma gaminio specifikacija, kurioje įsivardijamas specifinių uždavinių sąrašas, gaminio funkcijos apibrėžimas, patvarumo, estetiniai, saugos, kokybės ir veiksmingumo reikalavimai. Išskiriami aplinkos apsaugos gamybos ir teisiniai reikalavimai bei standartai (Staniškis ir kt. 2005).

Įdiegus ekologinio projektavimo projektą, įvertinami projekto rezultatai ir sklaidimas (Staniškis ir kt. 2005). Rekomenduojama apie naują gaminį informuoti susijusius asmenis ir gauti iš jų atgalinį ryšį.

3. VALDIKLIO EKOLOGINIO PROJEKTAVIMO REZULTATAI

3.1 Inventorinės analizės rezultatai

Valdiklis buvo gautas iš įmonės, išardytas, inventorizuotas, jo sudedamosios dalys pasvertos, nustatytos medžiagos ir gauta informacija susisteminta. Valdiklio sudedamųjų dalių svoris įvertintas procentine išraiška. Gautas rezultatas pateiktas 27 pav.



27 pav. Valdiklio sudedamosios dalys, procentine išraiška

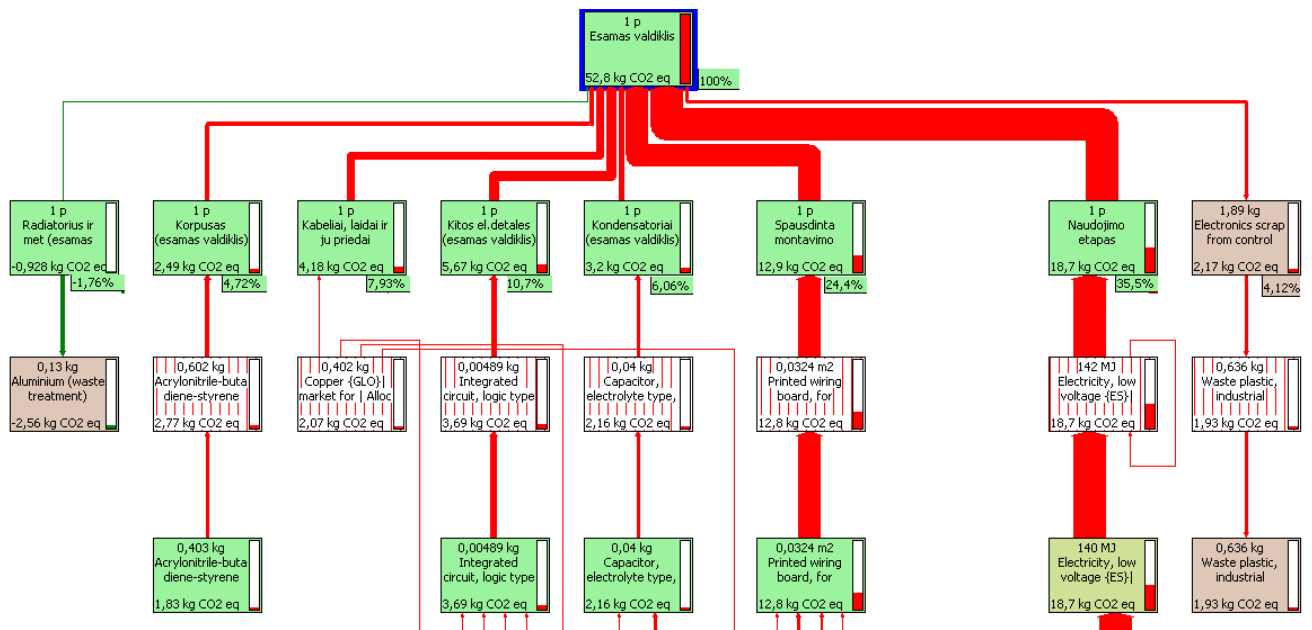
Didžiąją dalį valdiklio svorio sudaro korpusas - 30,12 %, kabeliai ir laidai sudaro 20,7 %, pakuotė – 15,02 %, relės – 10,28 %, radiatorius ir kt. metalinės dalys – 8,59 %, kitos dalys – 6,4 %, spausdinta montavimo plokštė – 5,01 %, litavimo pasta – 2,5 %. Likusios dalys sudaro mažiau nei po 1 %.

3.2 Esamo valdiklio poveikis aplinkai pasaulinio klimato šiltėjimo kategorijoje

Naudojamas metodas IPCC 2013 GWP 100 (*Intergovernmental Panel on Climate Change – Tarpvalstybinės klimato kaitos komisijos patvirtinta metodika*).

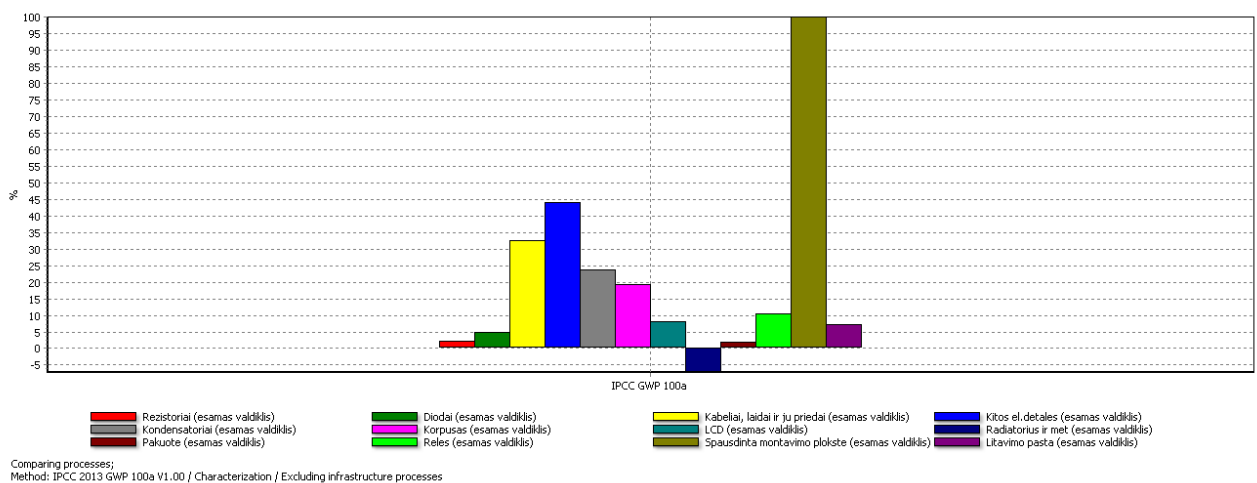
Vertinamos sistemos ribos: nuo žaliavų išgavimo iki sutvarkymo.

Įvertinamas esamo valdiklio bendras procesų ir poveikių srautų modelis PKŠP kategorijoje, kuri matuojama kgCO₂eq. Iš procesų srautų modelio (28 pav.) matyti, kad ŠESD valdiklio būvio cikle, nuo žaliavų išgavimo iki sutvarkymo, sugeneruojama 52,8 kgCO₂eq išmetimų. Didžioji dalis sugeneruojamų emisijų susidaro valdiklio naudojimo etape - 18,7 kgCO₂eq, t.y. 35,5 % viso srauto.



28 pav. Esamo valdiklio bendras procesų ir poveikių srautų modelis klimato šiltejimo kategorijoje (kg CO₂ eq ir procentais)

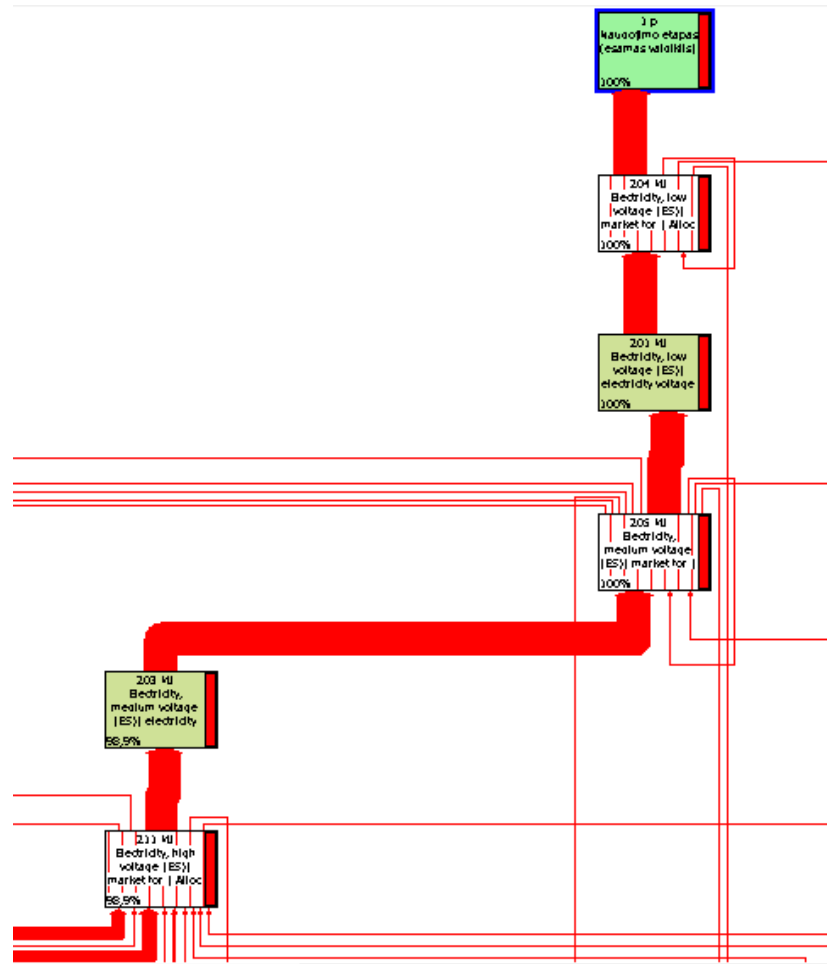
Iš 28 pav. matome, kad reikšmingas komponentas yra SMP. Jos gamybos, sutvarkymo metu sugeneruojami srautai – 12.9 kg CO₂eq, tai sudaro 24,4 % viso srauto. Kiti reikšmingi komponentai (daugiau nei 2 kg CO₂eq) yra: kitos el.detales (5,67 %), kabeliai ir laidai (4,18 %), kondensatoriai (3,2 %), ABS korpusas (2,49 %) ir elektronikos išardymas (2,17 %). 29 pav. vizualiai papildoma gautus rezultatus.



29 pav. Kitų valdiklio sudedamųjų dalių grafinė analizė

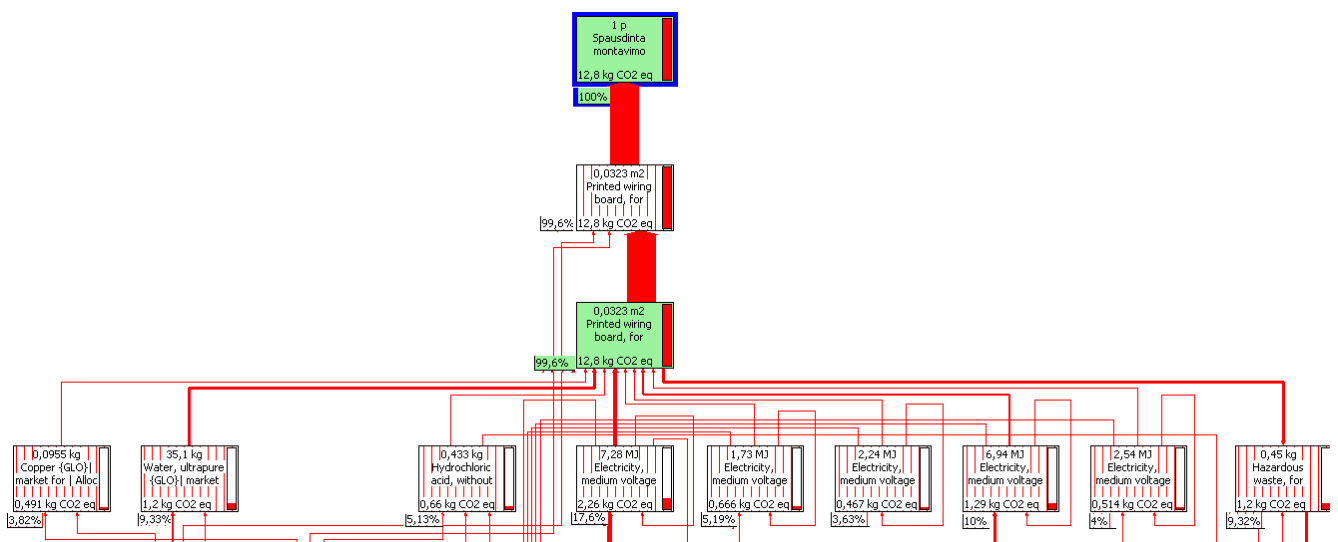
Iš 29 pav. matome, ir kitas valdiklio sudedamąsias dalis. Su neigiamu ženklu gaunama reikšmė tada, kai medžiagos yra perdirbamos ir grąžinamos atgal į gamybą, taip sutaupomas naujų medžiagų naudojimas.

Kadangi didžiausias poveikis aplinkai daromas naudojimo etape, tai detalizuokime jo srautus (30 pav.).



30 pav. Esamo valdiklio procesų ir poveikių srautų modelis klimato šiltėjimo kategorijoje Naudojimo etape

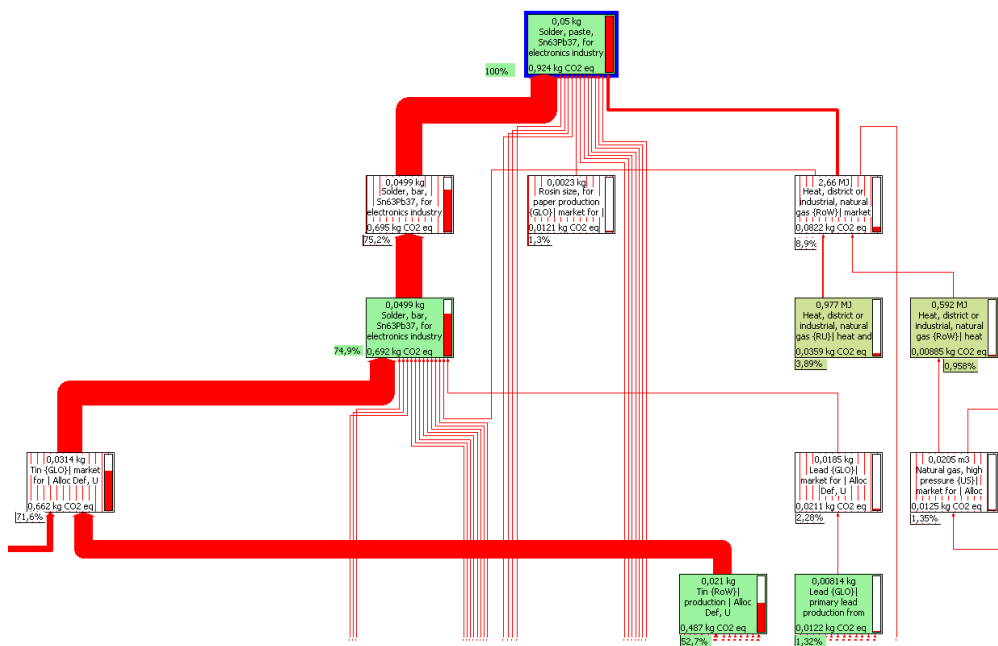
Matome, kad didžiausias poveikis yra dėl elektros energijos suvartojimo. Kitas reikšmingas poveikis – spausdintinos montavimo plokštės gamyba. Pažiūrime kas daro didžiausią poveikį klimato šiltėjimui spausdintos montavimo plokštės gamybos ir tvarkymo etape (31 pav.).



31 pav. Esamo valdiklio spausdintos montavimo plokštės srautai vertinant poveikį klimato kaitos kategorijoje

Lemiamas veiksnys, darantis įtaką SMP poveikiui aplinkai klimato šiltėjimo kategorijoje yra didelis elektros energijos kiekio naudojimas SMP gamybai (31 pav.). Atlikus detalesnę analizę matome, kad spausdintos plokštės gamybai yra naudojama daug energijos, itin švarus vanduo, įvairūs metalai. Gamybos metu susidaro pavojingos atliekos.

Kitas svarbus žingsnis yra vadovaujantis RoHs direktyvos reikalavimais pakeisti esamo valdiklio elementų pritvirtinimui naudotą litavimo pastą, kurios sudėtyje yra švino į kitą alternatyvą be švino. Įvertiname litavimo pastos su švinu naudojimo poveikį aplinkai klimato šiltėjimo kategorijoje (32 pav.).



32pav. Esamo valdiklio komponentų litavimui naudojamos litavimo pastos poveikis aplinkai

Iš 32 pav. matome, kad didžiausią įtaką aplinkai daro alavo naudojimas. Tai sudaro 71 % viso srauto. Taip pat matome, kad 2,28 % sudaro švino naudojimas.

Analogiškai išanalizuojame visas valdiklio sudedamąsias dalis. Rezultatai pateikti 5 lentelėje.

5 lentelė. Valdiklio sudedamųjų dalių poveikio klimato šiltėjimo kategorijoje analizė

Valdiklio sudedamosios dalys ir kt.veiksniai	Poveikis klimato šiltėjimo kategorijoje bendrame sraute kgCO ₂ eq	Proc. dalis bendro srautų modelio	Didžiausią įtaką darantys veiksniai ir komponentai					
			Komponen-tai	Proc. dalis	Komponentai	Proc. dalis	Komponentai	Proc. dalis
Kitos el.detalės	5,67	10,7 %	Integruota plokštė	62 %	Tranzistorius	18,7 %	Transformatoriai	8,71 %
Kabeliai, laidai ir jų priedai	4,18	7,93 %	Silikonas, elektronikos rūšis	34,9 %	Varis	21,9 %	Stiklo pluoštu sustiprintas plastikas, poliamidas	11,8 %
Kondensatoriai	3,2	6,06%	Kondensatoriai elektrolitiniai > 2 cm	70,7 %	Kondensatoriai elektrolitiniai < 2 cm	15,6 %	Kondensatoriai juostiniai	9,43 %
Korpusas	2,49	4,72%	Akrolonitrilo-butadieno-stirenas	111%	Liejimas	32,7 %	Plastiko perdirbimas	- 43,8 %

6lentelėje įvertiname kokius procesus, medžiagas, kuriuos galime pakeisti, norint suprojektuoti naują, draugišką aplinkai, valdiklį. Atsižvelgiant į aukščiau išnagrinėtus procesus ir poveikio aplinkai analizę pasiūlyti gerinimo sprendimai surašomi į alternatyvų vertinimo lentelę.

6lentelė. Alternatyvų vertinimo lentelė (Varžinskas, 2006)

Eil. Nr.	Pagerinimo galimybė/strategija	Nauda			Pritaikymo galimybė			Rezultatas
		Aplinkos apsaugos	Vartotojo	Įmonės	Techninė	Finansinė	Marketinginė	
1.	Energijos vartojimo sumažinimas panaudojant didesnio energetinio efektyvumo komponentus	2	2	2	2	1	2	11
2.	Spausdintos montavimo plokštės gamybos etape energijos vartojimo sumažinimas	1	0	0	-1	n/d	n/d	0
3.	Spausdintos montavimo plokštės dydžio sumažinimas iki 10 %	2	0	2	2	2	1	9
4.	Greičiau gendančių komponentų sumontavimas ant dviejų skirtingų plokščių, dėl pakeitimo gedimo atveju	1	0	2	0	1	0	4
5.	Bešvinės litavimo pastos naudojimas	1	2	2	2	2	2	11
6.	Kitų el. detalių pakeitimas į mažesnę poveikį aplinkai darančius	1	1	-1	-2	1	0	2
7.	Kabelių, laidų ir jų priedų sumažinimas iki 50 %	2	-1	2	2	2	0	7
8.	Korpuso medžiagos pakeitimas	1	0	0	-2	1	0	0
9.	Korpuso sumažinimas 60 %	2	2	2	2	2	2	12
10.	Pakuotės sumažinimas	2	2	2	2	2	2	12
11.	Elektroninių komponentų kiekio sumažinimas:							
11.1	Diodų iki 50 %	2	0	2	2	2	2	10
11.2	Rezistorių iki 60 %	2	0	2	2	2	2	10
11.3	Kitos el. detalės iki 10 %	2	0	2	1	2	2	9
13.4	Pakeisti kondensatorius į kitus komponentus	2	0	2	-2	-2	-2	-2

2 – labai teigiamas rezultatas/lengvai pritaikoma

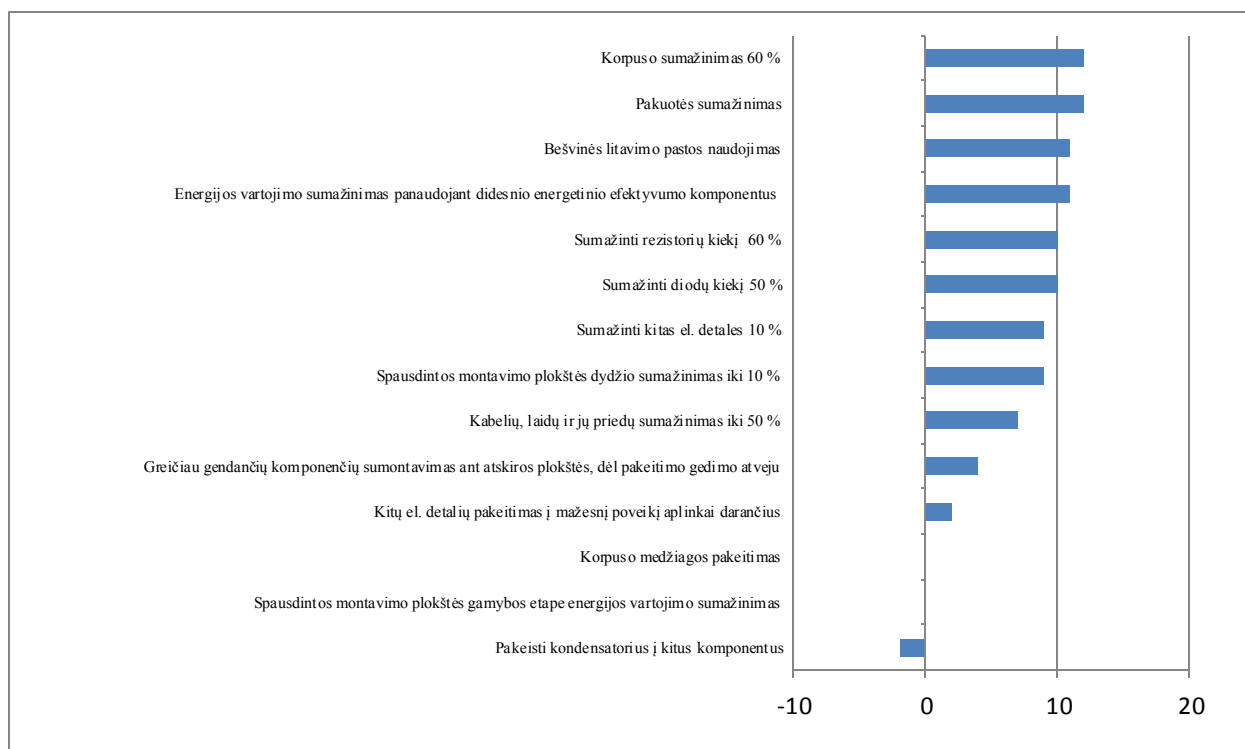
1 – teigiamas rezultatas/pritaikoma

0 – jokios naudos

-1 – neigiamas rezultatas/beveik nepritaikoma

-2 – labai neigiamas rezultatas/nepritaikoma

Gautus alternatyvų vertinimo rezultatus pateikiame grafiškai, kad būtų galima matyti galimas įgyvendinimo alternatyvas (34 pav.).



33 pav. Valdiklio pagerinimo alternatyvų vertinimas

Pagal gautus alternatyvų vertinimo rezultatus matyti, kad daugumą jų yra svarbios ir jas galima įgyvendinti. Yra kelios alternatyvos, kurių įgyvendinimas techniškai neįmanomas arba jas įgyvendinus nukentės produkto savybės. Pakeisti kondensatorius į kitus komponentus arba spausdintos montavimo plokštės gamybos etape energijos vartojimo sumažinimas yra techniškai neįmanomas. Korpusas pagamintas iš ABS plastiko ir yra ilgaamžiškas. Projektuojamo valdiklio tarnavimo laikas yra 20 metų, ABS plastikas yra tinkama medžiaga. Svarbiausiomis išskirtos: sumažinti valdiklio korpusą, pakuotę, bešvinės litavimo pastos naudojimas, el. energijos vartojimo sumažinimas, el. komponentų sumažinimas. Norint, kad energijos sąnaudos sumažėtų 30 % reikia sukompaktuoti naują valdiklį su didesnio energetinio efektyvumo komponentais, kurie leistų tai padaryti. Tai galima padaryti keičiant komponentus į naujos kartos elektroniką.

Valdiklio aplinkos apsaugos veiksmingumui gerinti, sukuriamos strategijos. Jos pateikiamos 8 lentelėje.

Eil. Nr.	Ekologinio gaminių projektavimo strategijos	Gerinimo galimybės
1.	Poveikio aplinkai mažinimas vartojimo fazėje, kurios pagrindinis tikslas siekti efektyvaus energijos vartojimo arba naudoti aplinkai palankias rūšis vartojant gaminį	Energijos vartojimo mažinimas panaudojant energetikai efektyvesnius komponentus, naujos kartos elektroniką
2.	Medžiagų sąnaudų mažinimas	Mažinti komponentų svorį, atsižvelgiant į rinkoje esančias naujoves Mažinti komponentų kiekį, atsižvelgiant į technines galimybes
3.	Mažesnę poveikį aplinkai sukeliančių medžiagų pasirinkimas	Pavojingų medžiagų pakeitimas
4.	Paskirstymo optimizavimas	Mažesnės pakuotės naudojimas

3.3 Naujo valdiklio projektavimas

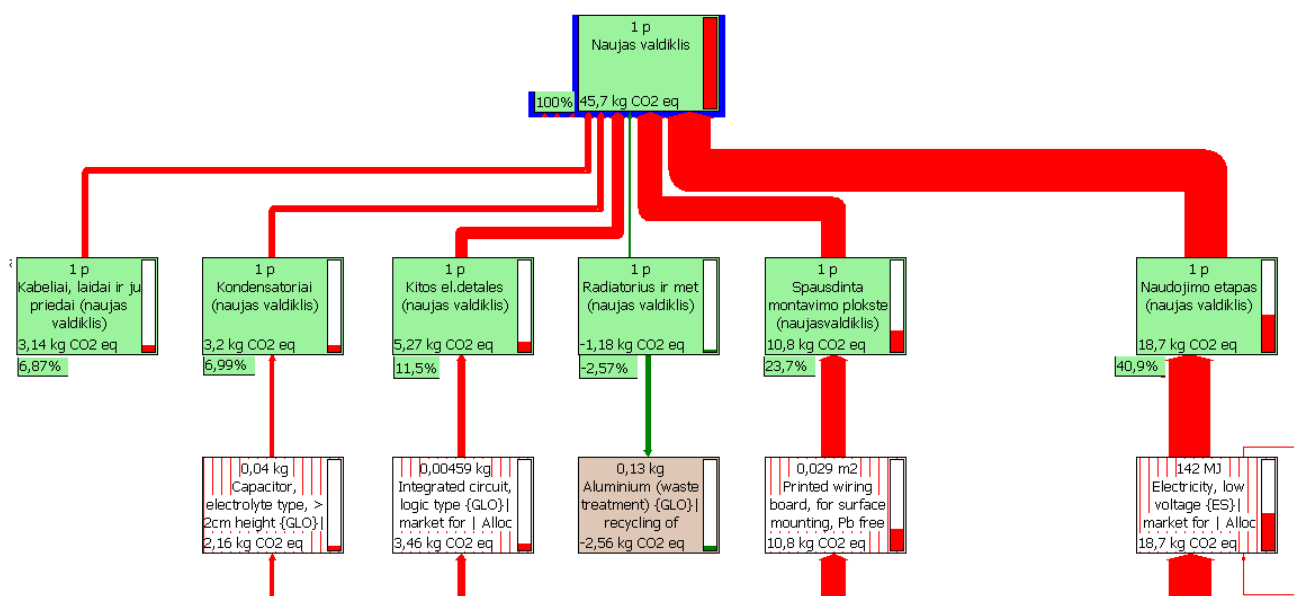
Nustačius gaminio aplinkos apsaugos aspektus, siekiant pagerinti aplinkos apsaugos veiksmingumą įmonei prioritetais siūloma pasirinkti:

- Energijos vartojimo sumažinimą.
- Medžiagų minimizavimą, mažinant el.komponentų skaičių ir kabelių ilgį. Sumažinti SMP dydį. Sumažinti korpusą ne mažiau kaip 50 %.

3.3.1 Esamo ir naujo valdiklio sudedamųjų dalių poveikis aplinkai pasaulinio klimato šiltėjimo potencialo kategorijoje

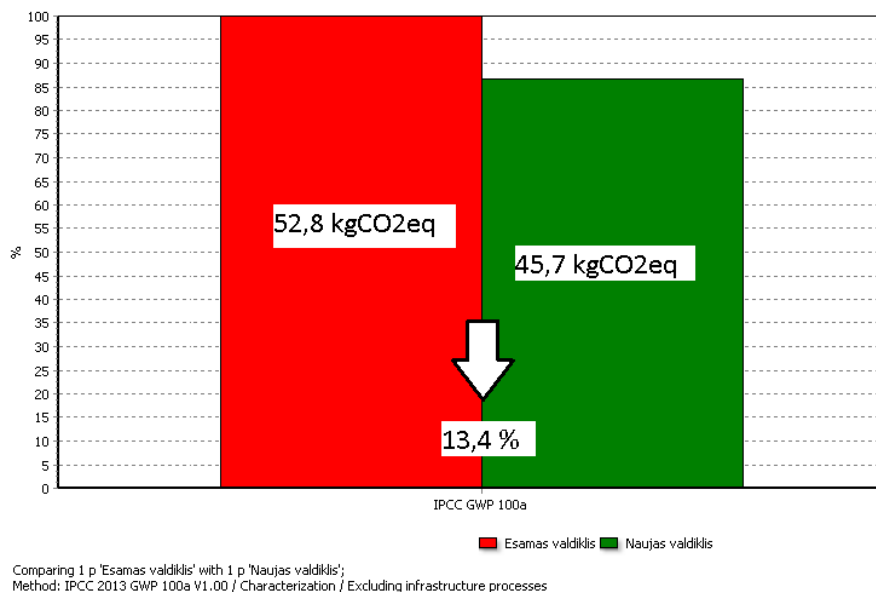
Naudojamas metodas: IPCC GWP 100a – pasaulinis klimato šiltėjimo potencialas.

Įvertiname naujo valdiklio poveikį aplinkai klimato šiltėjimo kategorijoje (34 pav.).



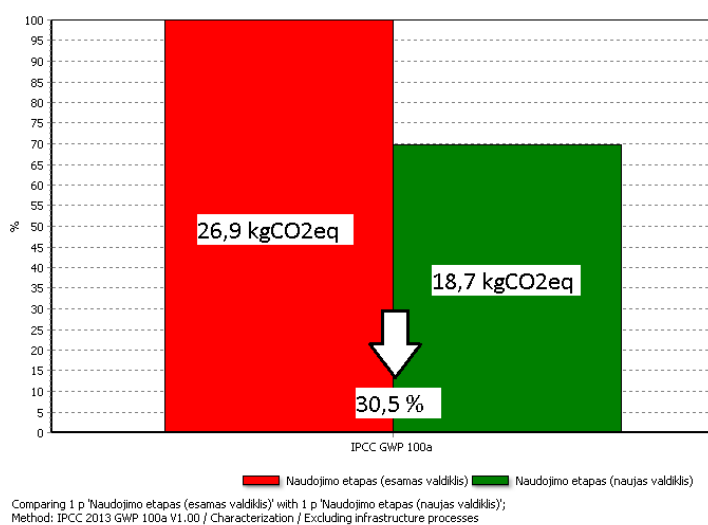
34 pav. Naujo valdiklio bendras procesų ir poveikių srautų modelis pasaulinio klimato šiltėjimo potencialo kategorijoje (kg CO₂ eq ir procentais)

Iš procesų srautų modelio (34 pav.) matyti, kad ŠESD valdiklio būvio cikle, nuo žaliavų išgavimo iki sutvarkymo, sugeneruojama 45,7 kg CO₂ eq, 7,1 kg mažiau, nei buvo sugeneruojama buvusio valdiklio (52,8 kgCO₂ eq) (35 pav.).



35 pav. Esamo ir naujai naujo valdiklio palyginimas PKŠP dėl ŠESD susidarymo kategorijoje

Kaip ir buvo minėta metodikoje, priimama, kad valdiklio naudojimo laikas - 20 metų. Naudojimo etape didžiausią įtaką daro elektros energijos vartojimas. Esamas valdiklis suvartoja 56 kWh, naujas projektuojamas 30,5 % mažiau – 39 kWh elektros energijos iš tinklo. Naujas valdiklis naudojimo etape sugeneruoja 18,7 kg CO₂eq ŠESD (buvo – 26,9 kgCO₂eq). Vertinant visą naudojimo laiką, naujai suprojektuoto valdiklio poveikis aplinkai sumažės apie 30,5 % (36 pav). Generuojamas šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekis naudojant naują valdiklį bus 8,2 kgCO₂eq mažesnis.



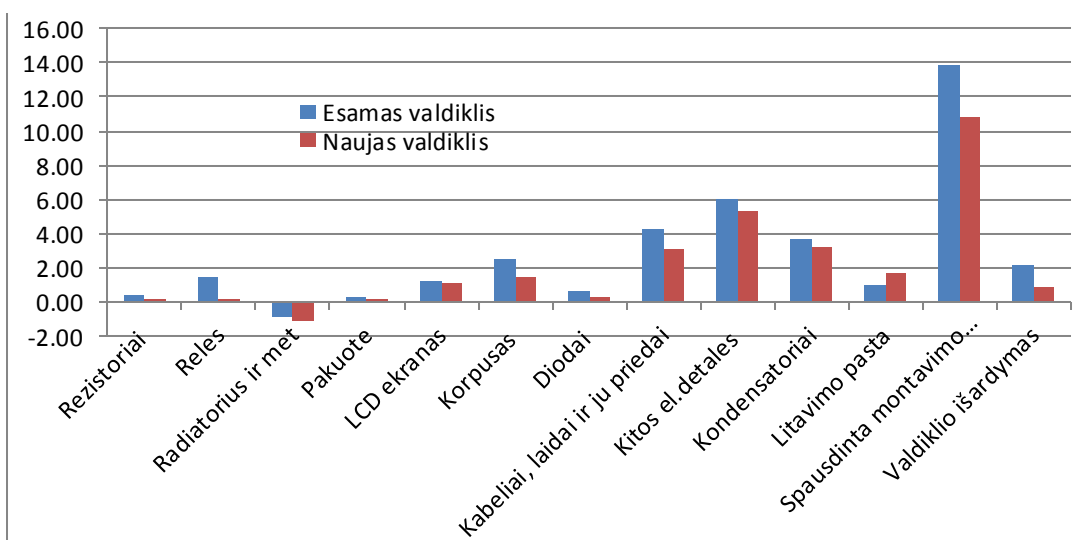
36 pav. Esamo ir naujai naujo valdiklio naudojimo etapo palyginimas PKŠP dėl ŠESD susidarymo kategorijoje

Naujai suprojektuoto valdiklio sudedamųjų dalių (34 pav.), didžioji dalis sugeneruojamų emisijų susidaro, kaip ir buvusio gaminio, spausdinto montažo plokštės (SMP) gamybos metu 10,84 kg CO₂ eq (buvo -13,88 kg CO₂ eq). Kitų el.detalių poveikis aplinkai sumažėja nuo 5,97 iki 5,27 kg CO₂ eq, kabelių ir laidų poveikis aplinkai sumažėja nuo 4,31 iki 3,14 kg CO₂ eq, (3,5 kg CO₂ eq) Naujai suprojektuoto valdiklio lydmetalių pakeitus bešvinio t.y. *Sn95.5 Ag3.9 CuO*, CO₂ emisijos susidarytų didesnės (0,74 kg CO₂ eq), nei lydmetaliu su švinu *Sn63Pb37* (0,95 kg CO₂ eq), dėl sidabro, alavo gavybos, elektros sąnaudų. Visų komponentų poveikio PKŠP dėl ŠESD susidarymo palyginimas pateiktas 9 lentelėje.

8 lentelė Esamo ir naujo valdiklio sudedamųjų dalių poveikio PKŠP dėl ŠESD susidarymui palyginimas

IPCC GWP 100a Matavimo vienetai	Esamas valdiklis kg CO ₂ eq	Naujas valdiklis kg CO ₂ eq	Pokytis	
			kgCO ₂ eq	%
Viso valdiklio	55,78	45,69	-10,09	-18,09
Rezistoriai	0,34	0,11	-0,23	-67,94
Relės	1,41	0,18	-1,23	-87,13
Radiatorius ir met.d.	-0,93	-1,18	-0,24	25,78
Pakuotė	0,24	0,09	-0,15	-61,54
LCD ekranas	1,25	1,05	-0,20	-15,92
Korpusas	2,51	1,43	-1,08	-43,14
Diodai	0,66	0,31	-0,35	-52,44
Kabeliai, laidai ir jų priedai	4,31	3,14	-1,17	-27,12
Kitos el.detales	5,97	5,27	-0,70	-11,67
Kondensatoriai	3,66	3,20	-0,47	-12,72
Litavimo pasta	0,95	1,69	0,74	78,10
Spausdinta montavimo plokštė	13,88	10,84	-3,04	-21,93
Naudojimo etapas	19,39	18,71	-0,68	-3,50
Valdiklio išardymas	2,14	0,84	-1,30	-60,71

Atlikus viso valdiklio sudedamųjų dalių poveikio PKŠP kategorijoje dėl ŠESD susidarymo rezultatus surašome į 9 lentelę. Gauname esamo ir naujo valdiklio pokyčio rezultatus.



37 pav. Esamo ir naujo valdiklio poveikio globalaus klimato šiltėjimo potencialui dėl šiltnamio efektą sukeliančių dujų susidarymo palyginimas tarp komponentų

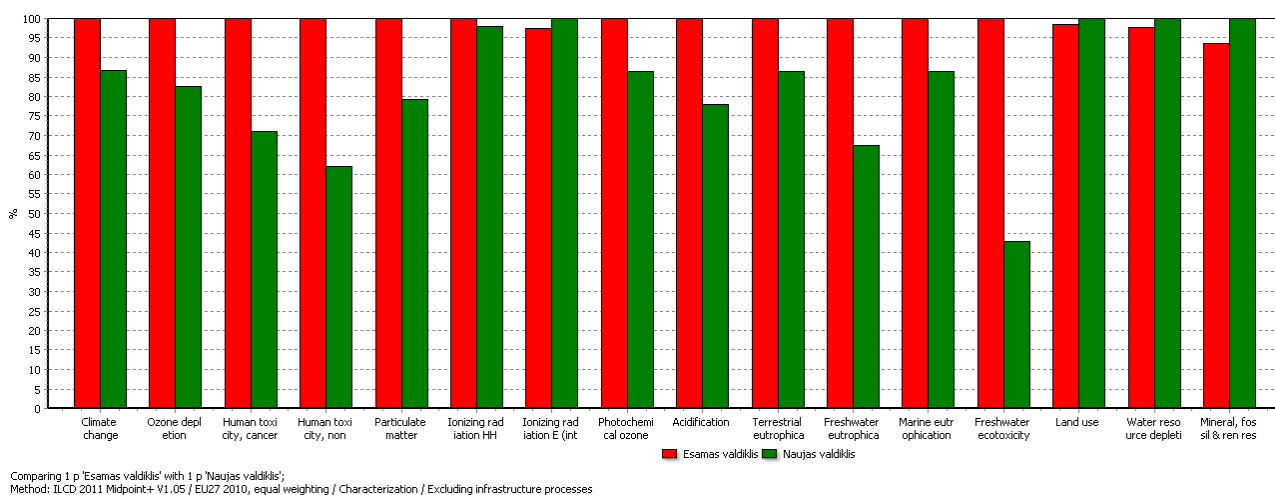
Vertinant visą valdiklio būvio ciklą (gamybą, naudojimą ir sutvarkymą kartu), poveikio aplinkai sumažėjimą žymiausiai lemia naudojimo fazė, kurios metu naujas gaminyje naudoja daug mažesnę energijos kiekį. Gamybos fazės poveikis aplinkai procentiškai sudaro nedidelę dalį, tiek esamo, tiek naujo gaminio.

Toliau analizuojamas poveikis aplinkai naudojantis kitais metodais, kurie įgalina vertinti poveikį skirtingose poveikio aplinkai kategorijose ir trijose žalos kategorijose. Skirtingas metodikų taikymas padeda identifikuoti įvairiapusių poveikį aplinkai bei palyginti poveikio aplinkai reikšmingumą skirtingose aplinkos kategorijose, taip pat nustatyti reikšmingus srautus ar procesus lemiančius poveikio padidėjimą ar sumažėjimą.

3.3.2 Esamo ir naujo valdiklio sudedamųjų dalių tarpinio vertinimo Midpointpoveikis aplinkai

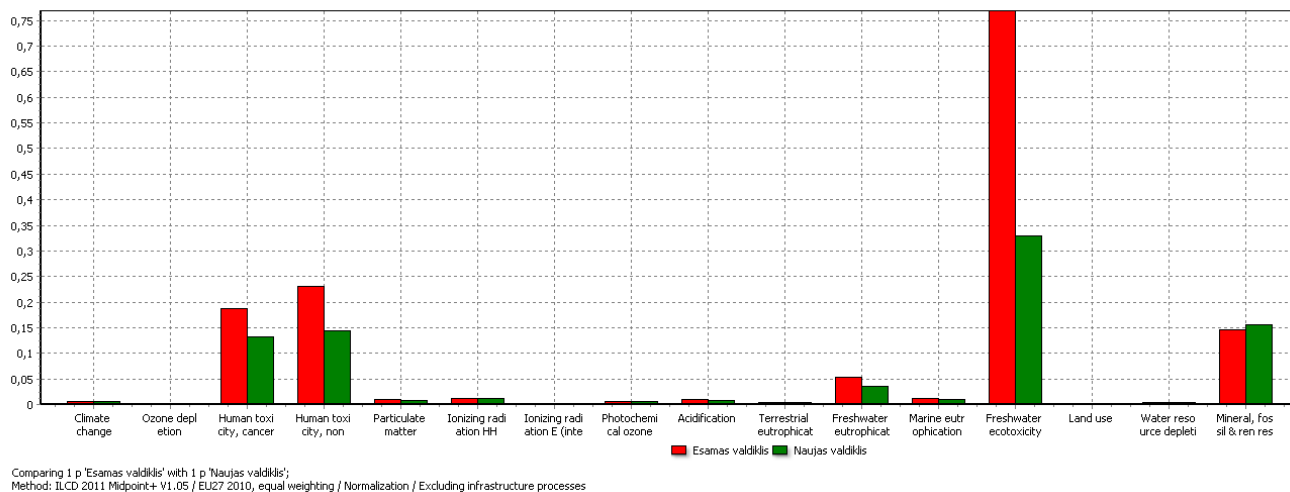
Naudojamas metodas ILCD 2011 Midpoint+

Naudojantis ILCD 2011 Midpoint+ metodu buvo atliktas poveikio aplinkai vertinimas, skirtingoms poveikio aplinkai kategorijoms. Viso šiame metode be klimato atšilimo potencialo kategorijos, analizuojamas poveikis 15 - oje aplinkos kategorijų (38 pav.)



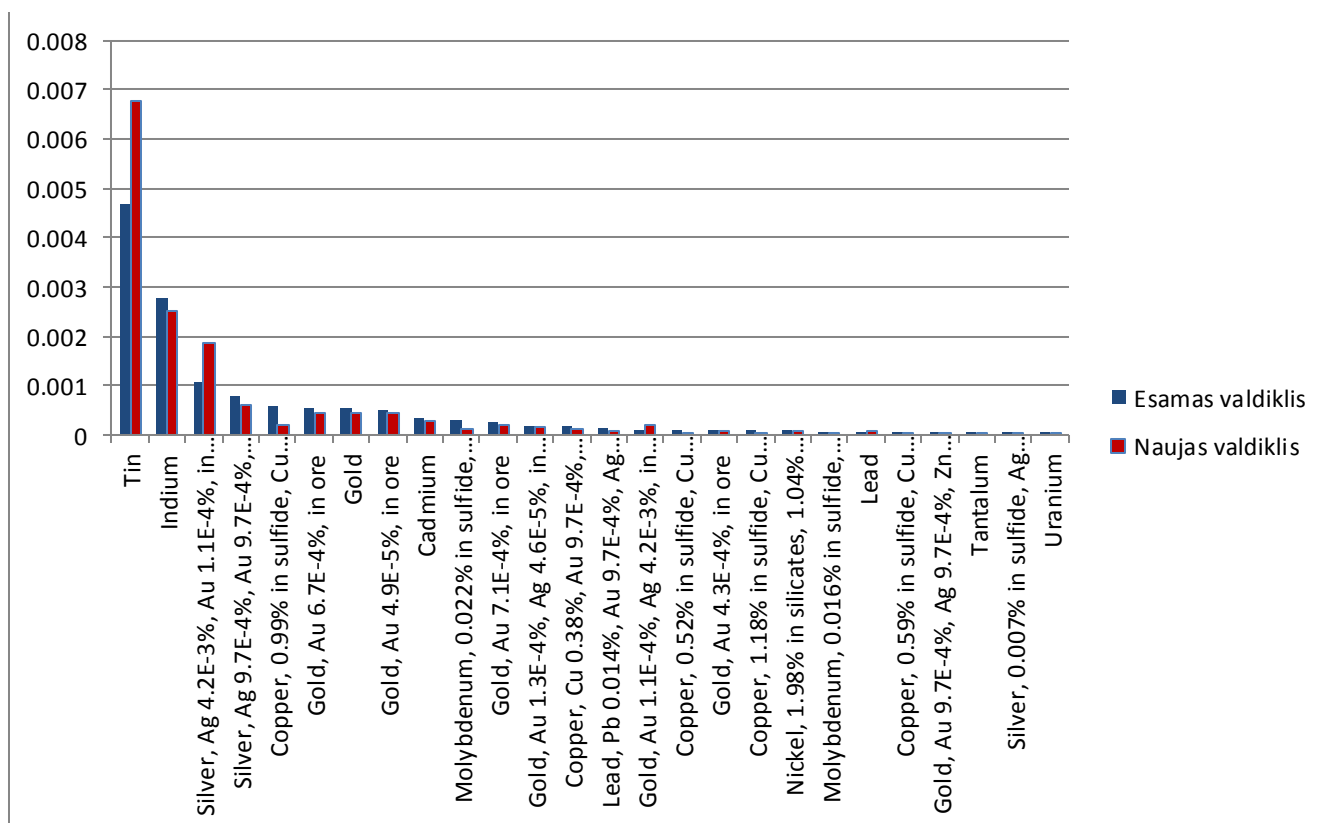
38 pav. Valdiklio komponentų (esamo ir naujo) poveikio aplinkai skirtingose poveikio aplinkai kategorijose palyginimas

Iš 38pav. matome, kad suprojektavus naują valdiklį poveikis aplinkai nežymiai padidėja 4 kategorijose: jonizuojančios radiacijos E(3 %), mineralų iškastinio kuro ir energijos šaltinių naudojimo (6 %), vandens resursų (2,5 %) ir žemės naudojimo (1,5 %). 57 % sumažėja ekotoksiškumo vandenims kategorijoje ir 38 % - toksiškumo žmogui kategorijoje. Atlikus poveikio aplinkai tyrimų rezultatų normalizavimą (39 pav.) matome, kad reikšmingiausiai įtaką aplinkai daro toksiškumo žmogui kategorijose, ekotoksiškumo vandenims kategorijoje, vandenų eutrofikacijos ir mineralų iškastinio kuro ir energijos šaltinių naudojimo kategorijoje.



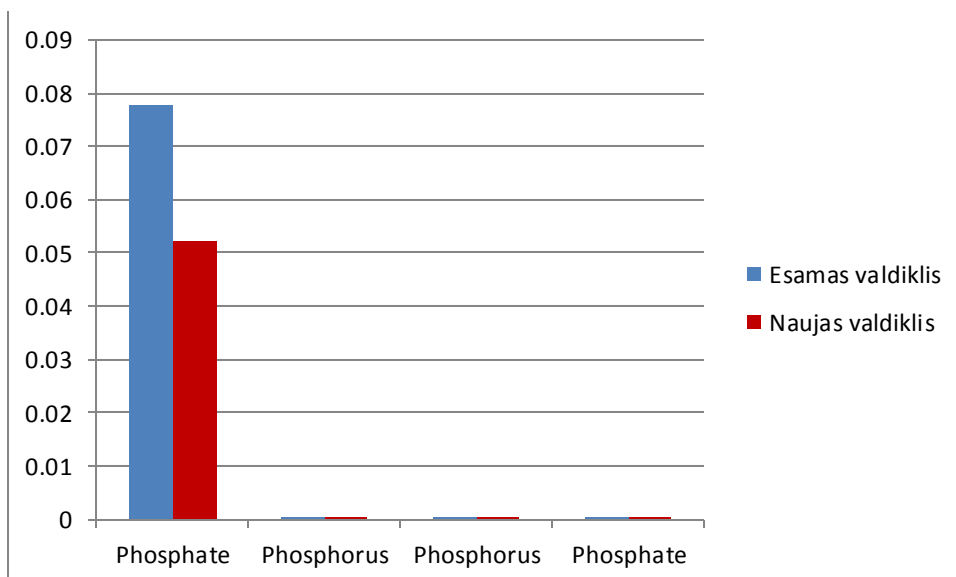
39 pav. Valdiklio komponentų (esamo ir naujo) poveikio aplinkai skirtingose poveikio aplinkai kategorijose palyginimas normalizavus poveikį

Kokios priežastys lemia šiuos reikšmingus aspektus, pateikta 40 pav.



40 pav. Mineralų iškastinio kuro ir energijos šaltinių naudojimo pokyčio palyginimas (kg Sb eq)

Iš 40 pav. matome, kad išauga sunaudojamų alavo, sidabro, aukso medžiagų kiekis ir tai lemia poveikio aplinkai padidėjimą.



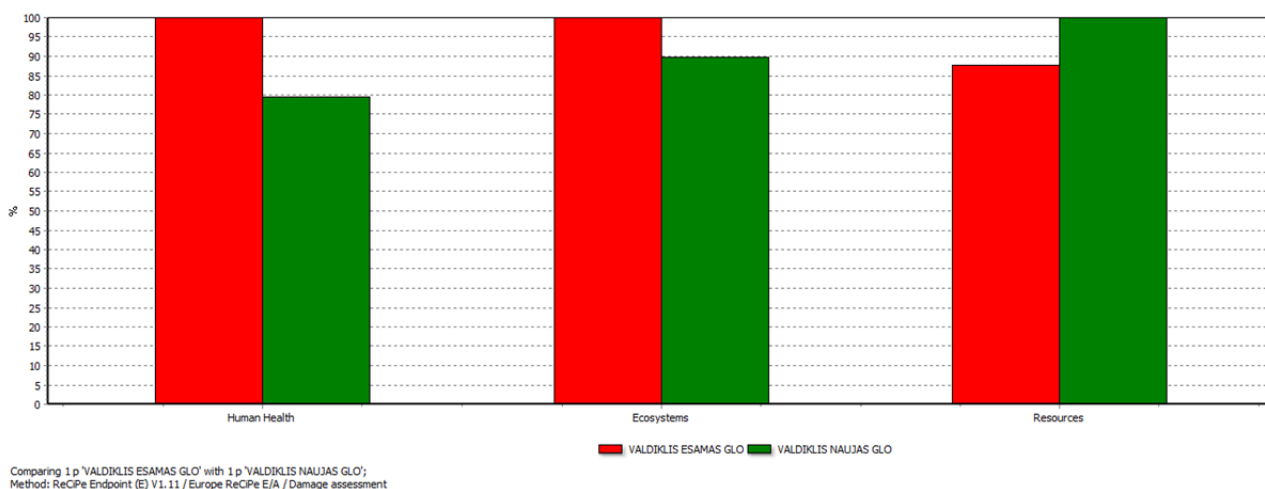
41 pav. Vandens ekotoksiškumo pokyčio palyginimas

Iš 41 pav. matome, kad poveikis vandens ekotoksiškumui ženkliai sumažėjo dėl fosfatų sumažėjimo. Panašūs rezultatai gauti ir naudojant kitą metodą ReCiPe Midpoint(E) V1.11 (kai kurios kategorijos šiek tiek skiriasi, jos kitaip pavadintos, bet iš esmės rezultatai labai panašūs).

3.3.3 Esamo ir naujo valdiklio sudedamųjų dalių poveikis aplinkai žalos kategorijose

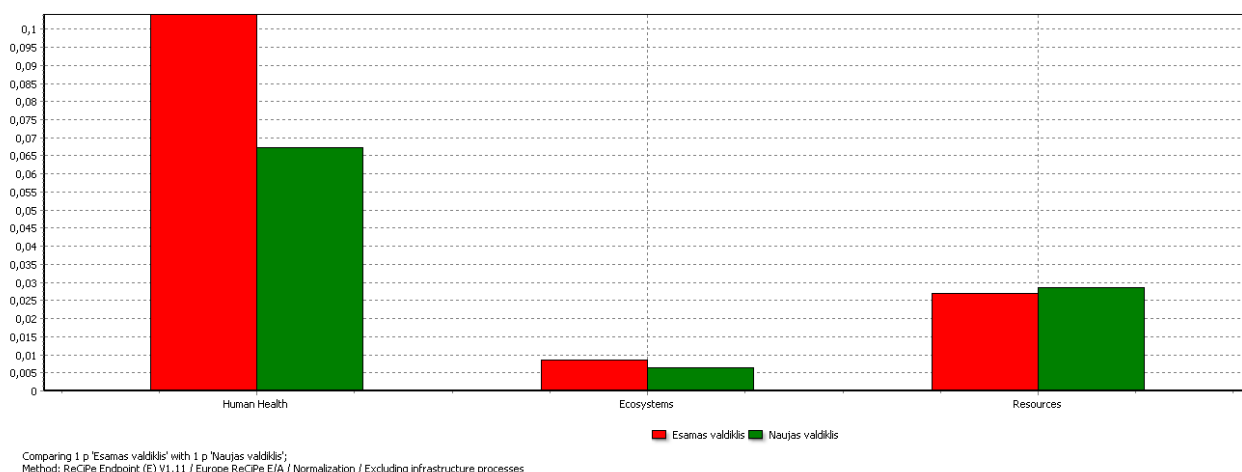
Naudojama metodika. ReCiPe Endpoint (E) V1.11 – 17 poveikio aplinkai kategorijų ir 3 žalos kategorijos

Atliekant poveikio aplinkai vertinimą ir palyginimą žalos kategorijose (žmonių sveikatai, ekosistemoms ir ištekliams) buvo naudojama, ReCiPe Endpoint metodu. Rezultatai (42 pav.) parodė, kad naujo valdiklio poveikis žmogaus sveikatai, kuris išreiškiamas kaip nenugyventas metų skaičius ir kaip negalios metų skaičius sumažėja 20 %. Žala, kuri sąlygoja ekosistemų kokybę, parodo rūšių išnykimą tam tikroje teritorijoje ir per tam tikrą laiko tarpą - taip pat sumažėja 10 %, žala ištekliams padidėja 12 %.



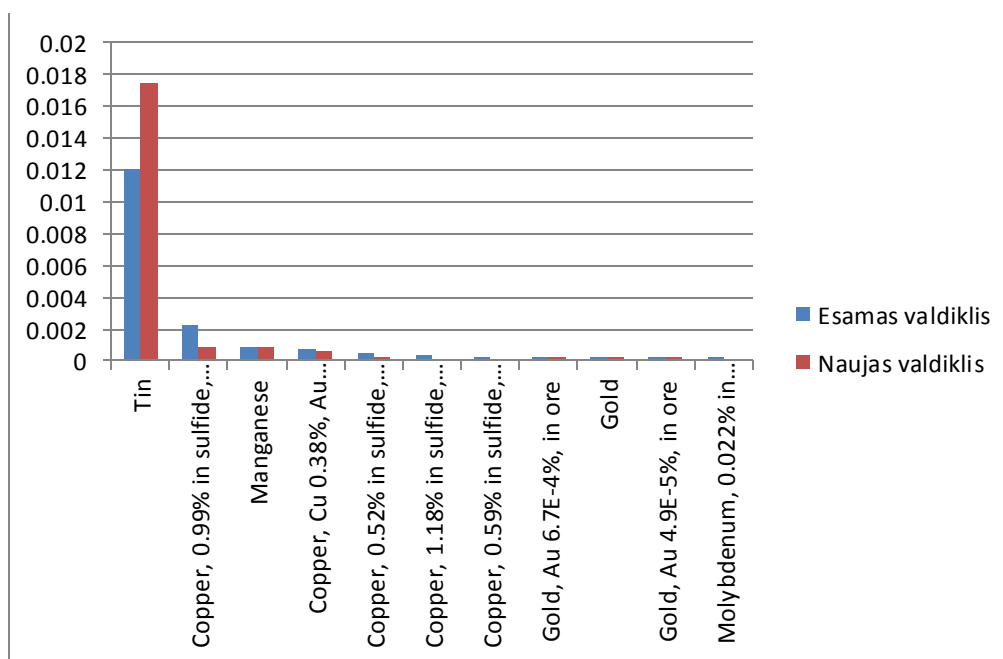
42 pav. Valdiklio (esamo ir naujo) poveikio aplinkai vertinimas ir palyginimas (santykinė procentinė vertė) (ReCiPe Endpoint (E))

Vertinant poveikį žalos kategorijoms buvo atliktas normalizavimas (43 pav.).



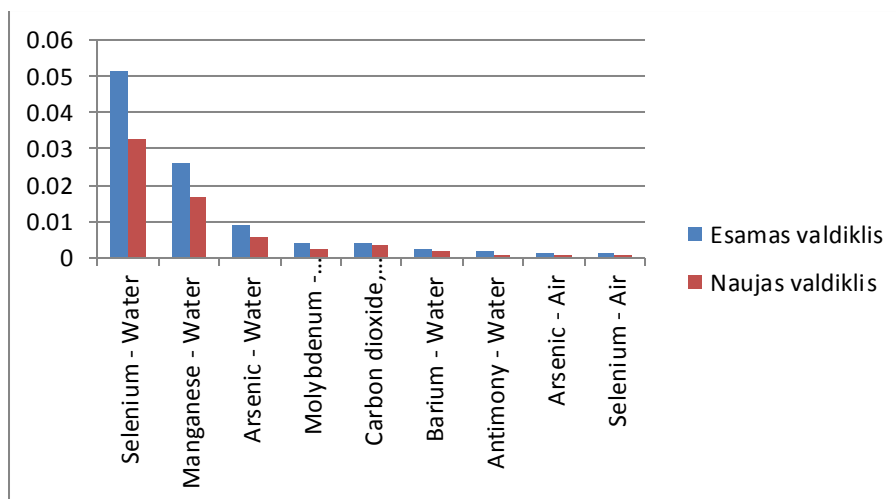
43 pav. Valdiklio (esamo ir naujo) poveikio aplinkai žalos kategorijose vertinimas ir palyginimas (socialinės vertės svoriais normalizuotas poveikis) (ReCiPe Endpoint (E))

Vertinant poveikį žalos kategorijoms buvo atliktas normalizavimas (45 pav.) gauti rezultatai rodo, kad valdiklio gamybos poveikis žmonių sveikatai yra reikšmingiausias lyginant su kitomis žalos kategorijomis, t. y. valdiklio poveikį aplinkai reikšmingiausiai mažinsime mažindami šią žalos kategoriją. Įvertiname, kas lemia poveikį žalos ištekliams kategorijoje.



44 pav. Žalos ištekliams priežastys lyginant seną ir naują valdiklį, žalos kategorijoje (ReCiPe Endpoint (E))

Kaip ir kitose kategorijose žalai ištekliams išauga dėl sunaudojamo didesnio alavo kiekio. Įvertiname kas įtakoja žalos žmogaus sveikatai sumažėjimą.



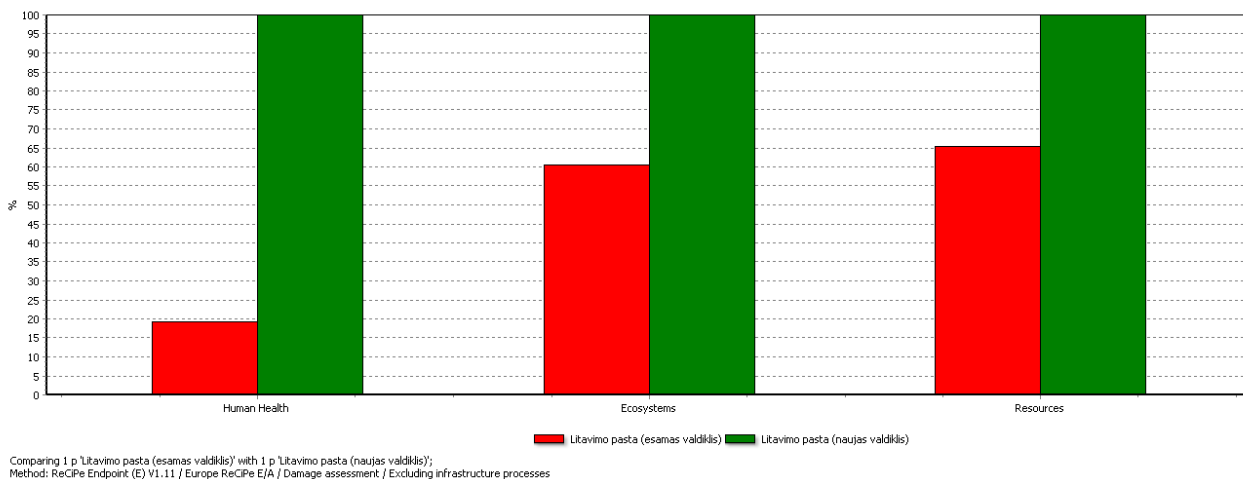
45 pav. Valdiklio (esamo ir naujo) poveikio aplinkai žalos žmogaus sveikatai kategorijoje vertinimas ir palyginimas (santykinė procentinė vertė) (ReCiPe Endpoint (E))

45 pav. matome, kad žala žmogui sumažėja dėl vandenyje sumažėjusių seleno, mangano, arseno, molybdeno ir kt. elementų.

Litavimo pasta

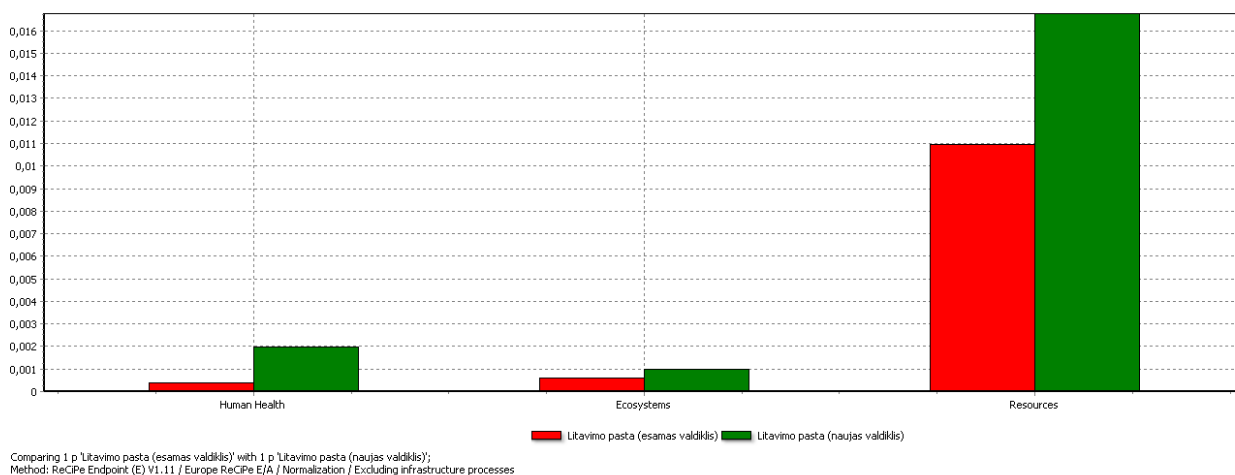
Remiantis RoHs direktyva įmonės įpareigotos nebenaudoti litavimo pastos su švinu. Kadangi švino poveikis žmogaus organizmui labai didelis, tai palyginkime litavimo pastos su švinu ir be švino naujame valdiklyje poveikį žalos kategorijose.

Naudojama metodika. ReCiPe Endpoint (E)– 17 poveikio aplinkai kategorijų ir 3 žalos kategorijos.



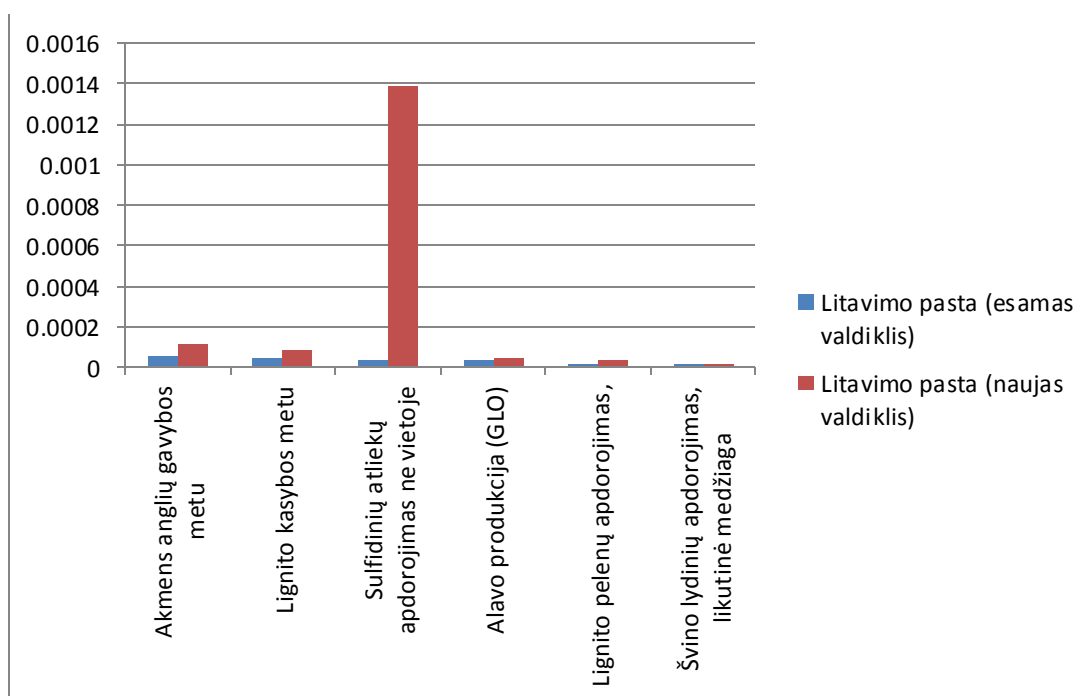
46 pav. Lydmetalių (su švinu ir be švino) poveikio žalos kategorijose palyginimas (ReCiPe Endpoint (E))

Iš 46 pav. matome, kad naudojant lydmetalių be švino turime poveikio žalos kategorijose augimą. Atliekame poveikio normalizavimą.



47 pav. Lydmetalių (su švinu ir be švino) poveikio žalos kategorijose palyginimas normalizavus poveikį ReCiPe Endpoint (E)

Iš 47 pav. matome, kad normalizavus poveikį žalos kategorijose vis tik bešvinė litavimo pasta daro didesnę įtaką ištekliams. Įvertiname kas įtakoja poveikį žmogaus sveikatai.

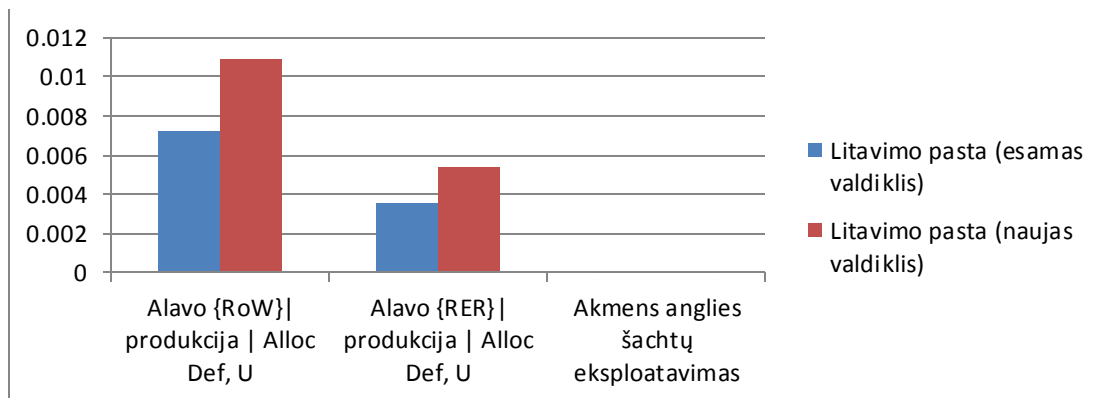


48 pav. Žalos žmogaus sveikatai naudojant litavimo pastą su švinu ir be švino įvertinimas (ReCiPe Endpoint (E))

Iš 48 pav. matome, kad žalos žmonių sveikatai naudojant litavimo pastą be švino viena iš priežasčių sulfidinių atliekų apdorojimas.

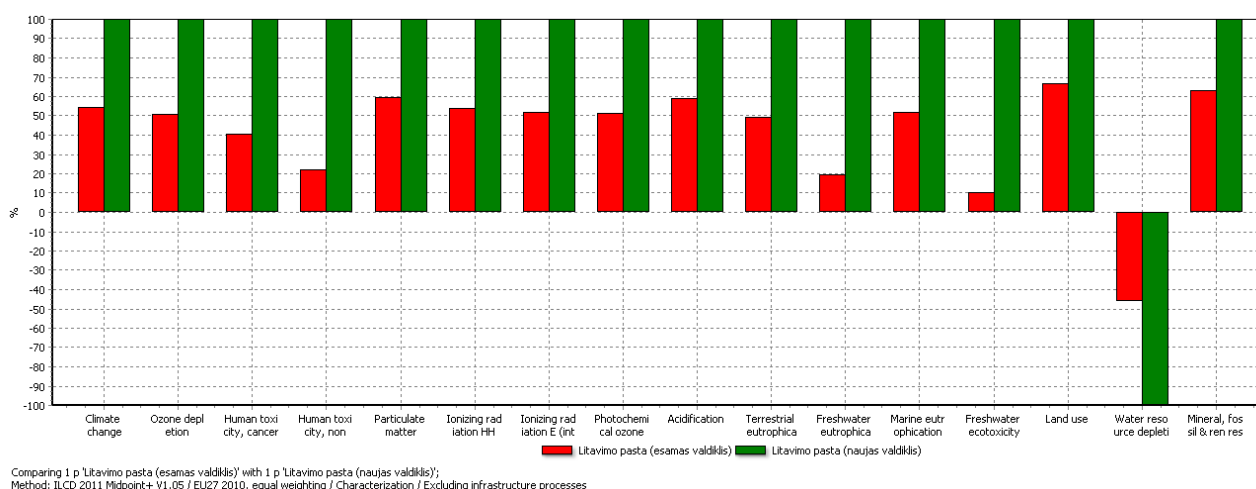
Žala resursams

Įsivertiname, kas daro poveikį žalos resursams kategorijoje.



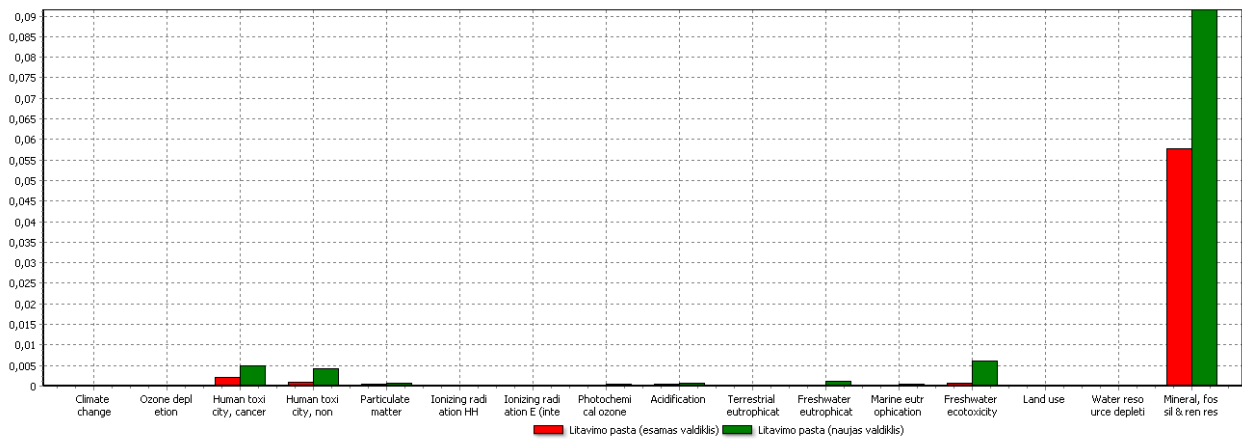
49 pav. Žalos resursams naudojant litavimo pastą su švinu ir be švino įvertinimas (ReCiPe Endpoint (E))

Iš 49 pav. matome, kad žala resursams susidaro dėl alavo gamybos.



50 pav. Valdikliuose (esamo ir naujo) naudojamo litavimo pastos poveikis aplinkai naudojant (ILCD 2011 Midpoint+ metodą)

Iš paveikslo pamote, kad poveikis aplinkai naudojant lydmetalį be švino visose kategorijose išauga, tačiau atlikus normalizaciją (pav.) matome, kad poveikis reikšmingas tik mineralų iškastinio kuro ir energijos šaltinių naudojimo kategorijoje, ir tik 1 % reikšmingumo yra toksiškumo žmogui kategorijoje, bei ekotoksiškumui vandenims.

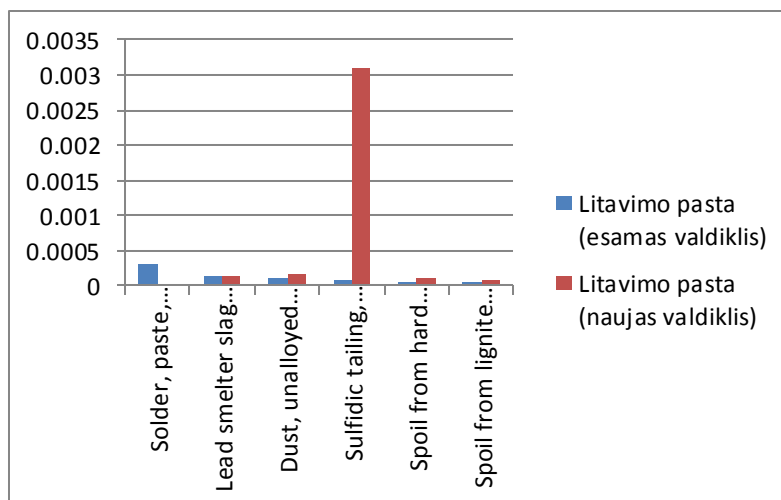


Comparing 1 p Litavimo pasta (esamas valdiklis) with 1 p Litavimo pasta (naujas valdiklis);
 Method: ILCD 2011 Midpoint+ V1.05 / EU27 2010, equal weighting / Normalization / Excluding infrastructure processes

51 pav. Valdikliuose (esamo ir naujo) naudojamo litavimo pastos poveikis aplinkai žalos kategorijose vertinimas ir palyginimas 3 kategorijoms (ILCD 2011 Midpoint+ metodas)

Kaip ir prieš tai darytose analizėse matosi, kad poveikį aplinkai sudaro alavo didesnis naudojimas.

Išanalizuojame kas įtakoja poveikį žmogaus toksiškumui.



52 pav. Žalos žmogaus sveikatai naudojant litavimo pastą su švinu ir be švino įvertinimas naudojant ILCD 2011 Midpoint+ metodą

Iš 52 pav. matome, kad kaip ir prieš tai nagrinėtuose metoduose poveikis yra dėl sulfidinių atliekų apdorojimo.

IŠVADOS

1. Remiantis literatūros analize, elektros ir elektronikos įrenginių poreikis auga visame pasaulyje. Augant gamybai ir vartojimui didėja ir EEĮ atliekų kiekis. Su tuo susijęs ir augantis EEĮ poveikis aplinkai per visą būvio ciklą (nuo žaliavų ir elektros energijos vartojimo, iki atliekų susidarymo ir su jomis susijusiu poveikiu aplinkai). Žaliavų išgavimo ir elektronikos įrenginių gamybos bei jų surinkimo etapai reikalauja didelių energijos ir žaliavų resursų. Naudojimo etape – dideli elektros energijos kiekiai, perdirbimo etape – papildomi energijos resursai. Moksliniuose straipsniuose pristatomi įvairių elektros ir elektronikos įrenginių būvio ciklo vertinimo, ekologinio projektavimo tyrimai, nuo elektroninių žaislų iki kompiuterinės įrangos ir e. atliekų šalinimo. Tačiau tyrimų, nagrinėjančių fotovoltinės vandens šildymo sistemos valdiklio poveikį aplinkai ir jo mažinimą nebuvo rasta.
2. Atlikus būvio ciklo vertinimą, nustatyta, kad didžiausias poveikis aplinkai daromas valdiklio naudojimo etape dėl el.energijos suvartojimo. Pats taršiausias komponentas valdiklio gamyboje - spausdinto montažo plokštė. Dėl jos gamyboje naudojamų elementų ir jos sutvarkymo, ypač retųjų, brangiųjų ir pavojingų medžiagų atskyrimo. Kiti reikšmingi valdiklio komponentai yra kabeliai ir laidai, kondensatoriai ir kiti elektronikos elementai.
3. Nustačius gaminio aplinkos apsaugos aspektus, siekiant sumažinti poveikį aplinkai imonei prioritetais siūloma pasirinkti ekologinio projektavimo strategijas: medžiagų minimizavimą, mažinant el.komponentų skaičių ir kabelių ilgį, mažinant spausdintinės plokštės dydį (10%) bei korpuso dydį (50%); pakeisti medžiagas mažiau pavojingomis (lydmetalį su švinu - į bešvinį); mažinti energijos vartojimo sąnaudas.
4. Įvertinus pasiūlymus, nustatyta, kad bendras valdiklio poveikis aplinkai klimato kaitos kategorijoje sumažėja nuo 52,8kgCO₂eq iki 45,7 kgCO₂eq ir tai sudaro 13,4 %. Sumažinus spausdintiną montavimo plokštę 10 % ir įvertinus jos sutvarkymą bei perdirbimos būvio pabaigoje - poveikis aplinkai ŠESD susidarymo kategorijoje sumažėja 21,93 %, sumažinus valdiklio korpusą 60 %, poveikis aplinkai sumažėja 43,14 %, sumažinus kabelių ir laidų kiekį 50 %, poveikis aplinkai sumažėja 27,12%.Elektronikos komponentų sumažinimas ir jų pakeitimas sumažina poveikį aplinkai ŠESD susidarymo kategorijoje: relės – 87,13 %, rezistoriai – 67,94 %, diodai – 52,44 %, kitos e.l.dalys – 11,67 %.Didžiausias poveikis šiltnamio efektą sukeliančių dujų susidarymui yra generuojamas valdiklio naudojimo etape. Suprojektavus naują valdiklį poveikis aplinkai naudojimo etape sumažėja nuo 26,9 iki 18,7 kgCO₂eq ir tai sudaro 30,5 %.Tyrimo rezultatai parodė, kad poveikis aplinkai naudojant bešvinę litavimo pastą išauga 78,1 %, bet jis susidaro dėl pastos pagaminimui reikalingo didesnio alavo kiekio.

LITERATŪRA

- ANDRAE Anders S. G. Ir Norihiro ITSUBO, Atsushi INABA. Global environmental impact assessment of the Pbfree S. *Soldering & Surface Mount Technology* [interaktyvus]. 2007 19 (2) 18-28 [žiūrėta 2018-05-15]. Prieiga per: ISSN: 0954-0911; E-ISSN: 1758-6836; doi: 10.1108/09540910710836502
- ANDRIJAUSKAS P. Elektronikos industrijos – išmaniųjų telefonų-būvio ciklo inventorinė analizė. Iš: Studentų Mokslinės konferencijos „Chemija ir cheminė technologija“ pranešimų medžiagos. [interaktyvus]. 2017 pp.50-53 [žiūrėta 2018-04-28]. ISSN 2538-7332. Prieiga per: doi: 10.5755/e01.25387332
- APLINKOS APSAUGOS AGENTŪRA. Elektros ir elektronikos įrangos atliekos [interaktyvus] 2018. [žiūrėta 2018-02-02]. Prieiga per: <http://www.gamta.lt>
- ARVIDSSON, Rickard ir Björn A.SANDÉN, Carbonnanomaterials as potential substitutes for scarce metals. *Journal of Cleaner Production* [interaktyvus]. 2017, 156,253-261[žiūrėta 2018-04-04] ISSN: 0959-6526 ; prieiga per: doi: 10.1016/j.jclepro.2017.04.048
- BAKAS, Ioannis ir kt. *Present and potential future recycling of critical metals in WEEE* [interaktyvus]. CRI, 2014 [žiūrėta 2017-12-31]. Prieiga per: https://cri.dk/sites/cri.dk/files/dokumenter/artikler/weee_recycling_paper_oct14.pdf
- BOYD Sarah B. Life-cycle Assessment of Semiconductors. Springer Science & Business Media [interaktyvus] 2011. [žiūrėta 2018-02-28]. ISBN 978-1-4419-9988-7
- CECERE Grazia ir Arianna MARTINELLI. Drivers of knowledge accumulation in electronic waste management: An analysis of publication data. *Science Direct* [interaktyvus]. 2017 46(5) 925-938 [žiūrėta 2017-12-13]. Prieiga per: doi: [10.1016/j.respol.2017.03.005](https://doi.org/10.1016/j.respol.2017.03.005)
- CHARLES Rhys Gareth ir Peter DOUGLAS, Ingrid Liv HALLIN, Ian MATHEWS, Gareth LIVERSAGE An investigation of trends in precious metal and copper content of RAM modules in WEEE: Implications for long term recycling potential. *Waste Management* [interaktyvus]. 2017 60 505-520 [žiūrėta 2018-04-14]. Prieiga per: doi: [10.1016/j.wasman.2016.11.018](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.11.018)
- Chellvarajoo, Srivalli, M.Z. Abdulah, Z. Samsudin. Effects of Fe₂NiO₄ nanoparticles addition into lead free Sn–3.0Ag–0.5Cu solder pastes on microstructure and mechanical properties after reflow soldering process. *Materials & Design* [interaktyvus]. 2015 67 197-208 [žiūrėta 2018-02-19]. Prieiga per: doi: 10.1016/j.matdes.2014.11.025
- DALHAMMAR Carl. Industry attitudes towards ecodesign standards for improved resource efficiency. *Journal Cleaner Production* [interaktyvus]. 2016 123 155-166 [žiūrėta 2017-11-15]. Prieiga per: doi:[10.1016/j.jclepro.2015.12.035](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.035)
- DODSON, J.R. ir kt. Elemental sustainability: Towards the total recovery of scarce metals. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification* [interaktyvus]. 2012, 51, 69-78 [žiūrėta 2018-04-04]. Prieiga per: doi: [10.1016/j.cep.2011.09.008](https://doi.org/10.1016/j.cep.2011.09.008)
- ECOINVENT CENTRE. Roland HISCHIER, Mischa CLASSEN, Martin LEHMANN, Wolfram SCHARNHORST Life cycle inventories of electric and electronic equipment: production, use and disposal. Data v2.0 2007. Ecoinvent report No. 18
- EKVAL Tomas ir Anders ANDRAE. Attributional and Consequential Environmental Assessment of the Shift to Lead-Free Solders (10 pp). *The International Journal of Life Cycle Assessment* [interaktyvus]. 2006 11(5) 344-353 [žiūrėta 2018-02-22] Prieiga per: ISSN: 0948-3349 ; E-ISSN: 1614-7502 ; DOI: 10.1065/lca2005.05.208
- ELDUQUE, Daniel, Carlos JAVIERRE, Carmelo PINA, Eduardo MARTÍNEZ ir Emilio JIMÉNEZ. Life cycle assessment of a domestic induction hob: electronic boards. *Journal of Cleaner Production* [interaktyvus]. 2014, 76, 74-84 [žiūrėta 2018-05-15]. ISSN: 0959-6526. Prieiga per: doi: 10.1016/j.jclepro.2014.04.009

EUROPOS KOMISIJA. Electrovalue. Electric and Electronic Eco-assembly Alternatives for Valorisation of End-of-life Products in Recycling Market. Life Cycle Assesment. 2010. Emplance, Intercycling. ISQ. D 3.3 Prieiga per: <http://ec.europa.eu/environment/life/>

Europos komisijos komunikatu (COM/2013/0196 final) „Žaliųjų produktų bendrosios rinkos kūrimas“

Europos Parlamento ir Tarybos Direktyva 2011-06-08 Nr. 2011/65/ES „Dėl tam tikrų pavojingų medžiagų naudojimo elektros ir elektroninėje įrangoje apribojimo“

Europos Parlamento ir Tarybos Direktyvoje 2012-07-04 Nr. 2012/19/ES „Dėl elektros ir elektroninės įrangos atliekų“

EUROPOS SAJUNGOS TEISĖ. Europos Parlamento ir Tarybos 2009-04-23 sprendimas Nr. 406/2009/EB „Dėl valstybių narių pastangų mažinti jų šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas, Bendrijai siekiant įvykdyti įsipareigojimus iki 2020 m. Sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas“ [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-04-22]. Prieiga per: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/HTML/?uri=CELEX:32013D1386&from=EN>

EUROPOS SAJUNGOS TEISĖ. Europos Parlamento ir Tarybos Direktyva 2009/28/EB Dėl skatinimo naudoti atsinaujinančią išteklių energiją [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2018-04-04]. Prieiga per: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/HTML/?uri=CELEX:32009L0028&rid=1>

EUROPOS SAJUNGOS TEISĖ. Europos Parlamento Ir Tarybos Direktyva 2012/19/ES Dėl elektros ir elektroninės įrangos atliekų [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2018-04-04]. Prieiga per: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/HTML/?uri=CELEX:32012L0019&rid=1>

EUROPOS SAJUNGOS TEISĖ. Europos parlamento ir tarybos direktyva 2009/125/EB 2009 m. spalio 21 d. nustatanti ekologinio projektavimo reikalavimų su energija susijusiems gaminiams nustatymo sistemą. [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-04-22]. Prieiga per: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/?qid=1527366196411&uri=CELEX:32009L0125>

EUROPOS SAJUNGOS TEISĖ. Europos parlamento ir tarybos direktyva Nr. 203/179/ES „Dėl produktų ir organizacijų būvio ciklo aplinkosauginio veiksmingumo matavimo ir pranešimo apie jį bendrų metodų taikymo 2013 m. balandžio 9 d. [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-04-22]. Prieiga per:

EUROPOS SAJUNGOS TEISĖ. Europos Parlamento Ir Tarybos sprendimas 1386/2013/ES 2013 m. lapkričio 20 d. Dėl bendrosios Sąjungos aplinkosaugos veiksmų programos iki 2020 m. „Gyventi gerai pagal mūsų planetos išgales“ [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-04-22]. Prieiga per: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32013D1386>

EUROSTAT. Europos statistikos portalas. Waste statistics - electrical and electronic equipment [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2018-05-04]. Prieiga per: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics_-_electrical_and_electronic_equipment

Flex Form technologies. Natural Fiber Composites a substitute for glass fiber? [interaktyvus] 2013. [žiūrėta 2018-03-02]. Prieiga per: <http://www.naturalfibersforautomotive.com/?p=20>

GHOSH B., M.K. GHOSH, P. PARHI, P.S. MUKHERJEE, B.K. MISHRA. Waste Printed Circuit Boards recycling: an extensive assessment of current status. *Journal of Cleaner Production* [interaktyvus] 2015 94 5-19. Prieiga per: 10.1016/j.jclepro.2015.02.024

GURAUŠKIENĖ, Inga ir Visvaldas VARŽINSKAS. Eco-design methodology for electrical and electronic equipment industry. *Environmental research, engineering and management = Aplinkos tyrimai, inžinerija ir vadyba*. Kaunas: Technologija, 2006, 3 (37). p. 43-51. ISSN: 1392-1649.

GURAUŠKIENĖ, Inga, Antanas STAŠKEVIČIUS ir Karolina AMBRAZAITIENĖ. Estimation of the Potential Recoverable Amount of Critical Metals from Waste Electric and Electronic Equipment in Lithuania. *Journal of*

- Environmental Research, Engineering and Management* [interaktyvus] 72 (2) 2016 pp. 56-70 [žiūrėta 2018-05-10]. Prieiga per: doi: 10.5755/j01.erem.72.2.16112
- HERTWICH, Edgar ir kt. Integrated life-cycle assessment of electricity-supply scenarios confirms global environmental benefit of low-carbon technologies. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2015, Vol.112(20), pp.6277-82 [interaktyvus] Prieiga per: doi: 10.1073/pnas.1312753111
- HISCHIER R. ir GALLEN E. St. Disposal of Electric and Electronic Equipment (e-Waste).Part V. 2007. Empa/Technology & Society Lab, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf. Prieiga per: <https://db.ecoinvent.org/reports/>
- HISCHIER R., M. CLASSEN, M. LEHMANN ir W. SCHARNHORST. Life cycle inventories of Electric and Electronic Equipment: Production, Use and Disposal. ecoinvent report No. 18. 2007. Empa / Technology & Society Lab, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf. Prieiga per: <https://db.ecoinvent.org/reports/>
- HOANG P. ir kt. What metrics to evaluate sustainability of photovoltaic systems? *Revue de Métallurgie – International Journal of Metallurgy* [interaktyvus]. 2014 [žiūrėta 2018-03-14]. Prieiga per: doi: 10.1051/metal/2014007
- HONG Jinglan ir Wenxiao SHI, Yutao WANG, Wei CHEN, Xiangzhi LI. Life cycle assessment of electronic waste treatment. *Waste Management* [interaktyvus]. 2015 38 357-365 [žiūrėta 2018-04-30]. Prieiga per: ISSN: 0956-053X ; DOI: 10.1016/j.wasman.2014.12.022
- HUNT, Andrew ir kt. The importance of elemental sustainability and critical element recovery. *Green Chemistry* [interaktyvus]. 2015 [žiūrėta 2017-11-20]. Prieiga per: doi: 10.1039/C5GC90019K.
- HUNT, Andrew J. ir James H. CLARK. *Element Recovery and Sustainability*. Royal Society of Chemistry, 2013. ISBN 978-1-84973-616-9
- ISO 14040: 2006 Aplinkos vadyba. Būvio ciklo vertinimas. Principai ir sandara. 2006 m. birželis
- ISO 14044:2006 Aplinkos vadyba. Būvio ciklo vertinimas. Reikalavimai ir nurodymai. 2006 m. birželis.
- ISWA, International Solid Waste Association. The impact of the 4th Industrial Revolution on the Waste Management Sector [interaktyvus]. 2017 [žiūrėta 2017-10-04]. Prieiga per <http://www.iswa.org>
- Jungtinių Tautų bendrosios klimato kaitos konvencijos Kioto protokolas, priimtas 1997-12-11
- KAULAKIENĖ, Angelė, Jonas MATUKAS, Vilius PALENSKIS, Vytautas Jonas VALIUKĖNAS, Pranas Juozas ŽILINSKAS. Aiškinamasis elektrotechnikos ir elektronikos gaminių terminų žodynas. Mokslo ir enciklopedijų leidybos centras. Vilniaus universitetas. 2014. ISBN 978-5-420-01738-8.
- KOMISIJOS KOMUNIKATAS (COM/2015/0614 final) Europos Parlamentui, tarybai, Europos Ekonomikos ir socialinių reikalų komitetui ir regionų komitetui „Uždaro ciklo kūrimas. ES žiedinės ekonomikos veiksmų planas“ 2015-02-12
- KOMISIJOS REGLAMENTAS (EB) Nr. 278/2009, kuriuo įgyvendinant Europos Parlamento ir Tarybos direktyvą 2005/32/EB nustatomi išorinių maitinimo šaltinių elektros energijos suvartojimo be apkrovos ir vidutinio efektyvumo aktyviuoju režimu ekologinio projektavimo reikalavimai 2009-04-06
- KRIŠČIŪNAS K., J.K.STANIŠKIS ir V.TRIČYS. *Mokslinė veikla: šiuolaikinės tendencijos*. Šiaulių universiteto leidykla, 2007. ISBN 978-9986-38-835-7
- LEMAGNEN Maud, Fabrice MATHIEUX, Bertrand LARATTE, Daniel BRISSAUD. Assessment of chemical risk during product life cycle: a new method to be used during product design. *16th International CIRP*

- Conference on Life Cycle Engineering*, 2009, Cairo, Egypt. pp.91-98. Prieiga per: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00455699/document>
- LI Guoping ir Yun HOU, Aizhi ZU. Fourth Industrial Revolution: technological drivers, impacts and coping methods. *Chinese Geographical Science* [interaktyvus] 2017 27(4) 626-637 [žiūrėta 2018-04-15]. Prieiga per: doi: 10.1007/s11769-017-0890-x
- LI Jinhui ir Xianlai ZENG, Sb STEVELS. Ecodesign in Consumer Electronics: Past, Present, and Future. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* [interaktyvus]. 2014 [Žiūrėta 2018-02-15]. Prieiga per: ISSN: 1064-3389; E-ISSN: 1547-6537; doi: 10.1080/10643389.2014.900245
- LIETUVOS PRAMONINKŲ KONFEDERACIJA. Lietuvos makroekonominė apžvalga 1 pusmetis [interaktyvus]. 2017 [žiūrėta 2018-03-08] .Prieiga per <http://www.lpk.lt/>
- LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymas „Dėl elektros ir elektroninės įrangos bei jos atliekų tvarkymo taisyklių patvirtinimo“: 2004 m. rugsėjo 10 d. Nr. D1-481 [interaktyvus]. [žiūrėta 2017-12-06]. Prieiga per: <https://www.e-tar.lt/portala/lt/legalAct/TAR.CCEDC459B59F/JbpbKtkNKS>
- LIETUVOS STATISTIKOS DEPARTAMENTAS. Oficialiosios statistikos portalas energetikos statistika 2016 m. [interaktyvus]. 2017 [žiūrėta 2018-02-03]. Prieiga per: <https://osp.stat.gov.lt>
- LIU Jingping ir Cheng YANG, Haoyi WU, Ziyin LIN, Zhexu ZHANG, Ronghe WANG, Baohua LI, Feiyu KANG, Lei SHI, Ching Ping WONG Future paper based printed circuit boards for green electronics: fabrication and life cycle assessment. *Energy & Environmental Science*[interaktyvus]. 2014, 7(11), 3674-3682 [žiūrėta 2018-03-17]. ISSN: 1754-5692 ; E-ISSN: 1754-5706 ; Prieiga per: doi: 10.1039/c4ee01995d
- MAYNARD, Andrew D. Navigating the fourth industrial revolution. *Nature Nanotechnology* [interaktyvus]. 2015 [žiūrėta 2018-05-10]. Prieiga per: doi: 10.1038/nnano.2015.286
- MALINAUSKIENĖ Milda ir Irina KLIPOVA, Milda SLAVICKAITĖ, Jurgis Kazimieras STANIŠKIS Integrating resource criticality assessment into evaluation of cleaner production possibilities for increasing resource efficiency. *Clean Technologies and Environmental Policy* [interaktyvus] 2016 18(5), 1333–1344 [žiūrėta 2018-05-08]. Prieiga per: doi:10.1007/s10098-016-1091-5.
- MUÑOZ Ivan ir Cristina GAZULLA, Alba BALA, Rita PUIG, Pere FULLANA. LCA and ecodesign in the toy industry: case study of a teddy bear incorporating electric and electronic components. *The International Journal of Life Cycle Assessment* [interaktyvus]. 2009 14(1) 64-72 [žiūrėta 2018-05-13]. ISSN: 0948-3349; E-ISSN: 1614-7502; Prieiga per:doi: 10.1007/s11367-008-0044-6
- SAKAO T. Ir M FARGNOLI. Mass customization issues for environmentally conscious design. DS 36: *Proceedings DESIGN 2006, the 9 th International Design Conference, Dubrovnik, Croatia* [interaktyvus]. 2006 [žiūrėta 2018-03-21]. Prieiga per: <https://www.designsociety.org/publication/19152/MASS+CUSTOMIZATION+ISSUES+FOR+ENVIRONMENTALLY+CONSCIOUS+DESIGN>
- STANIŠKIS, Jurgis Kazimieras ir Visvaldas VARŽINSKAS, Rasa USELYTĖ. Gaminių ekologinis projektavimas: monografija. Kaunas, 2005. ISBN9955-09-923-2
- STANIŠKIS, Jurgis Kazimieras, Žaneta STASIŠKIENĖ, Irina KLIPOVA. Subalansuotos pramonės plėtros strategija: teorija ir praktika. Monografija. Kaunas: Technologija, 2004. ISBN 9955-09-718-3
- STATISTA. *E-waste generation per capita globally by region 2016 statistic* [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2018-04-04]. Prieiga per: <https://www.statista.com>

- SUYANG, Gu ir Liu JINGJING. Life cycle assessment on autoliv's electronic control unit. Chalmers university of technology. 2010. Master of Science Thesis in the Environmental Measurements and Assessments Department of Energy and Environment Division of Environmental Systems Analysis.
- SUNG Ji Ho ir kt. Coplanar semiconductor–metal circuitry defined on few-layer MoTe2 via polymorphic heteroepitaxy. *Nature Nanotechnology* [interaktyvus] 2017. Prieiga per: doi: [10.1038/NNANO.2017.161](https://doi.org/10.1038/NNANO.2017.161)
- ŠTARAS Stanislovas. Puslaidininkinės ir funkcinės elektronikos įtaisai. Vilnius: Technika [interaktyvus] 2009 [žiūrėta 2018-03-11] <http://www.ebooks.vgtu.lt/pdfreader/puslaidininkins-ir-funkcins-elektronikos-taisai> ISBN: 9789986058793; prieiga per DOI: 10.3846/782-S. UDK: 621.38 (075.8)
- ŠTREIMIKIENĖ, Dalia ir Ilona Ališauskaitė-Šeškienė Lietuvos gyventojų pasirengimo mokėti už atsinaujinančius energijos išteklius vertinimas. *ENERGETIKA*. [interaktyvus]. 2014. T. 60. Nr. 3. P. 169–183 [žiūrėta 2018-01-15] Prieiga per www.lmaleidykla.lt
- TÓTH Gergely ir Valdas ARBAČIAUSKAS. Aplinkos apsaugos veiksmingumo įvertinimas. Kaunas: Technologija. 2005. ISBN 9955-09-837-6.
- UNIDO. United Nations Industrial Development Organization. Quarterly Report on Manufacturing [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2018-04-04]. Prieiga per: <https://www.unido.org/resources/statistics/quarterly-report-manufacturing>
- VARŽINSKAS V. ir R. USELYTĖ Gaminių ekologinio projektavimo vadovas. Mokomoji knyga. Kaunas: Technologija, 2006. ISBN 9955-25-030-5.
- VARŽINSKAS, Visvaldas ir Jurgis Kazimieras STANIŠKIS. Ekologinis gaminių projektavimas - svarbi tausojančio vartojimo ir gamybos priemonė. *Darnaus vystymosi strategija ir praktika*. [interaktyvus] 2008, 1 (2) 40-50 [žiūrėta 2018-04-14]. ISSN 2029-1558. Prieiga per: <https://www.lituanistikadb.lt>
- WANG, X.V ir Lihui WANG. A cloud-based production system for information and service integration: an internet of things case study on waste Electronics. *Enterprise Information Systems* [interaktyvus] 2016 11(7) 952-968 [žiūrėta 2018-03-22]. Prieiga per: doi: [10.1080/17517575.2016.1215539](https://doi.org/10.1080/17517575.2016.1215539)
- WANG, X.V ir Lihui WANG. From Cloud Manufacturing to Cloud Remanufacturing: A Cloud-based Approach for WEEE Recovery. *Manufacturing Letters* [interaktyvus] 2014 2(4) 91-95 [žiūrėta 2017-12-12]. Prieiga per: doi: [10.1016/j.mfglet.2014.06.002](https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.06.002)
- ZENG X ir kt. Innovating e-waste management: From macroscopic to microscopic scales. *Journal Science of The Total Environment*. [interaktyvus] 2017, 575 1-5 [žiūrėta 2017-09-30]. Prieiga per: doi: [10.1016/j.scitotenv.2016.09.078](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.078)
- ZENG Xianlai ir Jinhui LI. *Measuring the recyclability of e-waste: an innovative method and its implications*. *Journal Science Direct* [interaktyvus]. 2016. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.055>
- ZHANG L. ir Z. A XU. *A review of current progress of recycling technologies for metals from waste electrical and electronic equipment*. *Journal Cleaner Product* [interaktyvus] 2016. Prieiga per doi: [10.1016/j.jclepro.2016.04.004](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.004)