



## POLIETILENINIŲ IR KALIOJO KETAUS VAMZDŽIŲ BŪVIO CIKLO ANALIZĖ

Lukas KIRSLSYS<sup>1</sup>, Mindaugas RIMEIKA<sup>2</sup>

*VGTU AIF Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos katedra*

*El. paštas: <sup>1</sup>lukas.kirslys@stud.vgtu.lt; <sup>2</sup>mindaugas.rimeika@vgtu.lt*

**Anotacija.** Vandentvarkos ūkyje inžineriniams tinklams naudojamos įvairios medžiagos, kurioms pagaminti, eksploatuoti bei utilizuoti būtinos energijos sąnaudos, o šių procesų metu į aplinką išsiskiria teršalai. Būvio ciklo analizė atlikta naudojantis kompiuteriniais modeliais, sudarytais *SimaPro 7.3* programa ir remiantis ISO14040 rekomendacijomis. Nustatytas plačiausiai vandentiektyje naudojamų polietileninių (d110 mm) ir kaliojo ketaus (DN100) vandentiekio vamzdžių galimas poveikis aplinkai. Tyrimai atlikti taikant nustatytas sistemos ribas, į kurias buvo įtraukta žaliavų ir vamzdžių gamyba, palikimas grunte ir transportavimas tarp skirtingų būvio ciklo etapų, pasirinktas tirti funkcinis vienetas – 500 metrų vamzdžių ilgio. Gamybos ciklas įvertintas modeliuojant pagrindinius technologinius procesus: polietileno granulių ekstruziją ir geležies rūdos lydymą bei taikant reikiamus elektros energijos ir šilumos energijos kiekius. Po 50 metų eksploatacijos trukmės vamzdžiai paliekami grunte. Atlikus modeliavimą ir palyginus polietileninius ir kaliojo ketaus vamzdžius, nustatyta, kad vertinant bendrą poveikį aplinkai, didesnę neigiamą įtaką turi kaliojo ketaus vamzdžiai. Tyrime poveikis aplinkai vertinamas pagal 7 teršalų: stibio, sieros dioksido, fosfatų, anglies dioksido, trichlorofluorometano, eteno ir metano ekvivalentus.

**Reikšminiai žodžiai:** polietilenas, kalusis ketus, būvio ciklo vertinimas, sistemos ribos, aplinkos komponentai.

### Įvadas

Vandentvarkos sektorius visame pasaulyje susiduria su didėjančiu iššūkiu – populiacijos augimu, sąlygojančiu vis didesnę vandens išteklių naudojimą ir vandens tiekimo sistemos plėtrą.

Igyvendinant darnų vandentvarkos sistemos vystymąsi, būtini metodai ir priemonės, galintys padėti įvertinti bei palyginti poveikį aplinkai, kurį sukelia antropogeninė veikla, reikalinga plėtros poreikiams užtikrinti (Baumann ir Tilman, 2004).

Darnaus vystymosi rodikliams vertinti ir palyginimams atlikti naudojamas būvio ciklo vertinimas (angl. *life – cycle assessment (LCA)*). Taikant šį vertinimo metodą nustatomi potencialūs aplinkos pokyčiai, o tai leidžia ieškoti mažiau aplinkai kenksmingų gamybos ir veiklos būdų (Uluer, Gök, Ünver ir Kilie, 2012).

Būvio ciklo vertinimas – metodologinė struktūra, leidžianti apskaičiuoti ir įvertinti poveikį aplinkai (klimato kaita, stratosferos ozono sluoksnio plonėjimas, troposferos ozono didėjimas, eutrofikacija, rūgštėjimas, toksikologinis stresas žmogaus sveikatai ir ekosistemoms,

išteklių eikvojimas), kuris atsirado tam tikro produkto ar proceso ciklo metu (Rebitzer et al., 2004).

Būvio ciklo vertinimas apibrėžtas tarptautinės standartų organizacijos ISO14040 metodologija, leidžiančia nustatyti potencialų poveikį aplinkai ir ištekliams per visą produkto ar proceso gyvavimo laikotarpį (ISO 14040, 2006).

Naudojant būvio ciklo vertinimą, pateikiama ne tik kokybinė, tačiau ir kiekybinė informacija apie energijos ir išteklių vartojimą ciklo metu ir susidarancius teršalus. Taikant šį metodą galima nustatyti ne tik esamą neigiamą poveikį, tačiau ir galimą naudą aplinkai, pasirenkant mažiau kenksmingus gamybos bei eksploatavimo metodus (Baumann ir Tilman, 2004).

Vertinamas produkto būvio ciklas susideda iš kelių etapų: žaliavų apdorojimo, produkto elementų gamybos, paskirstymo, produkto eksploatavimo ir nebetinkamo naudoti produkto utilizavimo arba perdirbimo (Uluer et al., 2012). 1 paveiksle išskirti skirtingi būvio ciklo etapai. Gamybos išteklių apdorojimo procese žaliavos paruošiamos

ir apdorojamos tolesniems procesams, kurių metu sukuriamas tam tikras produktas. Produkto gamybos metu paruoštos žaliavos ir komponentai sujungiami į vientisą objektą, kuris bus transportuojamas iki eksploatacijos vietos.



1 paveikslas. Būvio ciklo schema

Eksploatavimo etape produktas eksploatuojamas numatytą laikotarpį, po kurio pasiekiamas paskutinis etapas – utilizavimas (šalinimas sąvartyne, perdirbimas, pakartotinis panaudojimas) (Uluer et al., 2012).

Siekiant efektyviai rinkti ir analizuoti duomenis, būtina apibrėžti sistemos ribas. Gaminio būvio ciklai yra kompleksiniai ir tarpusavyje susiję. Sudėtinga sistema gali tapti pernelyg plati, kad efektyviai būtų surinkti duomenys ir tarpusavyje palyginti gaminio būvio ciklo komponentai. Tačiau nagrinėjamoji sistema neturi būti pernelyg siaura, kad nebūtų praleisti gaminio būvio ciklo komponentai, reikšmingai veikiantys aplinką. Naudinga sudaryti sistemos schemą ir nustatyti jos ribas. Taip pat svarbu nuspręsti, ar bus įtrauktas gamybos ir technologinių įrenginių galutinis sutvarkymas. Duomenų šaltiniai gali būti labai įvairūs: tiesioginiai matavimai, teoriniai medžiagų ir energijos balansai, statistinių duomenų bazės, informacija, gauta iš gamintojų, literatūra. Duomenų bazėse galima rasti daug informacijos, tačiau reiktų pastebėti, kad mažiausiai kelių procesų ar medžiagų negalima rasti iš viso arba turimi duomenys yra nereprezentatyvūs (Navickas ir Venslauskas, 2012).

Tarptautiniu mastu būvio ciklo vertinimas neseniai naudojamas vandentvarkos sektoriuje, tačiau augantis straipsnių skaičius pastaruoju metu įrodo, kad vis labiau rūpinamasi dėl vandentvarkos sektoriaus poveikio aplinkai (Godskesen, Hauschild, Rygaard, Zambrano ir Albrechtsen, 2012).

Kadangi vandentvarkos sektorius yra platus, būvio ciklo vertinimo tikslai bei tiriamieji objektai skiriasi. Tai priklauso nuo geografinių aplinkybių ir vietos sąlygų. Pas-

taraisiais metais nagrinėjami įvairių vandentiekioje naudojamų medžiagų būvio ciklai, jų poveikiai, tiriamos siurblių ir slėginės sistemos, modeliuojant energijos kiekius, reikalingus nustatytam slėgiui ar debitui sistemoje palaikyti. Nagrinėjamas vandentiekio vamzdžių poveikis geriamojo vandens įtakai – modeliuojamos sąlygos ir laikas, per kurį vamzdynai pradėtų irti ir neigiamai veiktų aplinką (Hendrickson, 2013).

Vandentiekio tinkluose naudojami ketaus, plieno, asbestcemenčio, gelžbetonio, plastiko ir kitokių medžiagų vamzdžiai. Lauko vandentiekio tinklams dažnai naudojami plastikiniai vamzdžiai. Jie labai lengvi, glotnaus paviršiaus, atsparūs korozijai bei klaidžiojančių elektros srovių poveikiui. Dažniausiai naudojami polietiliniai (PE) ir polivinilchloridiniai (PVC) vamzdžiai. Polietiliniai slėginiai vamzdžiai gaminami trijų tipų (mažo tankio, vidutinio tankio, didelio tankio) naudojant skirtingas polietileno granuliu rūšis (Aksamitauskas ir Neseckas, 2005).

Antroji dažniausiai vamzdžiams naudojama medžiaga – kalusis ketus, pasižymintis ilgaamžiškumu ir patvarumu, o padengti cinku šie vamzdžiai yra atsparūs korozijai ir kitoms agresyvioms medžiagoms, tad juos galima naudoti užterštuose gruntuose. Atsižvelgiant į vandens kokybę ir cheminę sudėtį, kalusis ketus gali būti stipriai veikiamas vandenyje esančių aktyviųjų priedų. Dėl šios priežasties vamzdžio vidus yra padengiamas cementu.

Tyrimais siekiama nustatyti, kuri iš pasirinktų vandentiekio vamzdžių medžiagų yra mažiau kenksminga aplinkai.

Tyrimo tikslas – nustatyti ir palyginti pasirinktų vandentiekio vamzdžių būvio ciklo sunaudojamus energijos kiekius, susidarančias teršalų emisijas ir įtaką atskiriems aplinkos komponentams.

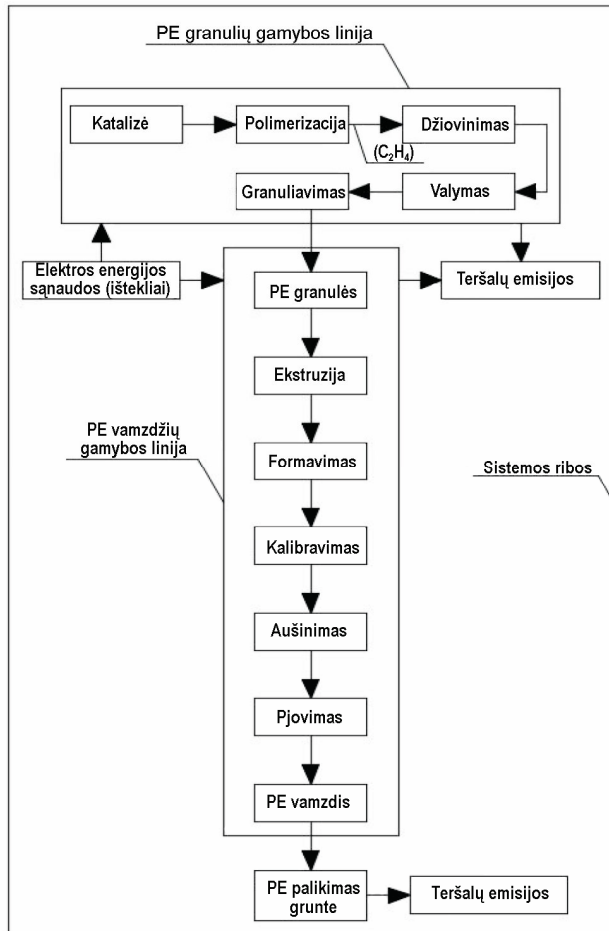
### Metodika

Tyrimo metu sukurti du pasirinktų vandentiekio plačiausiai naudojamų medžiagų – polietileno ir kaliojo ketaus vamzdžių modeliai, o gauti rezultatai lyginami pagal funkcinių vienetą – 500 metrų vamzdžių ilgį.

Tiriamas polietilenui vamzdis, kurio skersmuo – d110 mm, sienelės storis – 6,6 mm, SDR 17, MRS 10 MPa (PE100) ir kaliojo ketaus vamzdis, kurio skersmuo – DN100 mm, sienelės storis – 8,7 mm, leistinas darbinis slėgis – 16 bar. Tiriamieji objektai pasirinkti dėl optimalaus pralaidumo, plataus naudojimo Lietuvos vandentiekio tinkluose, žiedinių vandentiekio tinklų reikalavimo.

Tyrimai atliekami naudojantis *SimaPro 7.3* kompiuterine programine įranga bei ISO14040 rekomendacijomis, kuriose apibrėžiamos būvio ciklo tyrimų ribos, etapai, analizuojamos teršalų grupės ir aplinkos komponentai.

Polietilenui vamzdzių modeliavimas atliktas remiantis nusistatytais sistemos ribomis (2 paveikslas). Į sistemos ribas įtraukiami PE granulių gamybos ir transportavimo, vamzdzių gamybos ir transportavimo bei palikimo grunte procesai.



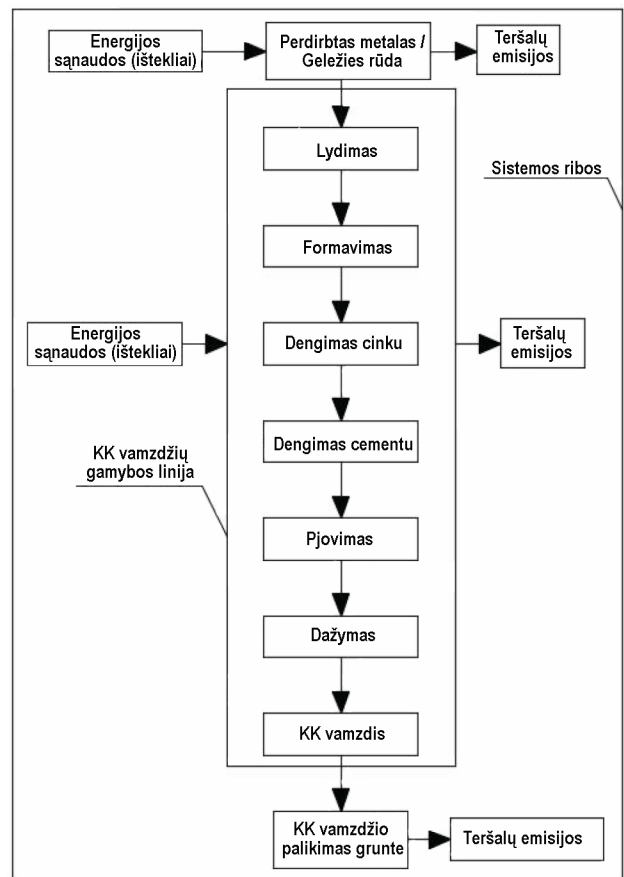
2 paveikslas. Polietilenui vamzdzių būvio ciklo sistemos ribos

Siekiant įvertinti PE vamzdzių gamybos ciklą, į sistemą įvedami pradiniai duomenys, kurie yra reikšmingi vamzdzių ciklo procesuose. Pateikiama informacija, kad PE granulės gaminamos Vokietijoje, Kelno (vok. *Köln*) mieste esančioje gamykloje. Remiantis gamintojų gauta informacija, PE granulės transportuojamos krovininiais sunkvežimiais, bendras svoris (bruto) transportavimo metu – 24 tonos. *SimaPro* programoje transportavimas įvertinamas tkm vienetu (kiek tonų pervežama nustatytu atstumu, matuojant kilometrais). Pasirenkamas EURO 5 standartą atitinkantis transportavimo būdas sunkvežimiu. Įvertintas ir pagamintų vamzdzių transportavimas į

eksploatacijos vietą, pasirinktas atstumas ~ 200 km, bendra PE granulių ir PE vamzdzių transportavimo reikšmė – 42240 tkm (1 lentelė).

1 lentelė. Polietilenui vamzdzių įvesties duomenys

Medžiaga / procesas	Vienetai	Reikšmė
Polietileno granulės	t	15
El. energija	kWh	7500
Transportavimas	tkm	42240
Ekstruzija	t	15
Palikimas grunte	t	15



3 paveikslas. Kaliojo ketaus vamzdzių būvio ciklo sistemos ribos

PE vamzdzių gaminimo procese naudojamas pagrindinis technologinis procesas – ekstruzija.

Ekstruzijos proceso įtaka įvertinama granulių kiekiu, kuris yra tiekiamas į ekstrudorių (15 t), likę technologiniai procesai yra įvertinami įvedus į modelį elektros energijos sąnaudas. Technologinių procesų duomenys ir informacija apie įrenginių našumą gauti iš vamzdzių gamintojų bei rinkoje esančių įrenginių techninių specifikacijų. Po 50 metų eksploatacijos vamzdžiai paliekami grunte. Eksploatacijos trukmė pasirenkama atsižvelgiant į pateikiamus PE vamzdžiams minimalius reikalavimus bei į gamintojų

suteikiamą informaciją, jog tai yra garantuojama PE vamzdžių naudojimo trukmė.

Kaliojo ketaus modelis sukuriamas atsižvelgiant į tuos pačius būvio ciklo etapus kaip ir PE vamzdžių, prieš tai apsibrėžus objekto sistemos ribas (3 paveikslas). Kaliojo ketaus vamzdžių gamybos vieta pasirinkta Veclaro mieste (vok. *Wetzlar*), iki kurio geležies rūda transportuojama traukiniu nuo geležies rūdos išgavimo vietos, atstumas – 100 km, krovinio svoris – 70 t. Geležiai apdirbti ir vamzdžiams gaminti naudojama aukšta temperatūra (>1300 °C), todėl šiam ciklui įvertinti pasirinkta šilumos gamyba taikant gamtines dujas –  $10,5 \cdot 10^5$  Mj.

Iš gamyklos kaliojo ketaus vamzdžiai transportuojami kroviniu sunkvežimiu iki Vilniaus m. ir 200 km į gretimas vietas. Transportavimas įvertinamas krovinio svoriu 9 t ir bendro atstumo – 1700 km vienetu – 15300 tkm. Po 50 metų eksploatacijos trukmės pasirinkama, jog vamzdžiai paliekami grunte. Kaliojo ketaus įvesties duomenys pateikti 2 lentelėje.

2 lentelė. Kaliojo ketaus vamzdžių įvesties duomenys

Medžiaga / procesas	Vienetai	Reikšmė
Geležies rūda	t	70
Geležies transportavimas	tkm	7000
Geležies apdirbimas	MJ	1050000
Vamzdžių transportavimas	tkm	15300
Vamzdžių palikimas grunte	t	9

## Rezultatai ir jų analizė

Atlikus tiriamųjų objektų modeliavimą *SimaPro* būvio ciklo vertinimo programa, vertinamos 7 pagrindinių

teršalų emisijos: stibio (Sb), sieros dioksido (SO<sub>2</sub>), fosfatų (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), anglies dioksido (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), trichlorfluormetano (CFC-11), eteno (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>).

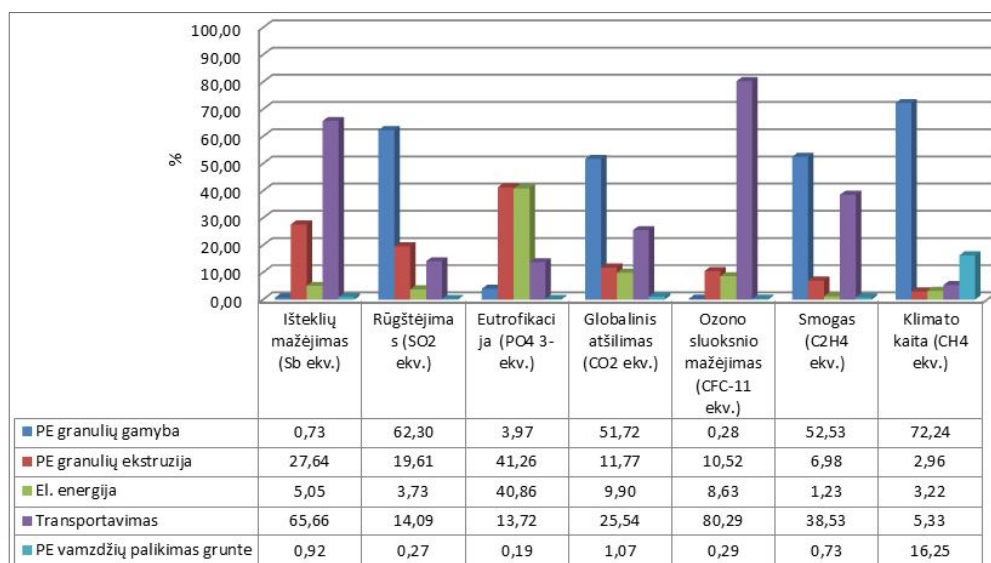
Nagrinėjamos teršalų grupės pasirinktos atsižvelgiant į nagrinėtą literatūrą bei šiuo metu didžiausias klimato problemas – globalinį atšilimą, vandens telkinių eutrofikaciją, smogo didėjimą ir ozono sluoksnio mažėjimą. Didžioji dalis (išskyrus fosfatus, sukeliančius eutrofikaciją) kriterijų lemia aplinkos klimato ir oro pokyčius, sukeliančius tiesiogines ir netiesiogines pasekmes žmonių sveikatai bei gyvajai gamtai.

Kiekvieno aplinkos komponento poveikis įvertinamas atskiru reikšmingumu, kuris pagal ISO 14044 standartą skirstomas į penkias kategorijas:

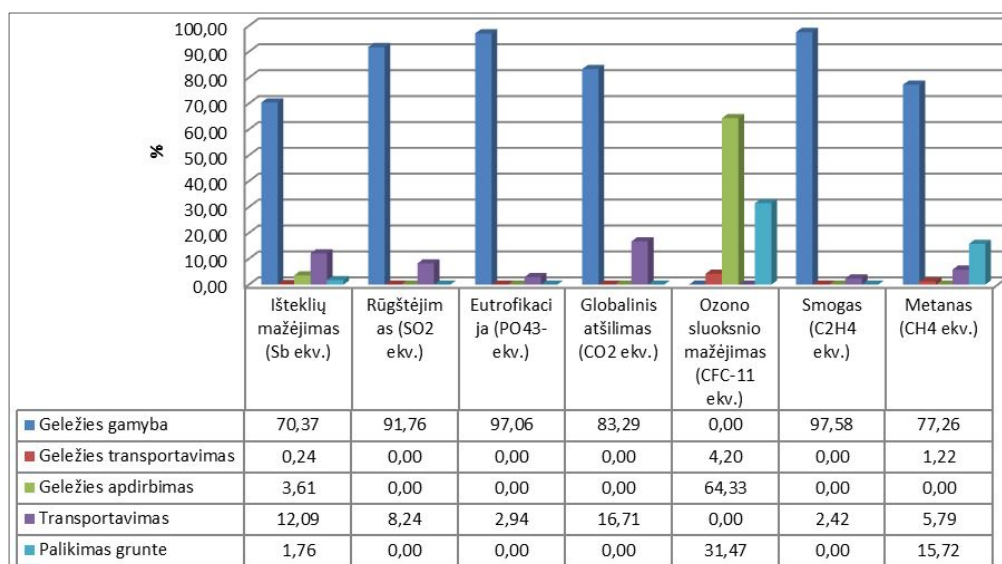
- Reikšmingiausia įtaka – >50 %;
- 25 % < svarbi įtaka ≤50 %;
- 10 % < mažiau svarbi įtaka ≤25 %;
- 2,5 % < minimali įtaka ≤10 %;
- Įtakos nėra, pokyčiai neatsiras – <2,5 %.

Bendras būvio ciklo poveikis prilyginamas 100 % visuose komponentuose. Naudojant *Microsoft excel* programinę įrangą, procentaliai įvertinamas poveikis, kurį sukelia 500 m ilgio PE vamzdžių būvio ciklas.

PE vamzdžių būvio ciklo poveikio aplinkai rezultatai pateikti 4 paveiksle. Apskaičiuota, kad reikšmingiausių neigiamą (>50 %) poveikį sukuria PE granulių gamyba ir transportavimo etapas. Tai lemia naftos išgavimo ir apdorojimo procesai, kadangi jų metu išsiskiria dideli sieros junginių bei metano kiekiai. Transportavimo metu sunkvežimiai sunaudoja didelius dyzelinio kuro kiekius, o to pasekmė, kad šis etapas 80 % lemia įtaką ozono sluoksnio mažėjimui.



4 paveikslas. Polietilenui vamzdžių būvio ciklo poveikis aplinkai



5 paveikslas. Kaliojo ketaus vamzdžių būvio ciklo poveikis aplinkai

Modeliuojant atlikta el. energijos importo į Lietuvą analizė pagal AB „Litgrid“ gautus duomenis. Nustatyta, kad pagrindiniai tiekėjai 2016–2017 m. buvo Švedija, Latvija ir Estija, kurių bendras importuojamas kiekis sudarė 44,4 % (487 GWh). Remiantis gautais analizės rezultatais, pasirenkama el. energijos gamybos vieta – Estija. Modeliavimo metu pasirinktas el. energijos išgavimas sukuria reikšmingesnius rezultatus oro bei vandens komponentams, kadangi jos išgavimo metu išsiskiria CO<sub>2</sub> bei PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, skatinantys klimato šiltėjimą bei vandens telkinių eutrofikaciją.

Minimalią arba nereikšmingą įtaką sukuria el. energijos gavyba (išskyrus poveikį vandens telkiniams), vamzdžių palikimas grunte, tačiau šio etapo emisijas galima sumažinti ar netgi panaikinti, pasirinkus PE vamzdžių perdirbimą. Jo metu eksploatuoti netinkami PE vamzdžiai surūšiuojami pagal klases, susmulkinami į PE granules, kurios gali būti panaudotos naujų, žemesnės klasės vamzdžių gamybai.

5 paveiksle pateiktas grafikas, kuriame išskirti kaliojo ketaus būvio ciklo etapai ir jų metu į aplinką išmetami

teršalai. Didžiausią neigiamą poveikį nagrinėjamos kategorijose turi geležies gamyba. Galima daryti prielaidą, kad tai lemia geležies rūdos išgavimo procesai, kuomet sunkioji technika naudoja didelius kiekius iškastinio kuro. Reikšmingiausiai ozono sluoksnį veikia geležies apdirbimas, kuris modeliuojant yra įvertintas šilumos kiekiu, pasiektu naudojant gamtines dujas. Likę būvio ciklo etapai sukuria minimalią (<10 %) įtaką.

Atlikus tiriamųjų vamzdžių: PE ir kaliojo ketaus būvio ciklo vertinimą ir gavus modelių rezultatus aplinkos komponentams, jie yra palyginami pagal 7 pagrindinius komponentus, nurodytus 3 lentelėje. Lyginamasis funkcinis vienetas – 500 m vamzdžių.

Aplinkosauginiu požiūriu visose kategorijose didesni neigiamą poveikį sukuria kaliojo ketaus vamzdžių būvio ciklas.

Lyginant bendrus ciklų rezultatus, mažiausios emisijos gaunamos stibio (PE atveju –  $1,3 \cdot 10^{-5}$  kg, kaliojo ketaus –  $1,3 \cdot 10^{-4}$  kg) ir trichlorofluorometano (PE ciklo metu –  $2,0 \cdot 10^{-10}$  kg, atitinkamai kaliojo ketaus –  $2,0 \cdot 10^{-6}$  kg), lemiančių išteklių bei ozono sluoksnio mažėjimą.

3 lentelė. Polietileninių ir kaliojo ketaus būvio ciklų teršalų emisijos į aplinką

Poveikio kategorija	Išteklių mažėjimas (kg Sb ekv.)	Rūgštėjimas (kg SO <sub>2</sub> ekv.)	Eutrofikacija (kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ekv.)	Globalinis atšilimas (kg CO <sub>2</sub> ekv.)	Ozono sluoksnio mažėjimas (kg CFC-11 ekv.)	Smogas (kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ekv.)	Klimato kaita (kg CH <sub>4</sub> ekv.)
1	2	3	4	5	6	7	8
Polietilenas	$1,3 \cdot 10^{-5}$	7,2	2,3	3400,0	$2,0 \cdot 10^{-10}$	$3,4 \cdot 10^{-3}$	22,0
Kalusis ketus	$1,3 \cdot 10^{-4}$	33,4	24,9	15187,0	$2,0 \cdot 10^{-6}$	0,19	55,9

Ryškiausi skirtumai tarp PE ir kaliojo ketaus vamzdžių rezultatų pastebimi fosfatų ir anglies dioksido emisijose, kuriose skirtumai tarp tirtųjų vamzdžių skiriasi iki 11 kartų: PE ciklo metu susidaro 2,3 kg fosfatų, o kaliojo ketaus – 24,9 kg.

Kaliojo ketaus būvio ciklo reikšmingesnę įtaką aplinkai galima sieti su didesnėmis energijos sąnaudomis, didesniu žaliavos ir produkto svoriu, tiesiogiai veikiančiu transportavimo etapą.

Atsižvelgiant į nagrinėtos literatūros šaltinių ir tyrimuose naudotų skaičiavimo metodikų bei nagrinėjamų vamzdžių būvio ciklo etapų emisijų duomenis, galima teigti, kad nagrinėtoje literatūroje pateikti tendencingi teršalų emisijų rezultatai. Skirtumai tarp tyrimo rezultatų bei literatūroje pateiktų rezultatų svyruoja 2 % – 15 %, tačiau visuose tyrimuose pastebima, kad kaliojo ketaus būvio ciklas daro didesnę neigiamą poveikį aplinkos komponentams, o jo metu susidaro didesni teršalų kiekiai.

## Išvados

1. Apskaičiuota, kad reikšmingiausią >50 % įtaką PE ir kaliojo ketaus vamzdžių būvio cikluose sukuria žaliavų gamyba bei išgavimas. Šių etapų metu išskiriami itin dideli CO<sub>2</sub> kiekiai į atmosferą (PE ciklo metu – 3,4 t, kaliojo ketaus – 15,1 t), kurie didžiaja dalimi lemia galutinį išmetamų CO<sub>2</sub> teršalų kiekį.

2. Metanas – vienas iš svarbiausių teršalų, sąlygojančių klimato kaitą. CH<sub>4</sub> poveikis yra 25 kartus didesnis nei CO<sub>2</sub>, tačiau egzistavimo laikas yra trumpesnis – 10–15 metų. PE ciklo metu susidaro 22,0 kg, o kaliojo ketaus ciklo metu išsiskiria 55,9 kg CH<sub>4</sub>.

3. Poveikis vandens telkiniams buvo vertinamas fosfatais, kurie skatina eutrofikacijos reiškinį. Dėl vamzdžių gamyboje naudojamų medžiagų ir technologijų skirtumas tarp PE ir kaliojo ketaus vamzdžių siekia 11 kartų: PE ciklo metu susidaro 2,3 kg, kaliojo ketaus – 24,9 kg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>.

4. Kaliojo ketaus būvio ciklo metu 6-ose kategorijose žaliavos gavyba pasiekia >70 % poveikį. Šio etapo metu taip pat išsiskiria didžiausi teršalų kiekiai, nulemiantys viso ciklo reikšmingesnę poveikį aplinkai lyginant su polietileninių vamzdžių būvio ciklu.

## Literatūra

- Aksamitauskas, V. Č. ir Neseckas, A. (2005). *Požeminiai inžineriniai tinklai: Mokomoji knyga*. Vilnius: Technika. 130 p. <https://doi.org/10.3846/777-S>
- Baumann, H., & Tilman, A. M. (2004). *The Hitch Hiker's guide to LCA*. Lund: Studentlitteratur. 543 p.

- Environmental management. (2009). *The ISO 14000 family of International Standard* (2<sup>nd</sup> ed.).
- Godskesen, B., Hauschild, M., Rygaard, M., Zambrano, K., & Albrechtsen, H. J. (2012). Life cycle assessment of central softening of very hard drinking water. *Journal of Environmental Management*, 105(30), 83-89. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.03.030>
- Hendrickson, T. P. (2013). *Carbon and water resource management for water distribution systems*. University of California, Berkeley.
- Navickas, K. ir Venslauskas, K. (2012). *Biomės būvio ciklo analizė: Mokomoji knyga*. Aleksandro Stulginskio universitetas. Kaunas: Akademija. 85 p.
- Rebitzer, G., Ekvall, T., Frischknecht, D., Hunkeler, D., Norris, G., Rydberg, T., Schmidt, W. P., Suh, S., Weidema, B. P., & Pennington, D. W. (2004). Life cycle assessment. Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. *Environment International*, 30(5), 701-720. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2003.11.005>
- Uluer, M. U., Gök, G., Ünver, H. Ö., & Kilie, S. E. (2012). Towards a decision support framework for sustainable manufacturing. Seliger G. (Ed.), *Sustainable Manufacturing*. Springer, Berlin, Heidelberg. ISBN 978-3-642-27290-5.

## LIFE CYCLE ANALYSIS OF POLYETHYLENE AND DUCTILE IRON WATER PIPES

L. Kirslys, M. Rimeika

### Summary

In the water management system, engineering networks are built to produce, operate and utilize a variety of materials. During this process, pollutants are released into the environment. To determine the environmental impact and evaluate the life cycle of the product, the SimaPro 7.3 program and the ISO14040 documentation were used. The life-cycle models of the most widely used polyethylene (d110 mm) and ductile iron (DN100 mm) pipes were modelled. The research is carried out using established system boundaries, which include raw material production, pipe production, pipe recovery and transportation between different stages of life cycles. The production cycle is evaluated by modelling the main technological processes: extrusion of polyethylene granules and iron ore accompaniment and applying the necessary quantities of electricity and heat. According to the waste scenario, after 50 years of service life, pipes are left in the ground. After modelling and comparison of polyethylene and ductile iron pipes, it was found that ductile iron pipes have higher negative environmental impact. The environmental impact of the product studied is estimated at 7 emission equivalents, which affect the individual environmental components: antimony, sulfur dioxide, phosphates, carbon dioxide, trichlorofluoromethane, ethene and methane.

**Keywords:** polyethylene, ductile iron, life cycle assessment, system boundaries, environmental components.