



**Kauno technologijos universitetas**

Aplinkos inžinerijos institutas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

# **Lietuvos miestų nuotekų valyklų žiediškumo vertinimas**

Baigiamasis magistro projektas

---

**Miglė Žiukaitė**

Projekto autorė

**Prof. dr. Jolita Kruopienė**

Vadovė

---

**Kaunas, 2022**



**Kauno technologijos universitetas**

Aplinkos inžinerijos institutas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

# **Lietuvos miestų nuotekų valyklų žiediškumo vertinimas**

Baigiamasis magistro projektas

Darnus valdymas ir gamyba (6213EX001)

---

**Miglė Žiukaitė**

Projekto autorė

**Prof. dr. Jolita Kruopienė**

Vadovė

**Doc. dr. Irina Kliopova**

Recenzentė

---

**Kaunas, 2022**



## Kauno technologijos universitetas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

# Magistro projekto užduotis

Projekto tema

Lietuvos miestų nuotekų valyklų žiediško vertinimas

Reikalavimai ir sąlygos  
(tikslinti pavadinimą pagal  
poreikį)

Žiedinė ekonomika – naujausia ES aplinkos apsaugos ir ekonomikos koncepcija. Ja siekiama sumažinti atliekų kiekius, juos perdirbant ir panaudojant kitose veiklose. Nuotekų valyklos taip pat gali būti žiediškos, nes iš nuotekų galima atgauti maistines medžiagas, energiją ir vandenį. Toks papildomas resursų atgavimas leistų sumažinti pirminių medžiagų kiekius ir prisidėtų prie taršos mažinimo. Pagrindinis darbo tikslas – įvertinti žiedinės ekonomikos principų taikymo praktiką ir potencialą Lietuvos miestų nuotekų valymo sektoriuje. Darbo tikslui pasiekti išsikelti uždaviniai: apžvelgti Europos Sąjungos ir Lietuvos teisės aktus, susijusius su žiedine ekonomika ir nuotekų tvarkymu; išanalizuoti žiedinės ekonomikos požiūrio taikymą vandens ir nuotekų sektoriui; įvertinti ir pasirinkti indikatorius Lietuvos nuotekų valyklų žiediško vertinimui; surinkti duomenis, reikalingus indikatorių apskaičiavimui ir įvertinimui; išanalizuoti Lietuvos miesto nuotekų valyklų žiediško turimą potencialą.

Vadovas / Vadovė

prof. dr. Jolita Kruopienė

(vadovo pareigos, vardas, pavardė, parašas)

(data)

Žiukaitė, Miglė. Lietuvos miestų nuotekų valyklų žiedišumo vertinimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovė prof. dr. Jolita Kruopienė; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Aplinkos inžinerija (E03) – pagrindinė, Gamybos inžinerija (E10), Verslas (L01), Inžinerijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: nuotekos, nuotekų dumblas, nuotekų valyklos, žiedinė ekonomika, indikatoriai, resursų atgavimas, Lietuva.

Kaunas, 2022. 70 p.

## Santrauka

Žiedinė ekonomika, kaip visiškai naujas ir didžiulį potencialą turintis ekonomikos modelis yra Europos Sąjungos aplinkos apsaugos ir visos ekonomikos perorientavimą skatinantis veiksnys. Pagrindiniai šio modelio tikslai yra sumažinti susidarančių atliekų kiekius, prailginti naudojamų daiktų gyvavimo laiką, perdirbti ir atgauti kiek įmanoma daugiau resursų iš nebereikalingų produktų. Nuotekų valyklose patenkančios nuotekos jau nebėra laikomos tik atliekomis, kurias būtina išvalyti ir išleisti. Iš nuotekų ir nuotekų dumblo, galima atgauti maistines medžiagas, energiją bei vandenį. Visos ES šalys taikydamos skirtingus apdorojimo būdus, stengiasi kuo efektyviau ir racionaliau panaudoti nuotekas ir dumblą, Lietuva nėra išimtis.

Darbe buvo analizuotos nuotekų valyklos esančios didesnėse negu 2 000 g. e. aglomeracijose. Tam, kad įvertinti turimą šalies žiedišumo potencialą, buvo pasirinkti 11 indikatorių. Tokio tipo nuotekų valyklų žiedišumo analizė yra vykdoma pirmą kartą, analizuotas 2018-2020 m. laikotarpis. Iš tarptautinių duomenų bazių paimti duomenys leido Lietuvos rezultatus lyginti su kitų Europos Sąjungos narių rezultatais. Visi indikatoriai suskirstyti pagal žiedinės ekonomikos modelį, skirtą vandens ir nuotekų sektoriui, kuris apima prevenciją, šalinimą, pakartotinį naudojimą, perdirbimą, atgavimą ir permąstymą. Daugiausiai indikatorių pasirinkta vertinant teršalų šalinimą, kadangi tai pagrindinė nuotekų valyklų atliekama funkcija. Lietuvos nuotekų valyklose pakartotinis nuotekų panaudojimas ir perdirbimas nėra vykdomas nei vienoje valykloje, dėl per didelės tokių darbų kainos ir mažos paklausos. Tačiau atsižvelgiant į karštesnias vasaras, klimato kaitą ir vis dažnesnes sausras, vandens atgavimas iš nuotekų gali tapti populiariu ir Lietuvoje. Sumažėjimui ir prevencijai pasirinkti vandens sunaudojimo produktyvumo ir prisijungimo prie centralizuotų nuotekų tinklų indikatoriai. Gautos reikšmės parodė, kad šalyje vandens resursai yra naudojami racionaliai. Nuotekų dumblas yra puiki žaliava, iš kurios galima atgauti maistines medžiagas ir energiją. Lietuvoje nuotekų dumblas daugiausiai panaudojamas žemės ūkyje, komposto gamybai, o pastaraisiais metais vis didesni kiekiai deginami. Lyginant su 2010 m. kai daugiau nei pusė viso dumblo buvo laikoma aikštelėse, 2020 m. šis skaičius nebesiekė 10 %. Per šį laiką šalies nuotekų valyklos optimizavo vykdomus procesus ir rado rinkas, kurios nuotekų dumblą panaudojo savo vykdomoms veikloms. Nors Lietuvos nuotekų valyklos netaiko naujų ir modernių maistinių medžiagų atgavimo būdų, tačiau daugelyje analizuotų sričių stebimas sėkmingas žiedinės ekonomikos principų pritaikymas vykdomose veiklose.

Žiukaitė, Miglė. Circularity Assessment of Wastewater Treatment Plants in Lithuania. Master's Final Degree Project / supervisor prof. dr. Jolita Kruopienė; Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Environmental Engineering (E03) – main study field, Production and Manufacturing Engineering (E10), Business (L01), Engineering Sciences.

Keywords: wastewater, sewage sludge, wastewater treatment plants, circular economy, indicators, resource recovery, Lithuania.

Kaunas, 2022. 70.

### **Summary**

The circular economy is a completely new and high-potential economic model with which the European Union seeks to reorient the environment protection and the economy. The main goals of this model are to reduce the amount of generated waste, extend items lifetime, recycle and recover as many resources as possible from obsolete products. Sewage entering sewage treatment plants are no longer considered to be a waste that only needs to be treated and discharged. Nutrients, energy and water can be recovered from sewage and sewage sludge. All European Union countries use different treatment methods in order to manage wastewater and sludge as efficiently and rationally as possible, Lithuania is no exception.

In this paper, municipal wastewater treatment plants in agglomerations larger than population equivalent of 2000 were analyzed. To assess the available circularity potential of the country, 11 indicators were selected. The circularity of Lithuanian wastewater treatment plants is analyzed for the first time, therefore it was decided to analyze the period of 2018-2020 in order to compare the changes. Data taken from international databases allowed to compare Lithuania's results with those of other European Union members. All indicators are arranged according to the circular economy model for the water and wastewater sector, which includes prevention, disposal, reuse, recycling, recovery and rethinking. Most of the indicators were chosen to assess the removal of pollutants, as this is the main function performed by wastewater treatment plants. In Lithuanian wastewater treatment plants, the reuse and processing of wastewater is not carried out in any of the treatment plants, due to the high price of such works and low demand. However, due to hotter summers, climate change and more frequent droughts, water recovery from wastewater may become popular in Lithuania as well. Indicators of water consumption productivity and connection to centralized wastewater networks have been selected for reduction and prevention. The obtained values showed that water resources are used rationally in the country. Sewage sludge is an excellent raw material from which nutrients and energy can be recovered. In Lithuania, sewage sludge is mainly used in agriculture and compost production, and in recent years more and more quantities have been incinerated. Compared to 2010, when more than half of all sludge was stored at the site, by 2020 this figure was less than 10 %. During this time, the country's wastewater treatment plants have optimized their processes and found markets, which use sewage sludge for their operations. Although Lithuanian wastewater treatment plants do not apply new and modern methods of nutrient recovery, the successful application of the principles of the circular economy in the activities is observed in many of the analyzed areas.

## Turinys

<b>Lentelių sąrašas .....</b>	<b>7</b>
<b>Paveikslų sąrašas .....</b>	<b>8</b>
<b>Santrumpų ir terminų sąrašas .....</b>	<b>9</b>
<b>Įvadas.....</b>	<b>10</b>
<b>1. LITERATŪROS ANALIZĖ.....</b>	<b>11</b>
1.1. Žiedinės ekonomikos raida Europos Sąjungoje ir Lietuvoje.....	11
1.1.1. Europos Sąjungos pramonės perėjimas prie žiedinės ekonomikos .....	11
1.1.2. Lietuvos pramonės perėjimas prie žiedinės ekonomikos .....	13
1.1.3. Žiedinės ekonomikos nauda ir iššūkiai.....	15
1.2. Nuotekų ir nuotekų dumblo tvarkymas ir reglamentavimas Europos Sąjungos ir Lietuvos teisinėje sistemoje.....	16
1.2.1. Europos Sąjungos ir Lietuvos miestų nuotekų valymas, teisinis reglamentavimas .....	16
1.2.2. Europos Sąjungos ir Lietuvos dumblo tvarkymas, teisinis reglamentavimas .....	20
1.3. Nuotekų tvarkymas žiedinės ekonomikos kontekste.....	23
1.4. Indikatorių taikymas žiedinės ekonomikos kontekste, vandens ir nuotekų sektoriams .....	27
1.5. Literatūros apibendrinimas .....	31
<b>2. TYRIMO METODIKA.....</b>	<b>31</b>
2.1. Žiedinės ekonomikos indikatorių pasirinkimas vandens ir nuotekų sektoriui .....	33
2.2. Duomenų rinkimas ir skaičiavimai.....	34
2.3. Lietuvos nuotekų valyklų potencialo skaičiavimai .....	36
<b>3. REZULTATŲ APTARIMAS .....</b>	<b>38</b>
3.1. Lietuvos aglomeracijų ir nuotekų valyklų apžvalga.....	38
3.2. Žiedinės ekonomikos indikatorių taikymas Lietuvos nuotekų valykloms .....	39
3.2.1. Sumažinimas ir prevencija .....	40
3.2.2. Apdorojimas ir šalinimas.....	43
3.2.3. Pakartotinis panaudojimas ir perdirbimas .....	50
3.2.4. Atgavimas.....	51
3.2.5. Permąstymas ir Lietuvos nuotekų valyklų potencialas .....	55
3.3. Lietuvos nuotekų valyklų žiediškumo įvertinimas.....	59
<b>Išvados .....</b>	<b>61</b>
<b>Literatūros sąrašas .....</b>	<b>63</b>

## Lentelių sąrašas

<b>1 lentelė.</b> Pagrindiniai ES teisės aktai, reglamentuojantys nuotekų valymo ir pakartotinio vandens naudojimo sritis .....	17
<b>2 lentelė.</b> Į gamtinę aplinką išleidžiamų buitinių, komunalinių ir gamybinių nuotekų užterštumo normos .....	17
<b>3 lentelė.</b> Pagrindiniai ES teisės aktai, reglamentuojantys nuotekų dumblo apdorojimą ir tvarkymą .....	20
<b>4 lentelė.</b> Dumblo apdorojimo ir šalinimo sąnaudų diapazonas ES šalyse .....	26
<b>5 lentelė.</b> Siūlomi ŽE ekonominiai rodikliai vandens ir nuotekų sektoriuje .....	29
<b>6 lentelė.</b> Indikatoriai naudoti nuotekų tvarkymo sistemos Lietuvoje žiediškumui įvertinti .....	34
<b>7 lentelė.</b> Aglomeracijų skaičius ir išvalytų nuotekų kiekis analizuotais metais .....	38
<b>8 lentelė.</b> Neorganinių medžiagų kiekio nuotekose pasiskirstymas skirtingų dydžių aglomeracijose 2018-2020 m. laikotarpyje.....	48
<b>9 lentelė.</b> Nuotekų dumblo kategorijos pagal sunkiųjų metalų koncentraciją .....	49
<b>10 lentelė.</b> Išteklių atgavimo iš Lietuvos nuotekų valyklų potencialas. Apskaičiuota esant idealioms sąlygoms .....	57

## Paveikslų sąrašas

<b>1 pav.</b> ES žiedinės ekonomikos koncepcija .....	11
<b>2 pav.</b> Atliekų tvarkymo hierarchija .....	12
<b>3 pav.</b> Antrinių žaliavų naudojimo Lietuvoje, kaimyninėse šalyse ir ES valstybių (27) vidurkio palyginimas .....	14
<b>4 pav.</b> Lietuvos ir kaimyninių šalių gyventojai, prisijungę prie centralizuotų nuotekų tinklų skirtingais laikotarpiais .....	18
<b>5 pav.</b> Naudojami vandens gavybos įrenginių ir nuotekų valymo įrenginių pajėgumai Lietuvoje ..	19
<b>6 pav.</b> ES Baltijos jūros regiono šalių bendras ir vienam gyventojui tenkantis valyklose susidarantis nuotekų dumblo kiekis, 2018 m. ....	21
<b>7 pav.</b> ES Baltijos jūros regiono šalių valyklose susidarancio nuotekų dumblo tvarkymo būdai, 2018 m. ....	22
<b>8 pav.</b> Nuotekų tvarkymas: linijinės ekonomikos (kairėje) ir žiedinės ekonomikos (dešinėje) palyginimas .....	23
<b>9 pav.</b> ŽE modelio sistema vandens ir nuotekų sektoriuje .....	24
<b>10 pav.</b> Pagrindiniai būdai nuotekų dumblo šalinimui .....	25
<b>11 pav.</b> Rekomenduojami nuotekų dumblo tvarkymo būdai, atsižvelgiant į nuotekų valyklos aptarnaujamų gyventojų ekvivalentą (GE) .....	26
<b>12 pav.</b> Pagrindiniai darbo etapai.....	33
<b>13 pav.</b> Lietuvos nuotekų valyklos, kurios aptarnauja aglomeracijas, didesnes negu 2 000 g. e. (2018-2020 m. laikotarpis) .....	39
<b>14 pav.</b> Metinis bendras vandens išgavimas ir skirtingiems sektoriams, 2010-2019 m. ....	40
<b>15 pav.</b> Lietuvos ekonominis vandens produktyvumas skirtingais analizuotais metais, Eur/m <sup>3</sup> .....	41
<b>16 pav.</b> Lietuvos gyventojų, prisijungusių prie centralizuotų nuotekų tinklų, procentinis pokytis per 2010-2020 m. ....	42
<b>17 pav.</b> Gyventojų dalis, prisijungusi prie centralizuotų nuotekų tinklų skirtingose aglomeracijose 2018-2020 m. laikotarpyje.....	43
<b>18 pav.</b> Buitinių, gamybinių ir komunalinių nuotekų, išleidžiamų į paviršinius vandenis, išvalymo efektyvumo pokytis 2010–2020 m. ....	44
<b>19 pav.</b> Skirtingų dydžių aglomeracijų valyklų bendro azoto šalinimo efektyvumo indikatorius, 2018-2020 m.....	44
<b>20 pav.</b> Skirtingų dydžių aglomeracijų valyklų bendro fosforo šalinimo efektyvumo indikatorius, 2018-2020 m.....	45
<b>21 pav.</b> Neorganinio azoto kiekis nuotekose, t/ metus, 2018–2020 m. laikotarpyje. ....	46
<b>22 pav.</b> Neorganinio fosforo kiekis nuotekose, t/ metus, 2018–2020 m. laikotarpyje.....	47
<b>23 pav.</b> Biologinio defosforizacijos potencialo indikatorių reikšmės, 2018-2020 m. ....	49
<b>24 pav.</b> Nuotekų dumblo žalos vienetai 2018 m. ....	50
<b>25 pav.</b> Lietuvos nuotekų valyklose susidariusio nuotekų dumblo kiekiai ir panaudojimas 2010-2020 m. laikotarpyje .....	52
<b>26 pav.</b> Iš nuotekų dumblo pagamintas biodujų kiekis ir panaudojimas 2018-2020 m. ....	54
<b>27 pav.</b> Lietuvos miesto nuotekų valyklų žiediškumo analizės indikatorių reikšmės, 2018 m. ....	59



## Santrumpų ir terminų sąrašas

### Santrumpos:

AAA – Aplinkos apsaugos agentūra;

ES – Europos Sąjunga;

ChDS – cheminis deguonies suvartojimas;

EAA – Europos aplinkos apsaugos agentūra;

ŽE – Žiedinė ekonomika.

### Terminai:

**Aglomeracija** - urbanizuotose ar urbanizuojamose teritorijose esanti viešojo geriamojo vandens tiekimo ir nuotekų tvarkymo teritorija ar jos dalis, kurioje susidaro ar gali susidaryti 2 000 ir daugiau gyventojų ekvivalentų atitinkanti tarša ir kurioje geriamasis vanduo tiekiamas ar numatomas tiekti centralizuota geriamojo vandens tiekimo sistema arba išgaunamas individualiai, o susidaranti ar galinčios susidaryti nuotekos surenkamos centralizuotomis nuotekų surinkimo sistemomis arba sutvarkomos nuotekų valymo (arba) kaupimo įrenginiais (LR Geriamojo vandens tiekimo ir nuotekų tvarkymo įstatymas).

**Centralizuotoji nuotekų surinkimo sistema** - geriamojo vandens tiekėjui ir nuotekų tvarkytojui nuosavybės teise priklausanti ar kitaip valdoma arba naudojama vamzdinių sistema, į kurią patenkančios nuotekos nukreipiamos į miestų, miestelių, kaimų nuotekų valymo įrenginius (LR Geriamojo vandens tiekimo ir nuotekų tvarkymo įstatymas).

**1 g. e. (gyventojų ekvivalentas)** — sutartinis vienetas taršos nuotekomis šaltinio dydžiui išreikšti. Vienas gyventojų ekvivalentas reiškia taršos šaltinį, kuriame per parą susidarantiuose nuotekose esantiems organiniams teršalams biologiškai suskaidyti deguonies poreikis (BDS<sub>5</sub>) yra 60 gramų (LR Geriamojo vandens tiekimo ir nuotekų tvarkymo įstatymas).

## Ivadas

### Tyrimo aktualumas ir naujumas

Žiedinė ekonomika (toliau – ŽE) yra nauja gamybos ir vartojimo koncepcija ir viena iš prioritetinių ekonomikos plėtros sričių, kuria grindžiama dabartinė Europos Sąjungos (toliau – ES) aplinkos apsaugos politika. Remiantis ŽE principais, iš išgautų pirminių žaliavų pagamintas ir nebereikalingas produktas turi būti perdirbamas. Tai leidžia taupyti ir neprarasti turimų resursų, sumažinti žaliavų priklausomybę. Įvertinta, kad įgyvendinus ŽE principus Europos Sąjungoje 48 % sumažėtų CO<sub>2</sub> emisijos, ekonomika padidėtų 1,8 trilijonais EUR ir būtų sukurta daugiau negu 2 milijonai papildomų darbo vietų iki 2030 metų. ŽE įgyvendinimas ne tik sumažins bendrijos daromą įtaką aplinkai, bet ir prisidės prie ekonominio augimo.

Nuotekų valyklos buvo statomos, remiantis linijinės ekonomikos principu, pagrindinis tikslas – nuotekas išvalyti iki reglamentuotų normų. Tačiau naujasis ekonomikos modelis nuotekas ir nuotekų dumblą vertina ne kaip atlieką, o kaip antrinę žaliavą. Lietuvoje, kaip ir visoje ES, yra kalbama apie ŽE, rengiamos publikacijos ir moksliniai darbai, tačiau šalies nuotekų valyklų žiediškumo kiti autoriai nėra analizavę. Pasirinkus tinkamus matavimo įrankius ir įvertinus šalies nuotekų valyklų turimą potencialą, galima būtų modernizuoti nuotekų valyklas ir taip neprarasti juose esančių resursų. Žiedinės ekonomikos principų įgyvendinimas Lietuvos nuotekų valyklose prisidėtų ne tik prie pagerėjusio nuotekų išvalymo, bet ir leistų atgauti vandenį, energiją ir maistines medžiagas.

**Tyrimo objektas.** Lietuvos nuotekų valyklos, kurios aptarnauja didesnes negu 2 000 g. e. aglomeracijas.

**Tyrimo tikslas.** Įvertinti žiedinės ekonomikos principų taikymo praktiką ir potencialą Lietuvos miestų nuotekų valymo sektoriuje.

### Tyrimo uždaviniai:

1. Apžvelgti su žiedine ekonomika ir nuotekų tvarkymu susijusias Europos Sąjungos, bei Lietuvos strategijas ir teisės aktus.
2. Išanalizuoti žiedinės ekonomikos požiūrio taikymą vandens ir nuotekų sektoriui Europoje.
3. Įvertinti rodiklius (indikatorius), taikomus vandens ir nuotekų sektoriaus žiediškumo vertinimui, ir pasirinkti rodiklius Lietuvos miesto nuotekų valyklų žiediškumo vertinimui.
4. Surinkti rodiklių skaičiavimams ir vertinimams reikalingus duomenis, bei atlikti skaičiavimus.
5. Išanalizuoti Lietuvos miesto nuotekų valyklų žiediškumą, bei įvertinti turimą potencialą.

## 1. LITERATŪROS ANALIZĖ

### 1.1. Žiedinės ekonomikos raida Europos Sąjungoje ir Lietuvoje

Žiedinė ekonomika (toliau – ŽE) yra gamybos ir vartojimo modelis, apimantis esamų medžiagų ir gaminių dalijimąsi, nuomą, pakartotinį naudojimą, taisymą, atnaujinimą ir perdirbimą. Šio ekonominio modelio pagrindinis tikslas – pailginti gaminio gyvavimo ciklą, taip sumažinant pradinių gamybos žaliavų ir atliekų kiekį [1]. ŽE apibūdina ekonominę sistemą, pagrįstą verslo modeliais, kurie pakeičia „eksploatavimo pabaigos“ (angl. end-of-life) sąvoką pakartotinai naudojant ir perdirbant medžiagų gamybos, paskirstymo ir vartojimo procesuose, tam kad būtų pasiektas tvarus vystymasis, kuris reiškia aplinkos kokybės, ekonominės gerovės ir socialinio teisingumo kūrimą dabartinių ir būsimų kartų labui [2]. Pasibaigus gaminio gyvavimo laikui, jo sudedamosios dalys laikomos ekonomiškai naudingomis ir gali būti produktyviai panaudotos dar kartą, taip sukuriant papildomą vertę. Žiedinės ekonomikos koncepcija yra viena iš prioritetinių ekonominės plėtros sričių, kuriomis grindžiama dabartinė ES politika aplinkos apsaugos srityje [3].

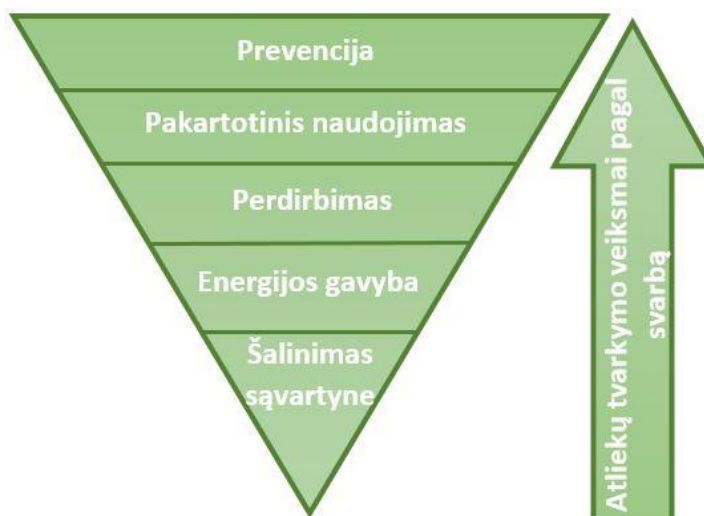
#### 1.1.1. Europos Sąjungos pramonės perėjimas prie žiedinės ekonomikos

Žiedinės ekonomikos koncepcija nėra naujas reiškinys pasaulyje, apibrėžimas mokslinėje bendruomenėje formuotis pradėjo nuo XX a. septinto dešimtmečio [4], tačiau pradžia ŽE koncepcijos formavimui ES galima laikyti **2014 m. liepos mėn.** Europos Komisijos komunikatą – *Žiedinės ekonomikos kūrimas. Europos be atliekų programa*. Jame teigiama, kad šalys narės turi nebesivadovauti nuo pramoninės revoliucijos laikų esančiu linijiniu ekonomikos „imti, gaminti, vartoti ir išmesti“ modeliu, o pereiti prie konkurencingos ir išteklius tausojančios ŽE koncepcijos [5]. Europos Komisijos priimtoje programoje daug kalbama apie būtinybę mažinti susidarančių atliekų kiekius, kuo daugiau perdirbti, energiją išgauti tik iš nebetinkamų perdirbti atliekų. Europos be atliekų programai, kaip pirmajam ŽE koncepcijos įgyvendinimo žingsniui, dar trūko detalumo, įgyvendinimo priemonių, programa apėmė tik dalį susidarančių atliekų srautų, nebuvo kalbama apie nuotekų tvarkymą, tačiau iškelti tikslai parodė, kad Europos Sąjunga siekia smarkiai mažinti savo įtaką aplinkai atliekų srityje ir yra pasiruošusi ieškoti būdų kaip tausoti turimus išteklius.



1 pav. ES žiedinės ekonomikos koncepcija [5]

**2015 m. gruodžio mėn.** Europos Komisija patvirtino komunikatą – *Uždaro ciklo kūrimas. ES žiedinės ekonomikos veiksmų planas*. Jame buvo numatytos priemonės, padėsiančios Europos Sąjungos šalims narėms ne tik pereiti prie ŽE, bet ir toliau didinti pasaulinį konkurencingumą, skatinti tvarų ekonomikos augimą ir kurti naujas darbo vietas. Veiksmų plane apibrėžiamos keturios pagrindinės veiklos sritys: gamyba, vartojimas, atliekų tvarkymas ir antrinės žaliavos [6]. Gamyba, ŽE kontekste, turi būti projektuojama taip, kad gaminiai turėtų kuo mažesnę poveikį gamtai, būtų patvaresni ir ilgiau tarnautų. Tai padėtų sumažinti ne tik žaliavų poreikį, bet ir atliekų srautus. Vartojimo mažinimas nebus pasiektas draudžiant ar kitaip ribojant išigijimo galimybę, todėl veiksmų plane pabrėžiama būtinybė sukurti patikimą ekologiškų gaminių ženklavimo sistemą ir skatinti vartotojus turimus gaminius remontuoti, siekiant prailginti jų gyvavimo ciklą. Pagrindinis vaidmuo ŽE įgyvendinimo kontekste tenka atliekų tvarkymui, kuris remiasi atliekų hierarchijos principu, pateiktu 2 paveikslėlyje.



**2 pav.** Atliekų tvarkymo hierarchija [6]

Šis principas skatina atliekų tvarkytojus rinktis aplinkai mažiau žalingus tvarkymo būdus, o šalinimą sąvartyne taikyti tik tada, kai atlieka jokių kitu saugiu būdu negali būti panaudota kaip žaliava. Antrinių žaliavų rinkos ir pakartotinio vandens naudojimo skatinimas – ketvirtoji veiksmų plano veiklos sritis. Galimybė perdirbti ir į gamybos ciklus susigrąžinti pradines žaliavas yra saugumo garantas, atsižvelgiant, kad pasaulis susiduria su didėjančiu žaliavų trūkumu. Problema, kad antrinės žaliavos ES vis dar sudaro mažą visų naudojamų medžiagų dalį [7]. To priežastimi galima laikyti nepasitikėjimą antrinių žaliavų kokybe, nepaisant to, kad ES atidžiai vertina visas pramonėje naudojamas medžiagas, o kenksmingas uždraudžia, tačiau perdirbimo sratuose gali papulti ir senos atliekos, kuriose yra žmogaus sveikatai ir gamtai pavojingų junginių. Organinių atliekų perdirbtos frakcijos galėtų būti panaudojamos žemės ūkyje kaip trąšos, tačiau valstybės narės savo teisinėse sistemose skirtingai vertina šių medžiagų panaudojimo galimybes, bijodamos sunkiųjų metalų ir kitų teršalų patekimo į dirvožemį. Veiksmų plane taip pat aptariamas didėjantis vandens trūkumas, kurį būtų galima kompensuoti panaudojant išvalytą nuotekų vandenį žemės ūkyje, tačiau ir šiam žingsniui būtinas tinkamas teisinis reglamentavimas. Siekiant pereiti prie ŽE, vien veiksmų taikymo neužtenka, reikalingi rodikliai, kuriais būtų galima pamatuoti daromą pažangą. Pirmajame žiedinės ekonomikos veiksmų plane Europos Komisija užsibrėžia sau tikslą sukurti rodiklius, padėsiančius įvertinti kaip šalys narės pereina prie ŽE koncepcijos.

**2020 m. kovo mėn.** Europos Komisija patvirtino dar vieną komunikatą – *Naujas žiedinės ekonomikos veiksmų planas*, kuriuo siekiama švaresnės ir konkurencingesnės Europos. Naujajame veiksmų plane dar griežčiau žiūrima į atliekų prevenciją, kadangi visoje ES atliekų kiekiai tik auga [8]. Išskirtos pagrindinės gaminių vertės grandinės, norint efektyviau pasiekti užsibrėžtus perdirbimo ir pakartotino naudojimo tikslus. Komisija dar kartą įsipareigoja parengti *Pakartotinio vandens naudojimo reglamentą*, taip sukuriant žiediškumą nuotekų tvarkymo srityje ir apsvarstyti nuotekų valymo ir nuotekų dumblo direktyvas. 2022 m. Europos Komisija planuoja parengti *Integruotą maisto medžiagų valdymo planą*, kuris turėtų užtikrinti tvaresnį maistinių medžiagų naudojimą, skatinti atgautų maisto medžiagų rinkas, išspręsti taršą, kuri atsiranda dėl per didelių koncentracijų maistinių medžiagų dirvožemyje ir vandenyse [9]. Planas smarkiai prisidės prie žiediškumo skatinimo atgaunant fosforą ir azotą iš miesto nuotekų valyklų ir nuotekų dumblo panaudojimo žemės ūkyje.

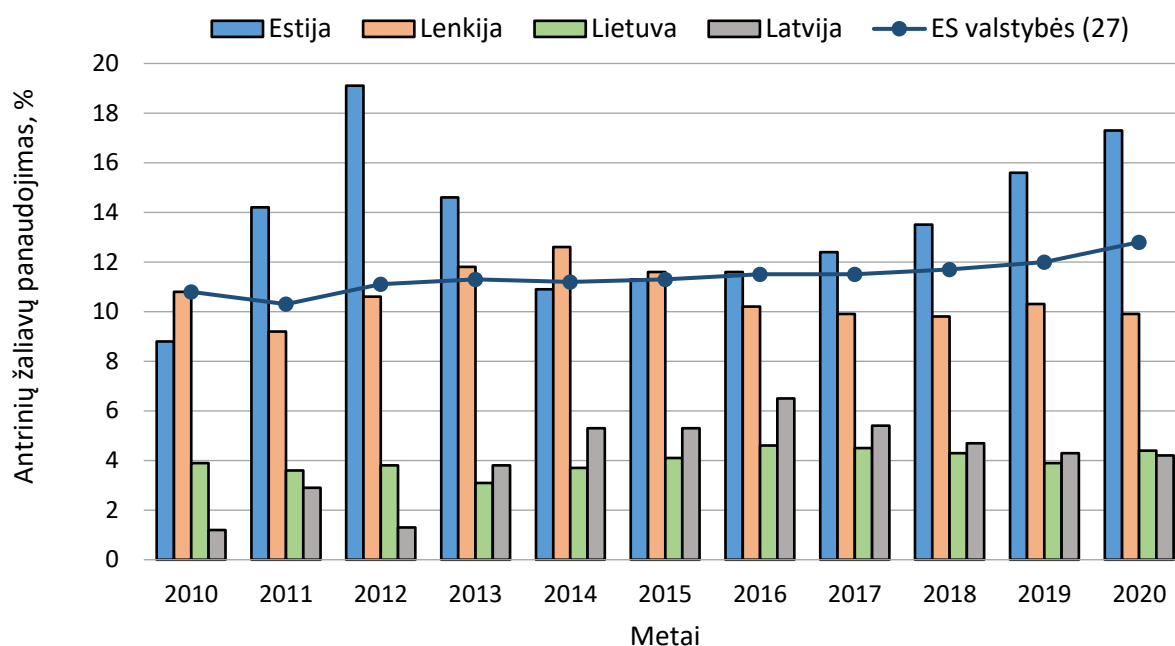
### **1.1.2. Lietuvos pramonės perėjimas prie žiedinės ekonomikos**

Žiedinės ekonomikos įgyvendinimo kontekste, Lietuvos ekonomika, nors ir pasižyminti stipria prekyba, specializuotais pramoniniais procesais ir augimu, tačiau vis dar smarkiai besivadovaujanti linijinės ekonomikos principais [10]. Remiantis 2019 m. ES žiedinės ekonomikos raportu [11] Lietuva trijose pagrindinėse ekologiškų inovacijų srityse yra žemiau ES vidurkio. Tai signalizuoja apie per lėtą ir neefektyvų bandymą prisitaikyti prie besikeičiančios ES ekonomikos.

**2020 m. rugsėjo 9 d.** (Lietuvos Respublikos Vyriausybės 2021 m. rugsėjo 29 d. nutarimo Nr. 797 redakcija) Vyriausybės patvirtintą 2021–2030 m. nacionalinį pažangos planą galima laikyti kaip pradžią ŽE koncepcijos formavimuisi Lietuvoje. Pažangos plane vienas iš uždavinių nurodo, kad Lietuvos pramonė turi būti perorientuota link klimatui neutralios ekonomikos, uždavinį papildo šeši poveikį matuojantys rodikliai [13]:

- Lietuvos antrinių žaliavų panaudojimo (žiediškumo) indeksas;
- ekologinių inovacijų indeksas;
- pramonės sektoriuje išmetamo šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) kiekio pokytis, palyginti su 2005 m. išmestu kiekiu;
- sutaupyta energijos kiekis pramonės sektoriuje;
- pramonės sektoriuje išmetamo nemetaninių lakiųjų organinių junginių (NMLOJ) kiekio pokytis, palyginti su 2005 m. išmestu kiekiu;
- pramonės sektoriuje išmetamo SO<sub>2</sub> kiekio pokytis, palyginti su 2005 m. išmestu kiekiu.

Iškeltus uždavinius matuojantys rodikliai labai svarbūs, jie padeda ne tik įvertinti šalies stipriąsias sritis, bet ir sudėlioti prioritetus, stebint ne tokius puikius rezultatus. 3 paveikslėlyje pateikti Lietuvos, kaimyninių šalių ir Europos Sąjungos antrinių žaliavų panaudojimo rezultatai parodo, kad Lietuva būtent šioje srityje smarkiai atsilieka ne tik nuo Europos vidurkio, bet ir nuo savo kaimynių.



**3 pav.** Antrinių žaliavų naudojimo Lietuvoje, kaimyninėse šalyse ir ES valstybių (27) vidurkio palyginimas [14]

Tolimesnis bendradarbiavimas su verslo, pramonės, nevyriausybinų organizacijų, savivaldybių, mokslo ir atliekų tvarkymo sektoriais tampa būtinu, norint užtikrinti sklandų ekonomikos perorganizavimą, siekiant įgyvendinti užsibrėžtus tikslus.

**2021 m.** Kauno technologijos universiteto mokslininkų parengtoje mokslo studijoje *Žiedinės ekonomikos iššūkiai ir galimybės Lietuvoje* [12] analizuoti ekonominiai, socialiniai ir aplinkos apsaugos aspektai Lietuvos tekstilės ir aprangos, bei maisto gamybos įmonių perėjimui žiedinės ekonomikos link. Surinkti duomenys parodė, kad didžiausia nauda išvelgiama įmonės įvaizdžio gerinimo, darbuotojų aplinkos apsaugos suvokimo didinimo, atliekų mažinimo ir didesnių investicijų skyrimo į aplinką tausojančias technologijas srityse. Ekonominė nauda, remiantis apklaustų įmonių duomenimis, bus pasiekta tik ilguoju laikotarpiu, tačiau perėjimas link ŽE yra būtinas norint išlikti Europos rinkos dalyviais.

**2021 m.** VĮ Lietuvos inovacijų centras parengė publikaciją *Žiedinės ekonomikos plėtros priemonės ir sprendimai: situacijos apžvalga ir rekomendacijos politikos formuotojams* [15]. Publikacijoje pateikiamos kaimyninių šalių finansinių priemonių, skirtų skatinti ŽE plėtrą, programos. Finansavimas yra dažna ekspertų ir tarptautinių organizacijų rekomendacija šalims, siekiančioms savo ekonomiką perorientuoti į ŽE ir tapti labiau konkurencingoms. Publikacijoje Lietuvai rekomenduojama kurti naujus gamybos procesus, stiprinti skirtingų sektorių integraciją, gerinti atliekų perdirbimo kokybę ir didinti antrinių žaliavų panaudojimo galimybes.

**2021 m. liepos mėn.** Mokslo, inovacijų ir technologijų agentūros su partneriais išleista *Lietuvos pramonės žiediškumo analizė* parodė, kad šalyje ŽE tesudaro 3,3 % [16] Atliktoje analizėje stebima, kad didžiausią žiediškumo potencialą turi maisto ir žemės ūkio, statybų, tekstilės, baldų bei plastiko ir pakuočių sektoriai. Maisto ir žemės ūkio sektorius atsakingas už 22 % medžiagų sunaudojimą per metus Lietuvoje. Šiame sektoriuje išvelgiamos ŽE galimybės vertės grandinės pradžioje, tai būtų trąšų gamyba ir pabaigoje – perdirbimas. Ekologiško ūkininkavimo skatinimas ir sintetinių trąšų

pakeitimas natūraliomis alternatyvomis, tyrime yra laikoma svarbia žiedine galimybe šalyje. Atlikta analizė parodė, kad Lietuva turi potencialą pereiti prie ŽE, bet tam reikia verslų, vyriausybės ir visuomenės bendradarbiavimo, todėl pramonės simbiozė tampa sveikintinu ir reikalingu žingsniu tolimesniam ekonomikos integravimo etapui.

**2021 m.** Mokslo, inovacijų ir technologijų agentūra parengė *Lietuvos pramonės perėjimo prie žiedinės ekonomikos kelrodį*, kurio pagrindinis tikslas išanalizuoti Lietuvos pramonės žiediškumą ir nurodyti, kaip palaipsniui turi keistis pramonė, kad ji taptų švaresnė, konkurencingesnė ir pritaikyta prie besikeičiančių gamtos sąlygų [17]. Kelrodyje pateikiama šalies ŽE situacijos stiprybių ir silpnybių analizė. Nors tarp stiprybių galima pasidžiaugti didėjančiu įmonių ir mokslo institucijų bendradarbiavimu, aukštu baziniu šalies piliečių išsilavinimu, kuris prisideda ir prie sąmoningo vartojimo, tačiau silpnybių pastebima kur kas daugiau. Per menkas valstybės finansavimas ŽE projektams, prisideda prie to, kad kaimų regionuose surenkama ir perdirbama labai maža dalis atliekų, visa šalis nepasinaudoja turimu antrinių žaliavų atgavimo potencialu. Dar pastebima ydinga praktika, kai dalis perdirbimui paruoštų antrinių žaliavų nepatenka į antrinių žaliavų rinką. Tačiau kelrodyje iškeliama ambicingi ekonomikos pertvarką skatinantys planai, kartu su finansavimo teikimu ir monitoringo įgyvendinimu, turėtų smarkiai prisidėti prie Lietuvos bandymo atitikti konkurencingą ir inovatyvų Europos Sąjungos ŽE modelį.

2020 metus galima laikyti žiedinės ekonomikos koncepcijos įgyvendinimo Lietuvoje pradžia, nes Vyriausybės patvirtintame 2021–2030 m. nacionaliniame pažangos plane iškelti tikslai ir uždaviniai yra nukreipti į ekonomikos perorientavimą, siekiant atgauti žaliavas iš atliekų, mažinti aplinkos užterštumą, efektyviai naudoti turimą energiją. Finansavimas ir bendradarbiavimas su pramonės įmonėmis, nevyriausybinėmis organizacijomis ir mokslo institucijomis, davė pradžią analizių, publikacijų ir mokslo studijų atsiradimui. Darbuose atsispindi Lietuvos esamo ekonominio modelio rezultatai ir galimybės pereiti prie ŽE.

### **1.1.3. Žiedinės ekonomikos nauda ir iššūkiai**

Remiantis 2015 metų Ellen MacArthur fondo [18] pateikta analize, Europos Sąjungoje ŽE koncepcijos įgyvendinimas sumažintų CO<sub>2</sub> emisijas 48 %, padidintų ekonomiką 1,8 trilijonais EUR ir sukurtų 2 milijonus papildomų darbo vietų iki 2030 metų. Taip pat mažėtų šalių priklausomybė nuo importo, didėtų konkurencingumas, ženkliai sumažėtų poveikis aplinkai. Nors apie ŽE yra rašoma vis daugiau ES ir Lietuvoje, tačiau remiantis Kirchherr'io ir kt. (2018 m.) atlikta analize [18], koncepcijos įgyvendinimas vis dar yra pradiniam etape. Darbe išskirti 4 pagrindiniai barjerai: kultūrinis, reguliuojamasis, rinkos ir technologinis. Būtent kultūrinis barjeras vis dar yra pats didžiausias. Trūksta vartotojų susidomėjimo, o kompanijos neskuba investuoti į naujas ŽE skatinančias technologijas. Vyriausybė taip pat turėtų prisidėti subsidijuodamos į ŽE perėjimą orientuotus projektus, kadangi kompanijoms reikia atnaujinti turimą techniką, o atgautos žaliavos iš atliekų neretai yra netgi brangesnės, lyginant su pirminėmis žaliavomis. Tai smarkiai mažina žiediško gaminių patrauklumą vartotojams. Būtent kompanijos ir vartotojai turi būti įtikinti ŽE nauda, kad perėjimo procesai įvyktų, todėl duomenų rinkimas, galimų žiedinių rinkų ir medžiagų srautų analizės ir stebėsenos, yra būtini veiksmai.

## **1.2. Nuotekų ir nuotekų dumblo tvarkymas ir reglamentavimas Europos Sąjungos ir Lietuvos teisinėje sistemoje**

Vanduo yra neatsiejamas gyvybės žemėje atsiradimo ir palaikymo elementas. Žmonėms vanduo yra reikalingas ne tik maisto ruošimui ir sanitarinėms reikmėms, bet ir ekonominėms veikloms, tokioms kaip energijos produkcija, pramonė, transportas, turizmas ir kt. [19] Vien tik Lietuvoje 2019 m. buvo išgauta 280,54 mln. m<sup>3</sup> [20] vandens, kuris virto užterštomis nuotekomis. Šios tinkamai nesurinktos ir neišvalytos gali smarkiai pažeisti žmonių, gyvūnų sveikatą ir visą supančią ekosistemą. Tam, kad užkirsti kelią vandens taršai, ES miestų nuotekos yra surenkamos, valomos iki teisiškai reglamentuotų normų ir išleidžiamos į vandens telkinius. Per praėjusius 30 metų didžiulę naudą vandens kokybės gerinimui davė ES priimtos Vandens pagrindų, Miesto nuotekų valymo ir Geriamojo vandens direktyvos [21], tačiau teisės aktai reguliariai yra peržiūrimi ir atnaujinami, kad prisitaikytų prie besikeičiančių bendrijos ir viso pasaulio ekonominių ir aplinkos apsauginių poreikių.

### **1.2.1. Europos Sąjungos ir Lietuvos miestų nuotekų valymas, teisinis reglamentavimas**

**1991 m. gegužės 21 d.** Tarybos direktyva dėl miesto nuotekų valymo (91/271/EEB), tapo Europos nuotekų valymo sistemos plėtros pagrindu. Pagrindinis tikslas apsaugoti aplinką nuo miesto ir pramonės nuotekų žalingo poveikio [22]. Nevalytos (arba nepakankamai išvalytos) buitinės ir industrinės nuotekos yra pagrindinis taršos šaltinis Europos vandenyse, galintis kelti rimtą pavojų žmonių sveikatai. Direktyvoje pateikiami miesto nuotekoms keliami reikalavimai, minimalūs išvalymo rodikliai ir valymo būdai. Nurodoma, kad nuotekos privalo būti surenkamos iš didesnių negu 2 000 g. e. aglomeracijų (2 000 gyventojų ekvivalentas), o didesnėms negu 15 000 g. e. aglomeracijoms privalo būti taikomas antrinis valymas. Nuotekose gali kauptis ne tik bakterijos ir virusai, bet ir dideli kiekiai fosforo su azotu, kurie pagreitina biologinės įvairovės nykimą ir neigiamai veikia geriamojo vandens tiekimą [23]. Dėl šios priežasties šalys narės turi nustatyti jautrias eutrofikacijos paveiktas zonas ir jose taikyti antrinį (biologinį) valymo būdą. Tokio valymo būdo tikslas iki 75 % sumažinti azoto ir fosforo kiekius, taip apsaugant ir išlaikant vandens telkinių ir Baltijos jūros biologinę pusiausvyrą [24].

Dėl didėjančio susirūpinimo aplinka ir iškeltų žiedinės ekonomikos tikslų, ES daugėja nuotekų valymą ir vandens pakartotinį panaudojimą reglamentuojančių teisės aktų (žr. 1 lentelė). Dalis šių teisės aktų jau yra perkelti į Lietuvos teisinę sistemą, tačiau ne visi. Pakartotinis vandens naudojimas žemės ūkyje nėra smarkiai svarstomas, nes šalyje yra daug požeminio ir paviršinio vandens, tačiau šiltėjantis klimatas ir sumažėjęs iškrentančių kritulių kiekis visas šalis verčia ieškoti alternatyvų.

Nuotekų tvarkymo reglamente [25] pateikiamos į gamtinę aplinką išleidžiamų buitinių, komunalinių ir gamybinių nuotekų užterštumo normos yra svarbus norminis dokumentas, užtikrinantis, kad šalyje privatus sektorius ir nuotekų valyklos tinkamai išvalytų bei į paviršinius vandenį išleistų tik minimalius kiekius teršalų. Nuotekų reglamente esančios teršalų ribinės vertės pateiktos 2 lentelėje.



**1 lentelė.** Pagrindiniai ES teisės aktai, reglamentuojantys nuotekų valymo ir pakartotinio vandens naudojimo sritis (sudaryta remiantis [26])

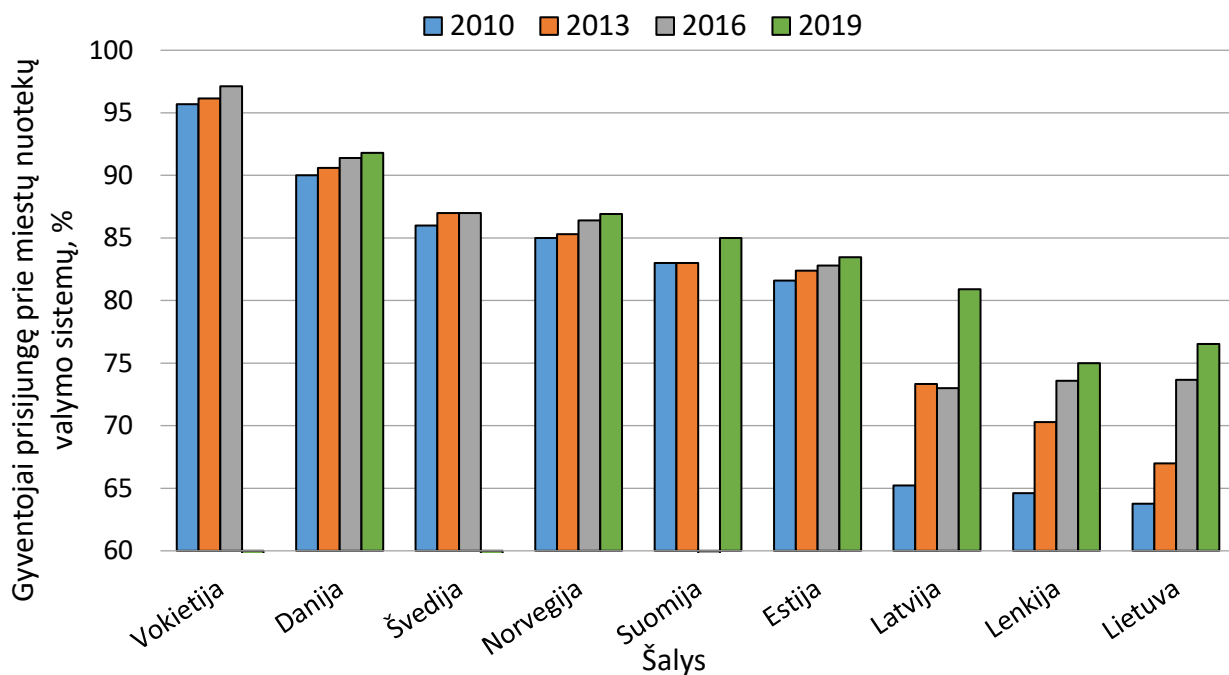
Nuotekų valymas/ pakartotinis vandens naudojimas			
Teisės aktas	Pagrindinė teisės akto tema	Teisės akto sąsaja su žiedine ekonomika	Atitinkantis Lietuvos teisės aktas
1	3	4	5
Tarybos Direktyva 91/271/EEB dėl miesto nuotekų valymo	Miesto nuotekų valymas	Vanduo pakartotiniam drėkinimui	LR Geriamojo vandens tiekimo ir nuotekų tvarkymo įstatymas LR aplinkos ministro Nuotekų tvarkymo reglamentas
Europos Parlamento ir Tarybos 2000/60/EB Direktyva nustatanti Bendrijos veiksmų vandens politikos srityje pagrindus	Bendruomenės veiksmų sistema vandens politikos srityje	Apibrėžti veiksmai, skirti aplinkos atkūrimui	LR Vandens įstatymas
Europos Parlamento ir Tarybos direktyva 2004/35/EB dėl atsakomybės už aplinkos apsaugą siekiant išvengti žalos aplinkai ir ją ištaisyti (atlyginti)	Aplinkos apsaugos atsakomybė susijusi su prevencija ir žalos gamtai atitaisymu	Nustatyta rizika susijusi su pakartotiniu naudojimu	LR Aplinkos apsaugos įstatymas
Europos Parlamento ir Tarybos Reglamentas (ES) 2020/741 dėl pakartotinio vandens naudojimo minimaliųjų reikalavimų	Minimalūs pakartotinio vandens naudojimo reikalavimai	Vanduo pakartotiniam drėkinimui	Nėra

**2 lentelė.** Į gamtinę aplinką išleidžiamų buitinių, komunalinių ir gamybinių nuotekų užterštumo normos [25]

Parametrai	Aglomeracijos (išleidžiamų nuotekų kiekis/taršos šaltinio) dydis	Matavimo vienetas	Vidutinio paros mėginio DLK (didžiausias išvalymo laipsnis)	Vidutinė metinė DLK (didžiausias išvalymo laipsnis)	Minimalus išvalymo efektyvumas, procentais	
1	2	3	4	5	6	
Biocheminis deguonies suvartojimas BDS <sub>5</sub> /BDS <sub>7</sub>	< 5 m <sup>3</sup> /d	mg/l O <sub>2</sub>	-	25/29	-	
	>5 m <sup>3</sup> /d	<2000 GE	mg/l O <sub>2</sub>	-	20/23 (10/12)	-
		2000–10000 GE	mg/l O <sub>2</sub>	25/29(10/12)	nustatoma individualiai	90
		> 10 000 GE	mg/l O <sub>2</sub>	15/17 (8/10)	nustatoma individualiai	90
ChDS	daugiau kaip 2000 GE	mg/l O <sub>2</sub>	125	-	75	
Bendras fosforas	< 5 m <sup>3</sup> /d	mgP/l	-	5	-	
	>5 m <sup>3</sup> /d	< 10 000 GE	mgP/l	-	2	80
		10 000–100 000 GE	mgP/l	-	2 (1)	
		>100 000 GE	mgP/l	-	1 (0,5)	

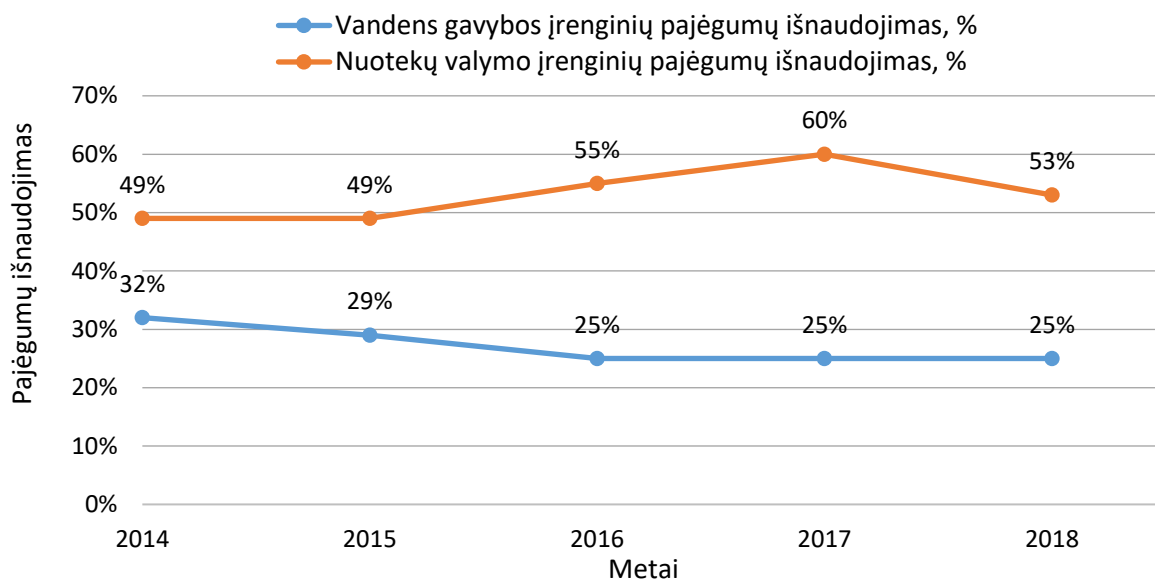
Parametrai	Aglomeracijos (išleidžiamų nuotekų kiekis/taršos šaltinio) dydis	Matavimo vienetas	Vidutinio paros mėginio DLK (didžiausias išvalymo laipsnis)	Vidutinė metinė DLK (didžiausias išvalymo laipsnis)	Minimalus išvalymo efektyvumas, procentais	
1	2	3	4	5	6	
Bendras azotas	< 5 m <sup>3</sup> /d	mgN/l	-	25	-	
	>5 m <sup>3</sup> /d	< 10 000 GE	mgN/l	-	20	80
		10 000–100 000 GE	mgN/l	-	15 (10)	
		>100 000 GE	mgN/l	-	10 (10)	

2004 metais įstojusį į ES, Lietuva įsipareigojo savo teisinę sistemą reformuoti taip, kad atitiktų bendrijos teisės aktus. Miestų nuotekų valymo (91/271/EEB) direktyvos įgyvendinimas tapo rimta problema dar silpnai šalies ekonomikai, nes nuotekų surinkimo ir valymo infrastruktūra yra brangiausia iš visų aplinkos apsaugos iniciatyvų. Įgyvendinimas yra toks brangus, kad Europos Komisija suteikė Lietuvai vienintelį pereinamąjį ketverių metų laikotarpį (2005 – 2009 m. gruodžio 31 d.), per kurį šalis įsipareigojo sukurti reikiamą nuotekų surinkimo ir valymo infrastruktūrą. [24] Lietuvoje nuotekų valymo direktyva yra perkelta į LR **2006 m. liepos 13 d.** Nr. X-764 Geriamojo vandens tiekimo ir nuotekų tvarkymo įstatymą [27], kuriame pateikiami pagrindiniai geriamojo vandens tiekimo ir nuotekų tvarkymo, planavimo ir organizavimo šalyje principai. Nurodomos ekonominės ir finansinės priemonės, taip pat geriamojo vandens tiekėjų ir nuotekų tvarkytojų teisės ir pareigos. Įstatymas sudaro sąlygas tinkamam ir kokybiškam vandens ir nuotekų tvarkymo reguliavimui šalyje.



4 pav. Lietuvos ir kaimyninių šalių gyventojai, prisijungę prie centralizuotų nuotekų tinklų skirtingais laikotarpiais [28]

Remiantis Eurostato duomenimis (žr. 4 pav.) Lietuva, vykdydama dėl miesto nuotekų valymo (91/271/EEB) direktyvos tikslus, sugebėjo 2019 m. prie miesto nuotekų valymo įrenginių prijungti 76,53 % šalies gyventojų. Ir nors per tokį trumpą laiką papildomai prijungti 12,76 % gyventojų (2010-2019 m. laikotarpis) tačiau, lyginant su kaimyninėmis šalimis, bendras prisijungusiųjų procentas yra žemas. Europos Sąjunga per struktūrinius fondus, Lietuvai skyrė daugiau negu 1,135 milijardą EUR (2004-2006 m.: 279,3 mln. EUR, 2007-2013 m.: 561,1 mln. EUR, 2017-2020 m.: 295,1 mln. EUR) [29], tačiau, remiantis 5 paveikslėlyje pateiktu grafiku matoma, kad sukurta vandens ir nuotekų tvarkymo infrastruktūra yra menkai išnaudojama, pajėgumai daugiau negu per pusę viršija poreikį.



**5 pav.** Naudojami vandens gavybos įrenginių ir nuotekų valymo įrenginių pajėgumai Lietuvoje [29]

Atsiranda nauja problema: visa sukurta infrastruktūra nusidėvi, vien 2018 m. buvo skirta 52,1 mln. EUR turto priežiūrai [29]. Santykinai mažesniai prisijungusiųjų prie centralizuotų vandens ir nuotekų tinklų asmenų skaičiui skiriami didesni mokestiniai tarifai, o tai iškelia kainas mažesniuose miestuose ir miesteliuose. Svarbu paminėti, kad Lietuvos pastangos, įgyvendinant direktyvos reikalavimus, Europos Komisijai pasirodė per menkos, todėl 2017 m. vasario 15 d. dėl išpareigojimų neįvykdymo, tinkamo nuotekų neišvalymo ir per mažo aglomeracijų sujungimo su centralizuotais nuotekų tinklais, pradėta pažeidimo procedūra. Dėl šios priežasties Lietuva papildė Geriamojo vandens tiekimo ir nuotekų tvarkymo įstatymą nuostatomis, kurios užtikrina individualių nuotekų tvarkymo sistemų priežiūrą ir kontrolę bei įtvirtina aiškų teisinį reguliavimą išleidžiamoms nuotekoms [30].

Atsižvelgiant į turimą šalies vandens ir nuotekų valymo infrastruktūrą, išskeltus bendrijos tikslus aplinkos apsaugai, LR Vyriausybė 2022 m. kovo 30 d. nutarimu Nr. 318 „Dėl 2022–2030 metų plėtros programos valdytojos Lietuvos Respublikos Aplinkos ministerijos aplinkos apsaugos ir klimato kaitos valdymo plėtros programos patvirtinimo“ [31] priėmė programą, kurios pagalba toliau siekiama sistemingai didinti prisijungusiųjų prie centralizuotų nuotekų tinklų gyventojų skaičių, didinti vandens tiekimo ir nuotekų tvarkymo įmonių efektyvumą, gerinti valstybinę kontrolę. Vandens išgavimo, nuotekų tvarkymo sektorius ir taip reikalauja didelių finansinių dotacijų, todėl jo modernizacija ir pritaikymas prie besikeičiančio ekonominio modelio turi būti vienas iš Lietuvos perėjimo prie žiedinės ekonomikos tikslų. Tinkamai išnaudojant turimą

infrastruktūrą bei kiekvienais metais surenkant vis daugiau nuotekų, šalis galėtų iš jų atgauti naudingų resursų, o bandymai tai padaryti pritrauktų investicijų ir padėtų vandens ir nuotekų valymo įmonėms finansiškai sustiprėti.

### 1.2.2. Europos Sąjungos ir Lietuvos dumblo tvarkymas, teisinis reglamentavimas

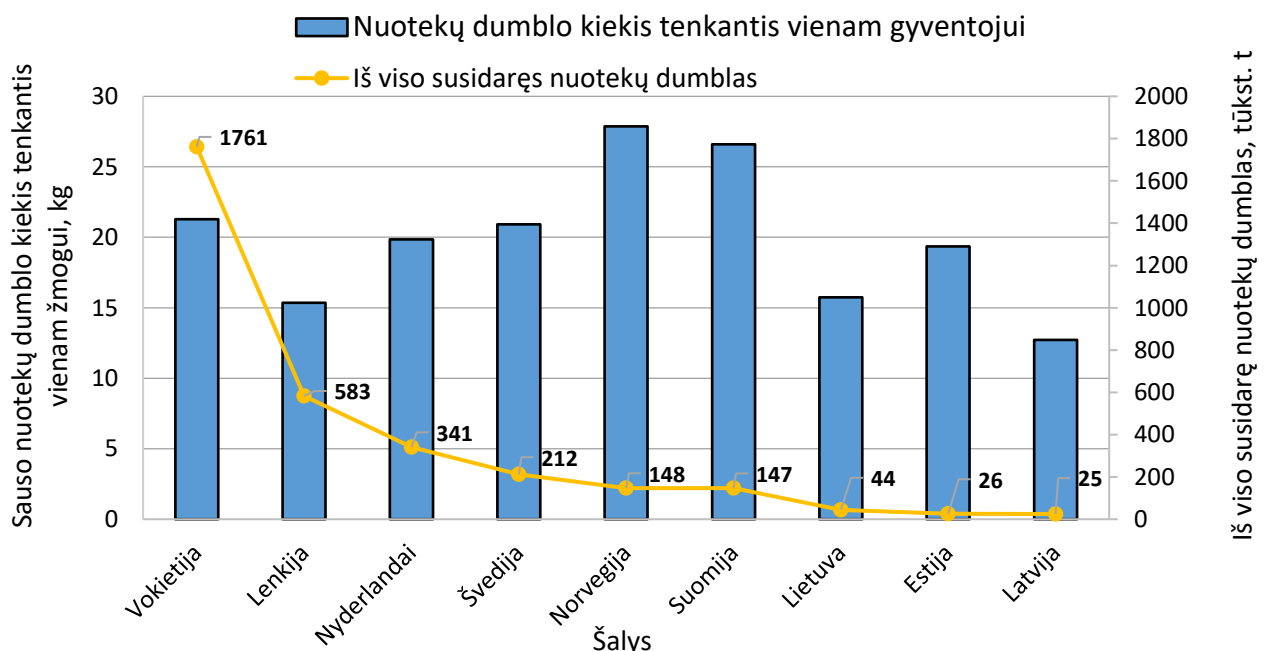
**1986 m. birželio 12 d.** Europos Taryba priėmė direktyvą (86/278/EEB) *Dėl aplinkos, ypač dirvožemio, apsaugos naudojant žemės ūkyje nuotekų dumblą* [32], kurios pagrindinis tikslas padidinti žemės ūkyje naudojamo nuotekų dumblo kiekį ir nustatyti reikalavimus, kad nuotekų dumble esančios sunkiųjų metalų koncentracijos būtų saugios žmonėms, gyvūnams, augalams ir visai aplinkai. Nuotekų dumblas – purvą primenanti medžiaga, susidaranti po nuotekų valymo, kuriame gausu kenksmingų medžiagų, tokių kaip: sunkiai biologiškai skaidūs organiniai junginiai, bakterijos, virusai, vaistai, hormonai ir sunkieji metalai [33]. Septyniems sunkiesiems metalams nustatytos koncentracijų ribos: kadmiui, variui, nikeliui, švinui, cinkui, gyvsidabriui ir chromui. Viršijus ribas, nuotekų dumblas negali būti naudojamas žemės ūkyje. Be visų kenksmingų medžiagų, nusaustas nuotekų dumblas, vidutiniškai sudarytas iš 50-70 % organinių medžiagų ir 30-50 % iš mineralinių komponentų [34]. Dumble esantis neorganinis azotas ir fosforas yra reikalingos medžiagos augalų tręšimui. Atsižvelgus į medžiagoje esančius sudedamuosius komponentus, direktyvoje nurodoma, kada ūkininkai gali naudoti nuotekų dumblą, kaip imami dirvožemio mėginiai analizei, kokia informacija turi būti renkama ataskaitose, kaip dumblas turi būti apdorojamas [35]. Dėl sėkmingai įgyvendinamos nuotekų valymo direktyvos, visoje Europoje nuotekų surenkama ir išvaloma kiekvienais metais vis daugiau, todėl ir nuotekų dumblo kiekis auga [36]. Tam, kad dumblas netaptų atlieka, besivadovaudama atliekų hierarchijos ir žiedinės ekonomikos principais, ES priėmė teisinius dokumentus dėl nuotekų dumblo panaudojimo žemės ūkyje (žr. 3 lentelė). Teisės aktai leidžia naudoti apdorotą dumblą tausojant aplinką.

**3 lentelė.** Pagrindiniai ES teisės aktai, reglamentuojantys nuotekų dumblo apdorojimą ir tvarkymą (Sudaryta remiantis [26])

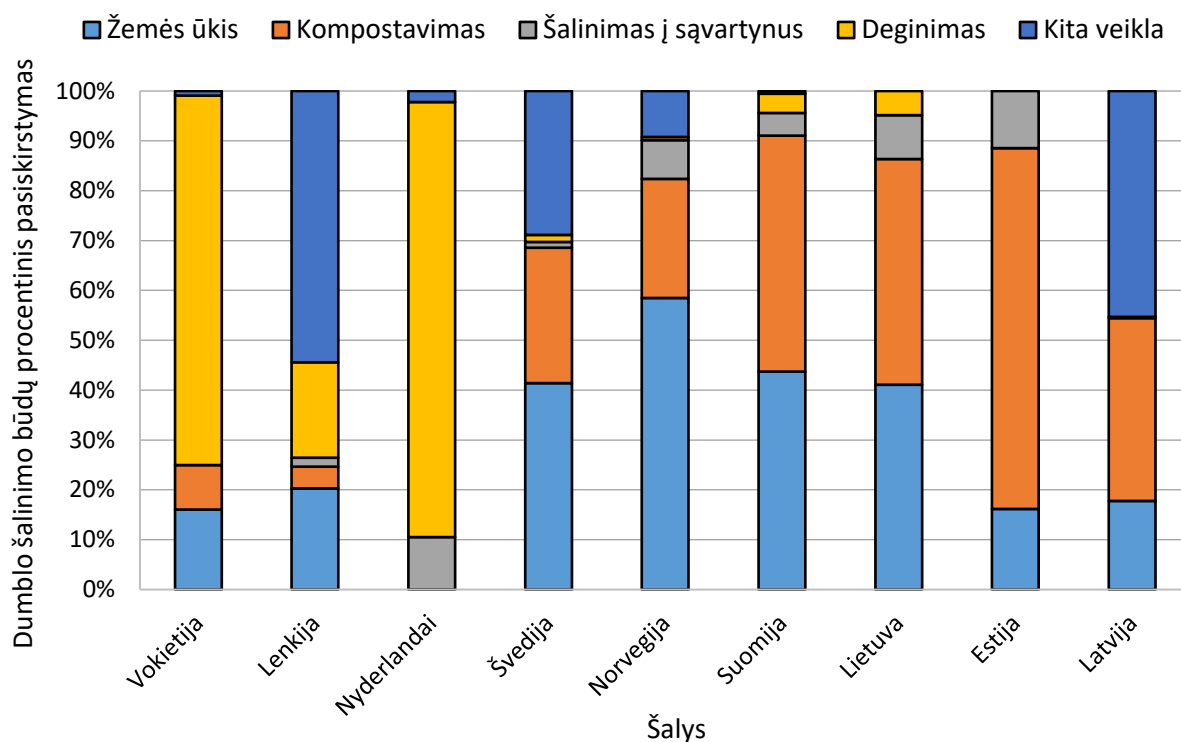
Nuotekų dumblo apdorojimas/ tvarkymas			
Teisės aktas	Pagrindinė teisės akto tema	Teisės akto sąsaja su žiedine ekonomika	Atitinkantis Lietuvos teisės aktas
1	3	4	5
Tarybos Direktyva 86/278/EEB dėl aplinkos, ypač dirvožemio, apsaugos naudojant žemės ūkyje nuotekų dumblą	Reguliuojamas nuotekų dumblo naudojimas žemės ūkyje	Pateikiami kriterijai aplinkos apsaugai užtikrinantys saugų nuotekų dumblo naudojimą žemės ūkyje	LR Aplinkos ministro įsakymas Dėl nuotekų dumblo tvarkymo ir panaudojimo reikalavimų patvirtinimo
Europos Parlamento ir Tarybos Direktyva 2006/12/EB dėl atliekų	Atliekų atgavimas	Galimybė naudoti nuotekų dumblą kompostavime	LR Atliekų tvarkymo įstatymas
Europos Parlamento ir Tarybos Direktyva 2008/98/EB dėl atliekų ir panaikinanti kai kurias direktyvas	Atliekų atgavimas	Galimybė naudoti nuotekų dumblą kompostavime	LR Atliekų tvarkymo įstatymas

Nuotekų dumblo apdorojimas/ tvarkymas			
Teisės aktas	Pagrindinė teisės akto tema	Teisės akto sąsaja su žiedine ekonomika	Atitinkantis Lietuvos teisės aktas
1	3	4	5
Europos Parlamento ir Tarybos Direktyva (ES) 2018/851, kuria iš dalies keičiama Direktyva 2008/98/EB dėl atliekų	Atliekų atgavimas	Pakeičia direktyvas 2006/12/EB ir 2008/98/EB, nurodo, kad nuotekų dumblas nėra miesto atliekos	LR Atliekų tvarkymo įstatymas
Europos Parlamento ir Tarybos Reglamentas (ES) 2019/1009, kuriuo nustatomos ES tręšiamųjų produktų tiekimo rinkai taisyklės ir iš dalies keičiami reglamentai (EB) Nr. 1069/2009 ir (EB) Nr. 1107/2009 bei panaikinamas Reglamentas (EB) Nr. 2003/2003	Išteklių rinka	Apibrėžiami kriterijai, kurie nurodo koks nuotekų dumblas yra laikomas trąša rinkoje	Nėra

Remiantis pateiktais teisės aktais, ES šalys savo susidariusį nuotekų dumblą turėtų tvarkyti besivadovaujant atliekų hierarchijos principais (žr. 2 pav.), kurie nurodo pirmenybę atliekų prevencijai, pakartotiniam naudojimui, perdirbimui, energijos gamybai ir tik neturint kitos galimybės, šalinimą sąvartynuose. Vadovaujantis sąvartynų direktyva (1999/31/EB) [37] visoje ES biologiškai skaidžių atliekų šalinimas sąvartynuose yra smarkiai mažinamas, todėl atliekų tvarkytojai turi rasti tinkamesnius ir naudingesnius dumblo tvarkymo būdus. 6 ir 7 paveikslėliuose pateikti pasirinktų ES šalių 2018 m. susidariusio nuotekų dumblo kiekiai ir tvarkymo būdai.



**6 pav.** ES Baltijos jūros regiono šalių bendras ir vienam gyventojui tenkantis valyvklose susidarantis nuotekų dumblo kiekis, 2018 m. [38]



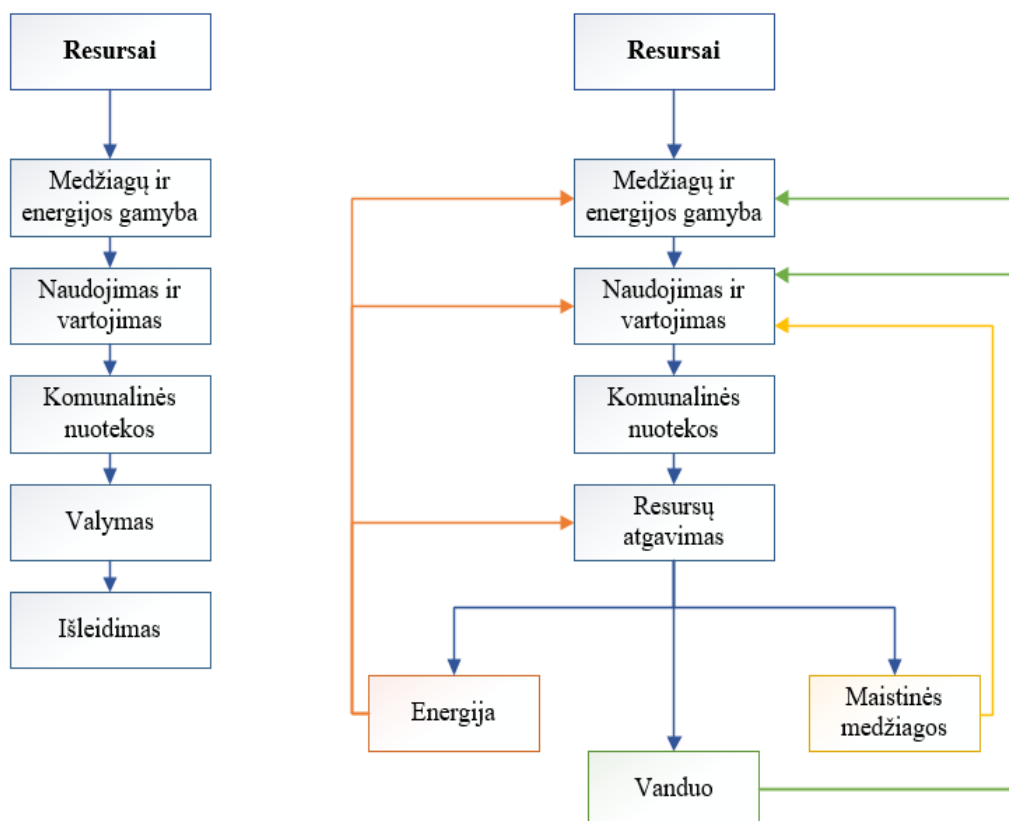
**7 pav.** ES Baltijos jūros regiono šalių valylose susidarančio nuotekų dumblo tvarkymo būdai, 2018 m. [38]

Iš 6 paveikslėlio matoma, kad Vokietijoje susidaro daugiau nuotekų dumblo negu visose Baltijos jūros regione esančiose šalyse kartu sudėjus, tačiau vienam gyventojui tenkantis kiekis tik truputėlį viršija nurodytą šalių vidurkį (vidurkis 19,96 kg. vienam gyventojui). Stebint 7 paveikslėlį nesunku įvertinti, kad ne visos ES šalys tvarkydamos susidariusį nuotekų dumblą, vadovaujasi atliekų tvarkymo hierarchija. Vokietija ir Nyderlandai pirmenybę teikia deginimui ir energijos atgavimui. Lietuva šiuo aspektu pasirinkusi kompostavimo ir naudojimo žemės ūkyje būdus, kurie atneša didesnę naudą žemei. Šalinimas sąvartynuose visose šalyse yra rečiausiai pasirenkamas būdas. Daug dumblo vis dar yra kaupiama saugojimo aikštelėse, nes ne visos bendrijos narės turi pasirengusios dumblo tvarkymo ir panaudojimo planus, trūksta rinkų, kurioms šios žaliavos reikėtų.

Lietuva nuotekų dumblo direktyvą (86/278/EEC) yra priėmusi LR Aplinkos ministro **2001 m. birželio 29 d.** įsakymu Nr. 349 „Dėl nuotekų dumblo tvarkymo ir panaudojimo reikalavimų patvirtinimo“, kuriame pateikiami bendrieji tvarkymo reikalavimai, dumblo kokybės parametrai, būtini atlikti tyrimai, skirti atliekų tvarkytojams ir reikalavimai, skirti dumblo naudojimui žemės tręšimui. Tačiau į šalies teisinę sistemą priimta ES direktyva, nuotekų dumblo tvarkymo problematikos neišsprendė. Ilgą laiką dumblas buvo šalinamas sąvartynuose arba kaupiamas aikštelėse ir tik 2006 m. susidariusi problema pradėta nagrinėti [39]. Aplinkos projektų valdymo agentūra atliko užsakymą dėl galimybių studijos *Investicinė programa dumblo tvarkymui Lietuvoje* [40]. Nustatyta, kad 2004 m. bendras nuotekų dumblo aikštelių plotas užėmė 180,8 ha plotą ir ne visos aikštelės atitiko keliamus reikalavimus aplinkos apsaugai. Lietuvoje taip pat buvo atlikta ir daugiau galimybių studijų, kurios padėjo įgyvendinti modernizacijos projektus, paremtus šalies ir ES Sanglaudos fondo lėšomis [40]. Atlikti darbai smarkiai prisidėjo prie nuotekų dumblo tvarkymo ir kiekio mažinimo aikštelėse. **2022 m.** jau parengtas dar nepatvirtintas *Valstybinis atliekų prevencijos ir tvarkymo 2021–2027 metų plano* projektas [41], kuriame skatinama nuotekų dumblą apdoroti, kad jis būtų kuo saugesnis ir galėtų būti įvairiai naudojamas, pirmenybę teikiant kompostavimui.

### 1.3. Nuotekų tvarkymas žiedinės ekonomikos kontekste

Vandens bei nuotekų tvarkymas yra vienas svarbiausių ŽE iššūkių, nes daugelis pramonės šakų yra priklausomos nuo vandens. Sutrikdyta prieiga prie vandens resursų gali apriboti gamybos pajėgumus ir pelną [21]. Dauguma Europos nuotekų valyklų buvo statomos ir administruojamos, vadovaujantis linijinės ekonomikos koncepcija, todėl pagrindinis tikslas buvo nuotekas išvalyti iki reglamentuotų normų ir koncentracijų, neatsižvelgiant į galimybę atgauti žaliavas ar energiją [42]. Įgyvendinus Žiedinės ekonomikos principus, nuotekų valykluose būtų galima ne tik išvalyti nuotekas, tačiau ir atgauti vandenį, energiją ir žaliavas. 8 paveikslėlyje pateikiamas nuotekų tvarkymas pagal žiedinės ir linijinės ekonomikos modelius.

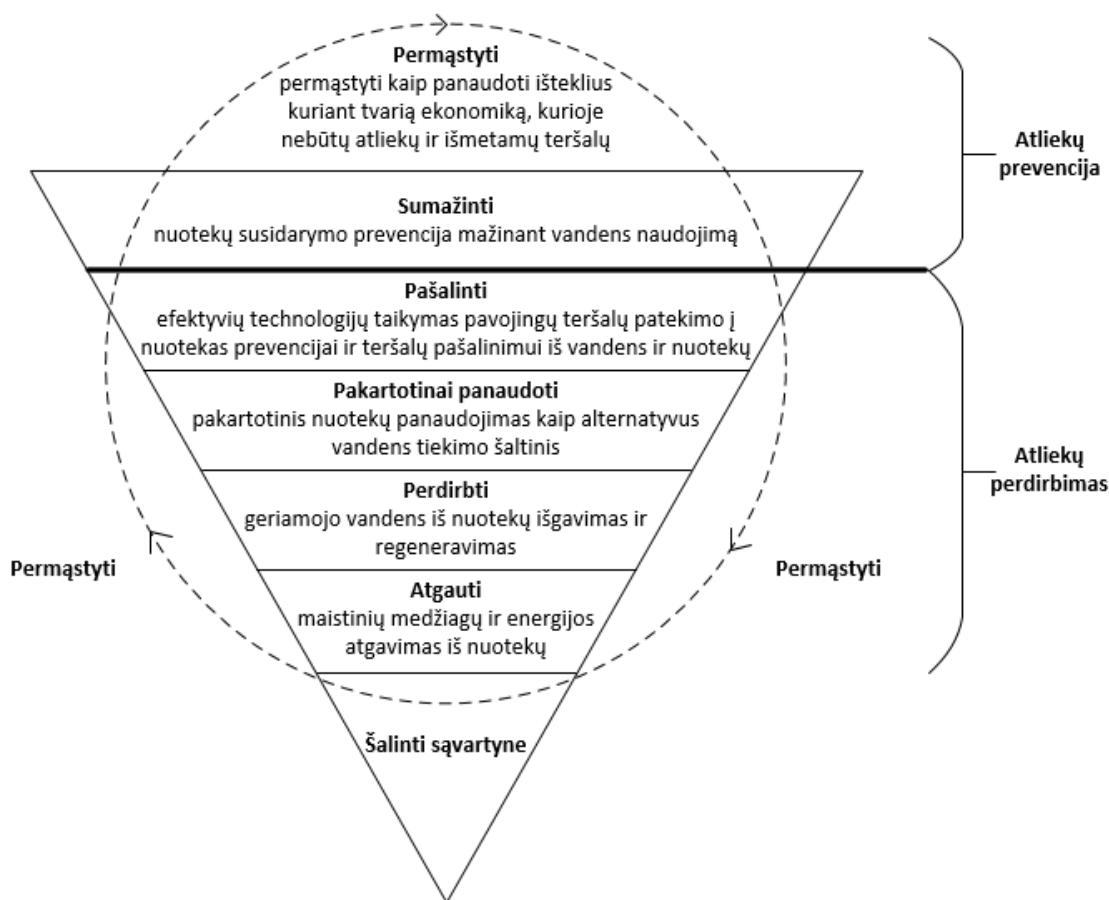


**8 pav.** Nuotekų tvarkymas: linijinės ekonomikos (kairėje) ir žiedinės ekonomikos (dešinėje) palyginimas (sudaryta remiantis [42])

Linijinės ekonomikos modelis, taikomas nuotekų valykluose, nebeatitinka ES keliamų ŽE tikslų ir atliekų hierarchijos principų, tad norint išlikti konkurencingais bei atitikti besikeičiantį rinkos poreikį, nuotekų valykloms privalo įvertinti galimybę resursų atgavimui iš nuotekų.

ŽE kontekste, atliekų valdymas užima svarbią vietą veiksnių planuose [5,6] ir *Lietuvos pramonės perėjimo prie žiedinės ekonomikos kelrodyje* [17], ne tik dėl būtinybės mažinti susidarančių atliekų kiekius, bet ir dėl galimybės atgauti ir pakartotinai panaudoti atliekas, kurios tampa žaliavomis. ES Tarybos direktyvoje dėl atliekų (2008/98/EB) [43] priimtas atliekų hierarchijos modelis, išdėstyti pagrindiniai atliekų tvarkymo apibrėžimai, įskaitant apibrėžimą, kada šalutinis produktas nėra laikomas atlieka. Tai privertė bendrijos nares imtis būtinų priemonių pakartotiniam atliekų panaudojimui ir perdirbimui, užtikrinti ir atskirti pavojingas atliekas nuo buitinių [21]. Europos Komisija apibrėžė, kad svarbiausias atliekų direktyvos tikslas yra sumažinti neigiamą atliekų susidarymo, jo valdymo poveikį žmonių sveikatai bei aplinkai, mažinant išteklių naudojimą ir

vykdyti veiklas remiantis atliekų hierarchijos principais [44]. Miesto nuotekų valyklose susidaranti nuotekos taip pat turi medžiagų, kurios gali būti atgautos ir perdirbtos. Smol ir kt. (2020) pateikia ŽE modelį, pritaikytą miestų nuotekų valykloms pagal atliekų hierarchijos principus (žr. 9 pav.).



9 pav. ŽE modelio sistema vandens ir nuotekų sektoriuje (sudaryta remiantis [21])

Be galimybės iš nuotekų atgauti vertingas medžiagas, svarbiausias žingsnis išlieka nuotekų susidarymo prevencija. Dėl gerėjančių gyvenimo sąlygų ir stiprėjančios ekonomikos, vandens poreikis tik auga. Visiškai išvengti nuotekų susidarymo neįmanoma, bet atgauti naudingas medžiagas – būtina.

Pavyzdžiui, 2018 m. Baltijos jūros šalių regione, nuotekų dumblo (sausomis medžiagomis) susidarė daugiau negu 3286 tūkst. tonų, iš kurių 54 % vien tik Vokietijoje (žr. 6 pav.). Paties dumblo sudėtis smarkiai priklauso nuo atitekančių nuotekų ir valyklose naudojamo apdorojimo būdo, o kokybė lemia galimą pakartotinį panaudojimą. Tai tampa dar svarbiau ŽE kontekste, siekiant maksimaliai padidinti pakartotinio panaudojimo potencialą arba pakartotinį maistinių medžiagų naudojimą, taip pat užtikrinti saugų jų šalinimą [45]. Nuotekų dumblo apdorojimo būdai yra įvairūs, tačiau juos galima suskirstyti į dvi pagrindines kategorijas: organinį ir energijos/ medžiagų perdirbimą (žr. 10 pav.)



<b>NUOTEKŲ DUMBLO TVARKYMO KRYPTYS</b>	
<p><b>Organinis perdirbimas</b></p> <p>susijęs su nuotekų dumblo potencialu žemės ūkyje naudojant kaip trąšą ar dirvožemio formavimui</p>	<p><b>Energijos ir medžiagų perdirbimas</b></p> <p>susijęs kaip kuro ir kitų mineralų, susidarantių atliekose po šiluminės transformacijos, naudojimu</p>
<p><b>Žemės ūkyje</b></p> <p>apdoroto nuotekų dumblo naudojimas dirvos tręšimo darbams</p>	<p><b>Deginimas</b></p> <p>dumblo, skirto deginti įrenginiuose, skirtuose tik terminiam dumblo apdorėjimui, kaip pagrindinė gamyklos žaliava, kryptis</p>
<p><b>Žemės atgavimas</b></p> <p>skirtingų formų nuotekų dumblo naudojimas tam, kad atgauti ar atstatyti nualintą žemę</p>	<p><b>Alternatyvūs terminiai metodai</b></p> <p>nuotekų dumblo panaudojimas kietojo kuro gamybos procesuose, tokiuose kaip:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- pirolizė</li> <li>- dujofikacija</li> </ul>
<p><b>Kompostavimas</b></p> <p>organinių trąšų reikalavimus atitinkančio komposto gamyba žemės tręšimui</p>	<p><b>Bendrasis deginimas</b></p>
<p><b>Mechaninis biologinis apdorėjimas</b></p> <p>paruošti nuotekų dumblą panaudojimui arba šalinimui</p>	<p><b>cemento gamyklos</b></p> <p>deginant dumblą gamyklose atgaunami mineralai, kuriuos galima naudoti klinkerio gamybai ar statybos produktams</p> <p><b>energetikos sektorius</b></p> <p>(elektrinės, katilinės ir kt.) - nuotekų dumblo kryptis įrenginiams, skirtiems gaminti elektrą ir (arba) šilumą, siekiant išnaudoti nuotekų dumblo kuro savybes kartu deginant dumblą su kitu kuru</p> <p><b>atliekų deginimo gamyklos</b></p> <p>nuotekų dumblo, skirto deginti šiluminės konversijos sistemose, kryptis, siekiant išnaudoti nuotekų dumblo kuro savybes kartu deginant dumblą su kitomis atliekomis</p>

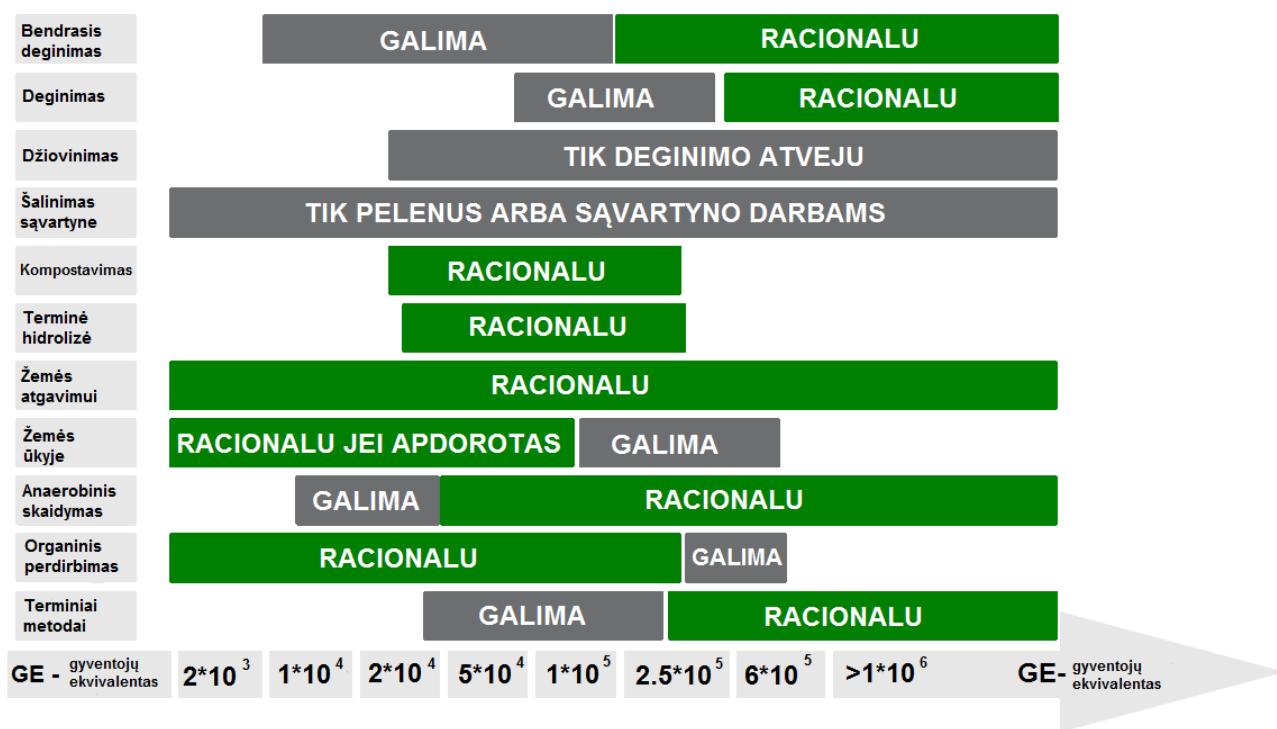
**10 pav.** Pagrindiniai būdai nuotekų dumblo šalinimui (sudaryta remiantis [43])

Nuotekų valyklos, dumblo šalinimo būdą neretai pasirenka atsižvelgdamos į darbų kainą, nes nuotekų tvarkymas reikalauja didžiulių investicijų, kurių valykloms neretai trūksta. Kiekviena bendrijos šalis skiriasi savo pragyvenimo lygiu, ekonomika ir paslaugų kainomis, todėl ir nuotekų kainos gali smarkiai skirtis. Preliminarios nuotekų dumblo tvarkymo ir šalinimo kainos pateiktos 4 lentelėje.

**4 lentelė.** Dumblo apdorojimo ir šalinimo sąnaudų diapazonas ES šalyse [44]

Šalinimo tipas	Kainų diapazonas (EUR)	
	Mažiausios reikšmės	Didžiausios reikšmės
1	2	3
Žemės ūkis	25	210
Šalinimas sąvartyne	125	255
Kompostavimas	150	310
Terminis džiovinimas	80	210
Deginimas	80	438

Iš 4 lentelės duomenų matoma, kad kainų diapazonas pasirinktam šalinimo būdui yra labai platus, todėl tokius duomenis reikėtų vertinti labai atsargiai. Galima daryti prielaidą, kad dumblo naudojimas žemės darbams yra santykinai pigiausia alternatyva, todėl valyklos daugiausiai šį būdą naudoja (žr. 7 pav.). Deginimo diapazonas pats didžiausias, tai parodo šio šalinimo būdo sudėtingumą ir priklausomybę nuo daugelio faktorių. Kacprzak‘as ir kiti (2017) [46] straipsnyje pateikia rekomendacijas nuotekų dumblo tvarkymui atsižvelgiant į nuotekų valyklos dydį ir susidarancio dumblo kiekius ( žr. 11 pav.).



**11 pav.** Rekomenduojami nuotekų dumblo tvarkymo būdai, atsižvelgiant į nuotekų valyklos aptarnaujamų gyventojų ekvivalentą (GE) [46]

Tokios rekomendacijos tik dar kartą įrodo, koks iššūkis miesto nuotekų valykloms tenka tvarkant nuotekų dumblą. Kaina, nors ir svarbus faktorius, ne visada yra esminis. Valstybiniame atliekų prevencijos ir tvarkymo 2021–2027 metų plano projekte [41] siekis, nuotekų dumblą panaudoti kuo įvairiau, bet pirmenybę teikiant kompostavimui, ne visoms valykloms bus įvykdomas uždavinys. Lietuvoje tik 17 iš 57 nuotekų valymo valyklų (didesnių negu 2 000 g. e.) (žr. 7 lentelę) patenka į kompostavimui racionalų intervalą, tačiau apdorojimo būdų įvairovė yra gausi.

Miesto nuotekų valykloms norint pereiti prie ŽE grįstų nuotekų valymo būdų, reikalingas skatinantis valstybės požiūris ir finansavimas. Remiantis Lietuvos inovacijų centro parengta publikacija [15], Europos investicinis bankas (toliau – EIB) teikia skolinimo paslaugas ŽE projektams, jeigu jie yra orientuoti į žiedinį dizainą ir gamybą, žiedinį naudojimą, žiedinį vertės atgavimą ir žiedines paslaugas. Būtent įranga ir technologijos, skirtos surinkti, apdoroti ir paskirstyti nuotekas, kurios tinkamos pakartotiniam naudojimui, yra laikoma tipine EIB investicija. Vadinasi, Lietuva galėtų tikėtis gauti investicijų iš EIB, jeigu apsispręstų plėtoti žiediškumą didinančią nuotekų tvarkymo infrastruktūrą. Lietuva *2022-2030 metų nacionalinės plėtros programoje* (toliau – NPP) [48] vykdydama išsikeltus uždavinius numatė ir tikėtinus finansavimo šaltinius. Nuotekų valyklų modernizacijos darbai atitiktų NPP uždavinius „6.7. gerinti vandens telkinių būklę bei didinti vandens tiekimo ir nuotekų tvarkymo paslaugų prieinamumą ir efektyvumą“ ir „6.10. Mažinti susidarančių atliekų kiekį ir efektyviai jas tvarkyti“, kuriems nurodyti finansavimo šaltiniai. Pasinaudojusios gautu finansavimu, miesto nuotekų valyklos prisidėtų prie ŽE modelio įgyvendinimo, atgautų reikalingų resursų bei sustiprintų ekonominę nepriklausomybę.

#### **1.4. Indikatorių taikymas žiedinės ekonomikos kontekste, vandens ir nuotekų sektoriams**

Kaip ir bet kurios kitos strategijos atveju, žiedinės ekonomikos koncepcijos įgyvendinimui reikia atitinkamų stebėjimo priemonių, kad būtų galima sekti ir vertinti pažangą, įgyvendinant atitinkamus tikslus. Žiedinė ekonomika yra daugialypė sąvoka, neturinti vienos dimensijos, atstovaujančios visoms suinteresuotųjų grupėms, todėl būtina sukurti indikatorius, identifikuojančius ŽE raidą ir jos pritaikomumą [45].

**2014 metais** pateiktame Europos aplinkos agentūros rodiklių santraukos raporte [50] yra išskirtos septynios indikatorių tematikos, kurios apima oro taršą, biologinę įvairovę, klimatą, energiją, transportą, vandenį ir kitus rodiklius. Išskiriami vandens indikatoriai:

- gėlo vandens išteklių naudojimas;
- deguonį sunaudojančios medžiagos upėse;
- maisto medžiagos gėlame vandenyje;
- maistinės medžiagos pereinamuosiuose, pakrančių ir jūrų vandenyse;
- maudyklų vandens kokybė;
- chlorofilas pereinamuosiuose, pakrančių ir jūrų vandenyse;
- miesto nuotekų valymas;
- pavojingos medžiagos jūroje esančiuose organizmuose;
- Europos žemės ūkio emisijų intensyvumas;
- vidaus sektoriaus emisijų intensyvumas Europoje;
- apdirbamosios pramonės emisijų intensyvumas Europoje.

Raporte pateikti indikatoriai nėra susieti su ŽE koncepcija, jų esminė paskirtis rinkti prieinamus duomenis, kad būtų galima ne tik palyginti ES šalis tarpusavyje, bet ir identifikuoti aplinkos apsaugos problemas. Tikslas – suteikti žinių, kurios padėtų apsaugoti žmonių sveikatą bei gyvąją gamtą.

Tais pačiais **2014 metais** išleista OECD *Žaliojo augimo indikatorių 2014* (angl. Green Growth Indicators 2014) *studija* [51]. Joje pateikiama labai plati rodiklių sistema su surinktais duomenimis. Studijoje analizuotos sritys apima aplinkos ir išteklių produktyvumą, turimus gamtos resursus,

gyvenimo kokybės dimensiją, ekonominių galimybių ir politikos atsakus. Šie indikatoriai aprėpia kiek platesnę suinteresuotųjų imtį, nes vertinamas ne vien daromas poveikis gamtai, bet ir kokie politiniai veiksmai bei programos turėtų būti vykdomos, kad pasiekti žaliąjį augimą, kaip aplinkos būklė įtakoja žmonių sveikatą. Vertinant nuotekų sektorių, studijoje pateikiamas prie nuotekų tinklų prisijungusios populiacijos dalies indikatorius, kuris yra svarbus norit įvertinti ne tik, kaip šalis susitvarko su savo nuotekomis, bet ir kaip jos vykdomos veiklos įtakoja jūras ir tarptautinius vandenį, nes iki tinkamų normų neišvalytos nuotekos užteršia ne vienos, o daugelio šalių aplinką ir sukelia tarpvalstybinį pavojų sveikatai.

**2018 metais** Europos Komisija priėmė komunikatą *Dėl žiedinės ekonomikos stebėsenos sistemos*, kurioje pateikė dešimt žiedinės ekonomikos indikatorių, suskirstytų į keturias kategorijas: gamyba ir vartojimas, atliekų tvarkymas, antrinės žaliavos, konkurencingumas ir inovacijos [52]. Anot komunikato, šie indikatoriai reikalingi tam, kad įvertinti pagrindinius ŽE elementus ir pasirinkti, atsižvelgiant į duomenų prieinamumą, patikimumą, priimtinumą ir patogumą naudoti. Toks informacijos kaupimas bei sekimas, laikui bėgant padės nustatyti sėkmės veiksnius atskirose ES šalyse ir identifikuoti problemas [53]. Verta paminėti, kad nurodyti indikatoriai apima sąlyginai mažą dalį sričių, kuriose taikoma ŽE koncepcija, todėl išlieka poreikis kurti ir pritaikyti vis naujesnes ir tikslesnes stebėsenas.

**2021 m.** išleistame *Lietuvos pramonės perėjimo prie žiedinės ekonomikos kelrodyje* pateikiamas pavyzdinis žiedinės ekonomikos veiksmingumo vertinimo rodiklių rinkinys [17]. Tai vienas iš pirmųjų bandymų Lietuvoje sukurti tokio tipo ŽE vertinimo indikatorius, kurie apima gamybą ir vartojimą, atliekų valdymą, antrines žaliavas, inovacijas ir konkurencingumą, procesų rodiklius ir ekologinį projektavimą. Verta paminėti, kad išsamių, į miesto nuotekų valyklas orientuotų indikatorių, kelrodyje nėra pateikta, tačiau „atgautų atliekų kiekis, įskaitant atliekų perdirbimą ir kompostavimą“ rodiklis yra susijęs su nuotekų tvarkymu. Ypatingai svarbus tampa bendradarbiavimas tarp įmonių, savivaldybių ir mokslo institucijų, kad būtų pasiektas kelrodyje išskeltas tikslas sukurti sistemą, užtikrinančią tinkamą ŽE rodiklių taikymą.

Be tarptautinių organizacijų ir valstybės lygmens dokumentų, ŽE matavimą ar stebėjimą taip pat vykdo mokslininkai, kurie, remdamiesi literatūros apžvalgomis ir analizėmis, kuria ir susistemina indikatorius padėsiančius pamatuoti tam tikrų sektorių atitikimą ŽE principams. **Kayal'as ir kt.** (2019) [46] susistemino ir pateikė indikatorius skirtus vandens sektoriaus įmonių žiediškumo įvertinimui. Pasiūlytas nuotekų circoniškumo (angl. circonomics) indeksas, kuris apima ŽE ekonomikos principus: perdirbimas, pakartotinis panaudojimas ir sumažinimas. Analizė vykdoma naudojant šiuos pagrindinius išskirtus indikatorius:

- atliekų produkcijos efektyvumo indikatorius, kuris skirtas apskaičiuoti ekonominę naudą iš pagrindinių nuotekų valyklų vykdomų veiklų;
- nuotekų pakartotinio naudojimo indikatorius, kuris skaičiuoja produkto masę, kuri buvo skirta pakartotiniam panaudojimui;
- kombinuotas nuotekų pakartotinio naudojimo indikatorius, parodantis kokia nauda ekonomikai bei aplinkos apsaugai būtų pasiekta iš nuotekų atgavus tam tikras medžiagas ir vandenį;
- nuotekų perdirbimo indikatorius – nurodo atgautą vandenį, kuris vėliau panaudojamas kitoms ekonominėms veikloms.

Kombinuotas šių indikatorių pritaikymas nuotekų sektoriaus įmonėms leistų įvertinti pakartotinio naudojimo ir perdirbimo efektyvumą, ekonominę naudą įmonėms.

**Smol ir kt.** [47] pateikia indikatorius, kurie padėtų įvertinti vandens ir nuotekų sektoriaus ekonominę perėjimą prie ŽE. Išanalizavus ES teisinius dokumentus, nevyriausybinių organizacijų ir mokslininkų parengtus raportus, pasirinkti indikatoriai buvo suskirstyti į veiklos grupes, kurios atitinka atliekų hierarchijos principą, bet yra daugiau pritaikytos vandens ir nuotekų sektoriui. Toliau skirstymas vyko pagal pagrindinius pinigų srautus: pajamos, išlaidos ir investicijos. Pasiūlyta indikatorinė sistema skirta vandens tiekimo, nuotekų tvarkymo ir kitoms įmonėms, kurios savo gamybos procesuose naudoja vandenį. Susisteminti ŽE ekonominiai indikatoriai vandens ir nuotekų sektoriui pateikti 5 lentelėje.

**5 lentelė.** Siūlomi ŽE ekonominiai rodikliai vandens ir nuotekų sektoriuje (sudaryta remiantis [55])

<b>ŽE modelio elementai</b>	<b>Pajamos</b>	<b>Išlaidos</b>	<b>Investicijos (investicijų finansavimas)</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Sumažinti	Pajamos dėl mažesnio vandens suvartojimo	-	Investicijos į vandens optimizacijos įrangą
Pašalinimas	Pajamos iš geriamojo vandens pardavimų	Geriamo vandens gamybos sąnaudos	Investicijos į įrangą vandens išgryninimui
	Pajamos iš nuotekų valymo	Nuotekų valymo išlaidos	Investicijos į nuotekų valymo įrangą
Pakartotinai panaudoti	Pajamos iš išvalyto, bet negeriamo vandens	Negeriamo vandens gamybos sąnaudos	Investicijos į įrangą vandens išvalymui
	Pajamos dėl mažesnės kainos nuotekų valymui		
	Pajamos dėl sumažėjusios nuotekų apkrovos		
Perdirbti	Pajamos iš parduoto geriamojo vandens	Geriamo vandens gamybos sąnaudos	Investicijos į įrangą vandens išvalymui
	Pajamos dėl mažesnės kainos nuotekų valymui		
	Pajamos dėl sumažėjusio poreikio išgauti vandenį		
Atgauti	Pajamos iš elektros energijos pardavimo	Elektros gamybos sąnaudos	Investicijos į įrangą energijos atgavimui
	Pajamos iš parduodamų trąšų	Trąšų gamybos sąnaudos	Investicijos į įrangą maistinių medžiagų atgavimui
	Pajamos dėl mažesnės kainos nuotekų valymui	Medžiagų gamybos sąnaudos	Investicijos į įrangą medžiagų atgavimui
Šalinti sąvartyne	-	Mokesčiai už atliekų šalinimą sąvartynuose	Investicijos į infrastruktūrą dėl atliekų šalinimo sąvartynuose

ŽE principų taikymas ir racionalus atliekų pakartotinis panaudojimas, sumažintų susidarančių nuotekų ir nuotekų dumblo kiekius, sumažėtų poreikis šalinimui sąvartyne, dėl to įmonės ir

valyklos mokėtų mažiau šalindami atliekas sąvartyne arba sandėliuojant aikštelėse. Matavimai atlikti pasitelkus nurodytus indikatorius suteiktų reikiamos informacijos sprendžiant pasirinktų technologijų pritaikymą vandens ir nuotekų sektoriaus įmonėms, kurios pereina prie ŽE. Atlikti skaičiavimai taip pat pritrauktų investuotojų, kurie prisidėtų prie naudingų technologinių procesų plėtojimo įmonėje.

**Preisner'is ir kt. (2022)** [56] savo straipsnyje pateikia išsamią indikatorių, skirtų įvertinti nuotekų tvarkymo sektoriaus perėjimą prie ŽE, literatūros analizę. Tai vienas iš pirmųjų darbų skirtų tik nuotekų sektoriui, kuriame pateikiami įvairiems nuotekų valymo įmonės procesams pritaikyti indikatoriai. Net 17 indikatorių buvo identifikuoti, kaip tinkantys nuotekų sektoriui:

- Prisijungimo prie centralizuotų nuotekų tinklų indikatorius;
- Maistinių medžiagų pašalinimo efektyvumo indikatorius;
- Organinių medžiagų šalinimo efektyvumo indikatorius;
- Nuotekų dumblo apdorojimo indikatorius;
- Išvalytų nuotekų panaudojimo žemės drėkinimui indikatorius;
- Neorganinių medžiagų kiekio nuotekose indikatorius;
- Maistinių medžiagų atgavimo indikatorius;
- Biologinio defosforizacijos potencialo rodiklis;
- Atgauto dumblo technologinis maistinių medžiagų naudingumo indikatorius;
- Nuotekų dumblo kompostavimo indikatorius;
- Biodujų gamybos iš nuotekų dumblo rodiklis;
- Teršalų kiekio atgautame nuotekų dumble indikatorius;
- SSA atkūrimo kokybės rodikliai;
- Nuotekų valymui naudojamų cheminių medžiagų indikatorius;
- Biologinių trąšų indikatorius.

Verta pažymėti, kad 2018 m. Europos Komisijos priimtame komunikate dėl žiedinės ekonomikos stebėsenos sistemos yra pabrėžiama, kad indikatoriai turi būti pasirenkami atsižvelgiant į duomenų prieinamumą, patikimumą ir patogumą naudoti. Dėl šios priežasties, dalies indikatorių pritaikyti visoms šalims neįmanoma, nes ne visi duomenys yra kaupiami. Norint surinkti visą informaciją reikiamą apskaičiuoti indikatorių reikšmes, kreiptis į šalies aplinkos apsaugos institucijas nepakanka, būtina rinkti duomenis iš kiekvienos nuotekų valyklos, bet net ir gavus duomenis iš jų, atsiranda pavojus gauti netikslius duomenis dėl nesančios bendros duomenų kaupimo sistemos. Taip pat ne visos veiklos šalyje yra vykdomos, todėl reikiamų duomenų gali nebūti. Net ir gausus indikatorių pritaikymas ir apskaičiavimas gali neduoti reikiamų rezultatų, jeigu nebus įmanoma palyginti duomenų su kitomis šalimis, kurios atliktų atskaitos vertės funkciją. Siekis sukurti visai ES bendrijai tinkamą nuotekų sektoriaus perėjimo prie ŽE indikatorinę sistemą vis dar išlieka ne menku iššūkiu, tačiau tarptautinės organizacijos ir mokslininkų grupės kurdamos ir sistemindamos turimus ir prieinamus duomenis smarkiai prisideda prie Europos Komisijos žiedinės ekonomikos veiklų plane išsikeltos tikslo sukurti rodiklius, kurie padėtų įvertinti kaip šalys narys pereina prie ŽE koncepcijos.

## 1.5. Literatūros apibendrinimas

2014 m. liepos mėn. Europos Komisijos išleistas komunikatas – *Žiedinės ekonomikos kūrimas. Europos be atliekų programa* yra vienas pirmųjų teisinių dokumentų, kuriuo ES pradeda ekonomikos perorientavimą į konkurencingesnę ir tvaresnę ŽE. Pirmojoje programoje dar trūko detalumo, įgyvendinimo priemonių, nuotekų tvarkymas nebuvo paminėtas. 2015 m. gruodžio mėn. išleistas *Uždaro ciklo kūrimas. ES žiedinės ekonomikos veiksmų planas* jau apibrėžė būtinybę sukurti indikatorius, kuriais būtų galima pamatuoti daromą pažangą. 2020 m. kovo mėn. patvirtintame *Naujame žiedinės ekonomikos veiksmų plane* jau išskiriamas ir nuotekų valyklų turimas potencialas. Europos Komisija įsipareigoja peržvelgti nuotekų valymo ir nuotekų dumblo direktyvas, kad jos labiau atitiktų ŽE principus. Parengti *Integruotą maistinių medžiagų valdymo planą*, kurio vienas iš tikslų skatinti atgautų maistinių medžiagų rinkas, ir *Pakartotinio vandens naudojimo reglamentą*.

2020 m. rugsėjo 9 d. Vyriausybės patvirtintą 2021–2030 m. nacionalinį pažangos planą galima laikyti vienu pirmųjų bandymų įtvirtinti ŽE koncepciją šalies teisinėje bazėje. Padidėjęs susidomėjimas, finansavimas ir bendradarbiavimas su mokslo institucijomis prisidėjo prie analizių ir publikacijų kūrimo, kuriose pirmą kartą apžvelgiamas šalies esamas žiediškumo potencialas. 2021 m. išleistas *Lietuvos pramonės perėjimo prie žiedinės ekonomikos kelrodis* parodė, kad šalyje nėra išnaudojamas turimas antrinių žaliavų atgavimo potencialas, o *Lietuvos pramonės žiediškumo analizėje* pateikiama, kad ŽE tesudaro 3,3 % (beveik 3 kartus mažesnis už ES vidurkį). Atliktose studijose ir publikacijose daug rašoma apie būtinybę iš atliekų atgauti antrines žaliavas, tačiau nuotekų valyklos yra labai mažai analizuojamos ir vertinamos.

1991 m. gegužės 21 d. priimta Tarybos direktyva (91/271/EEB) yra Europos nuotekų valymo sistemos pagrindas. Joje pateikiami nuotekų valymui keliami reikalavimai, būtini minimalūs išvalymo rodikliai, tačiau nuotekų žiediškumo potencialas direktyvoje nėra vertinamas. Remiantis *ES žiedinės ekonomikos veiksmų planu*, nuotekų direktyva ateityje bus peržvelgiama, kad atitiktų besikeičiantį ekonomikos modelį. 2004 m. įstojusi į ES, Lietuva reformavo savo teisinę sistemą ir perkėlė miestų nuotekų valymo (91/271/EEB) direktyvą. Gautas papildomas finansavimas iš ES struktūrinių fondų, leido sudaryti sąlygas prie centralizuotų nuotekų tinklų 2019 m. prijungti 76,53 % šalies gyventojų ir pagal direktyvos keliamus reikalavimus išvalyti nuotekas. LR Vyriausybės priimtoje „Dėl 2022–2030 metų plėtros programos valdytojos Lietuvos Respublikos Aplinkos ministerijos aplinkos apsaugos ir klimato kaitos valdymo plėtros programos patvirtinimo“ [31] programoje vienas iš iškeltų tikslų yra iki 2030 m. prie centralizuotų nuotekų tinklų prijungti 95 % šalies gyventojų, tačiau plane nėra keliami tikslai resursų atgavimui.

Nuotekų dumblas bendrijoje yra tvarkomas remiantis Tarybos direktyva (86/278/EEB) *Dėl aplinkos, ypač dirvožemio, apsaugos naudojant žemės ūkyje nuotekų dumblą* [32]. Dokumente nurodomi reikalavimai nuotekų dumblui, kad jis būtų saugus naudojant žemės ūkyje ar kompostuojant. Bendrijoje nuotekų dumblo šalinimas sąvartynuose yra smarkiai ribojimas, todėl šalys narės turi išnaudoti dumblo turimą energetinį ir maistinį potencialą. Nėra vieno populiaraus dumblo šalinimo būdo tarp bendrijos šalių. Vokietija ir Nyderlandai daugiau negu 70 % viso dumblo sudėgina, Suomijoje ir Lietuvoje dominuoja du būdai – kompostavimas ir panaudojimas žemės ūkyje, Estijoje virš 70 % dumblo kompostuojama, o Lenkijoje daugiau negu 50 % tvarkomo dumblo priskiriama *kitai veiklai*. Dažniausiai tai yra kaupimas saugojimo aikštelėse. 2022 m. LR aplinkos ministerijos parengtas, tačiau dar nepatvirtintas *Valstybinis atliekų prevencijos ir tvarkymo*

2021–2027 metų plano projektas [41], kuriame nuotekų dumblą skatinama panaudoti kuo įvairesniais būdais pirmenybę teikiant kompostavimui. Remiantis dokumento projektu, Lietuva pirmenybę teikia maistinių medžiagų atgavimui, o ne energijos.

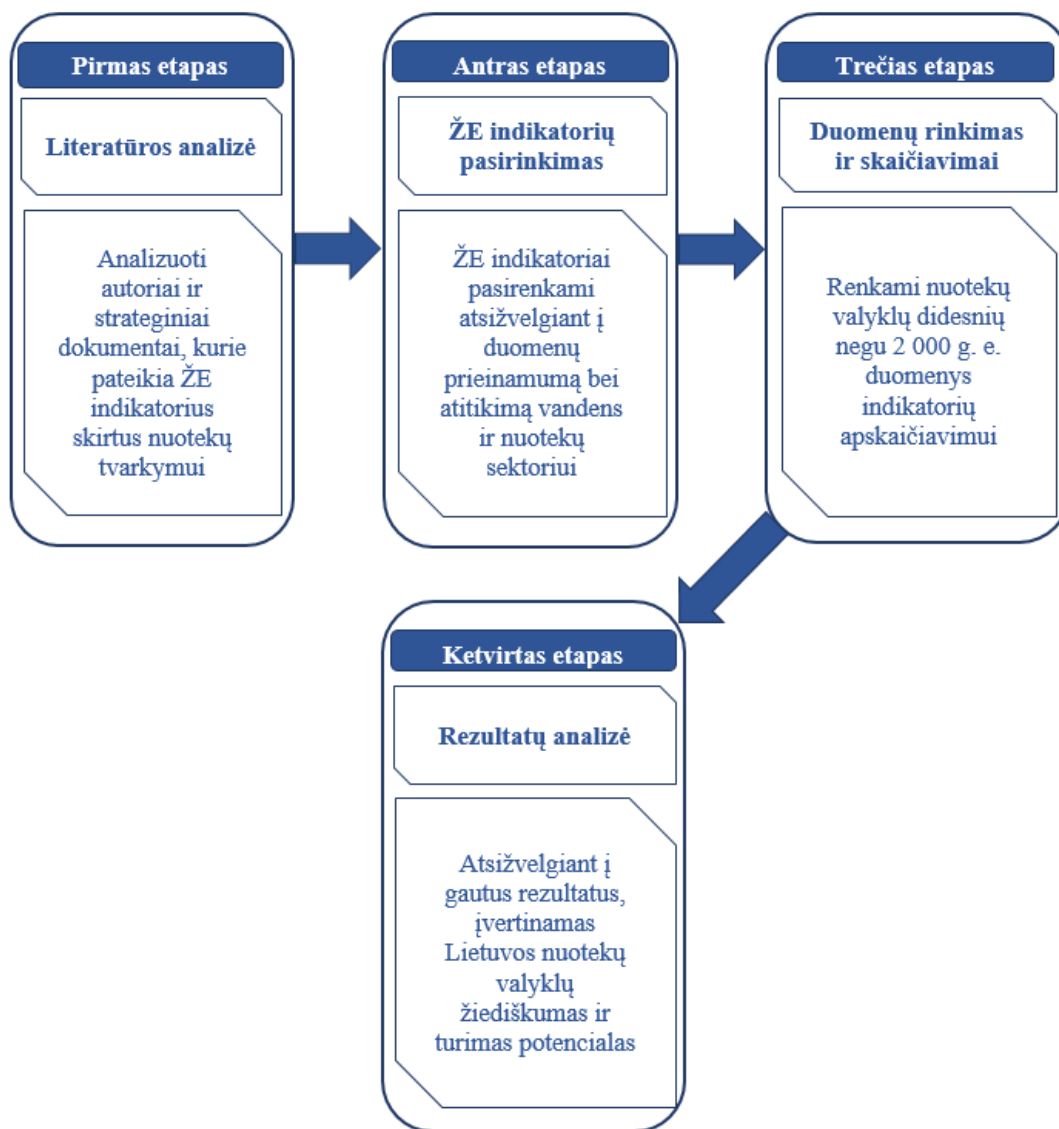
Nuotekų valymo įmonės buvo statomos remiantis linijinės ekonomikos modeliu, kurio pagrindinis tikslas išvalyti nuotekas iki reglamentuotų normų. Nuotekų tvarkymas žiedinės ekonomikos kontekste išsiskiria tuo, kad skatinama iš nuotekų atgauti vandenį, maistines medžiagas ir energiją. Ne tik atgavimas, bet ir prevencija, šalinimas, pakartotinis panaudojimas, perdirbimas ir pastovus vykdomų procesų permąstymas sudaro ŽE modelio sistemą skirtą vandens ir nuotekų sektoriui [21]. Nuotekų dumblas turi gausybę tvarkymo būdų, bet pagrindiniai yra *organinis perdirbimas*, kuris apima dumblo panaudojimą kaip trąšą žemės ūkyje ir *energijos/medžiagų perdirbimas*, kuris apima dumblo deginimo būdus bei mineralinių medžiagų atgavimu iš pelenų. Tvarkymo būdo pasirinkimą labiausiai įtakoja darbų kaina ir valyklos dydis. Nustatyta, kad ES vienas iš pigiausių dumblo tvarkymo būdų yra panaudojimas žemės ūkyje, kainų diapazonas svyruoja tarp 25-210 EUR. Kompostavimas yra vienas brangiausių būdų, kaina 150-310 EUR. Nuotekų valyklos dydis taip pat yra svarbus. Kuo didesnė valykla, tuo daugiau nuotekų dumblo ir atvirkščiai. Nustatyta, kad 2 000-100 000 g. e. nuotekų valyklose racionaliausi tvarkymo būdai yra organiniai, pačiose didžiausiose nuo 250 000 g. e. valyklose – terminiai. Finansavimas išlieka svarbiausiu žingsniu siekiant nuotekų valyklas pritaikyti prie ŽE koncepcijos. Europos investicinis bankas teikia paskolas skirtas ŽE projektams, Lietuva 2022-2030 metų nacionalinės plėtros programoje [48], taip pat yra numaćiusi finansavimo šaltinius. Tinkamas nuotekų bei dumblo tvarkymo būdų pasirinkimas yra svarbus siekiant ne tik saugaus išvalymo tikslų, bet ir efektyvaus medžiagų atgavimo. Finansavimas būtinas, nes vandens ir nuotekų sektoriai yra vieni brangiausių iš visų aplinkos apsaugos iniciatyvų.

2015 m. išleistame *ES žiedinės ekonomikos veiksmų plane* Europos Komisija iškelia sau uždavinį sukurti indikatorius, kurie padėtų pamatuoti ŽE įgyvendinimo pažangą. 2018 m. priimta *Žiedinės ekonomikos stebėsenos sistema* [52] yra išsikelta uždavinio rezultatas. Stebėsenos sistemoje pateikiami indikatoriai suskirstyti į keturias kategorijas: gamyba bei vartojimas, atliekų tvarkymas, antrinės žaliavos, konkurencingumas ir inovacijos. Pateikti indikatoriai apima mažą dalį sričių, kuriose gali būti taikoma ŽE koncepcija. Mokslininkų darbuose galima aptikti išsamias ŽE rodiklių analizes. Kayal'as ir kt. [46] bei Smol ir kt. [47] pateikia vandens ir nuotekų sistemos pritaikytus ekonominius ŽE indikatorius. Ekonominė nauda yra svarbi siekiant gauti reikiamą finansavimą naujų technologijų įdiegimui. Preisner'is ir kt. [56] savo straipsnyje pateikia detalų ŽE indikatorių sąrašą skirtą nuotekų sektoriui, kuris apima nuotekų išvalymo efektyvumą, atgautas medžiagas, nuotekų dumblo panaudojimą ir kt. Lietuvoje 2021 m. išleistame *Lietuvos pramonės perėjimo prie žiedinės ekonomikos kelrodyje* [17] pateikiamas vienas pirmųjų ŽE apimančių rodiklių rinkinių, tačiau nuotekų sektorius nėra įtrauktas. Siekis sukurti visai ES bendrijai tinkamus nuotekų sektoriaus žiediškumo įvertinimo rodiklius vis dar išlieka uždavinys, tačiau tarptautinės organizacijos ir mokslininkų grupės analizuoja ir kuria šiuos įrankius. Tik tinkamai įvertinus šalies nuotekų valyklų esamą žiediškumo potencialą, galima rengti strategijas ir skirti reikiamą finansavimą procesų ir veiklų perorganizavimui, kad jis atitiktų naująjį ES ekonomikos modelį.



## 2. TYRIMO METODIKA

Siekiant įvertinti Lietuvos nuotekų valyklų, didesnių negu 2 000 g. e., žiediškumą, buvo pasirinkti šaliai tinkami indikatoriai, surinkti viešai pateikiami duomenys ir susisiekti su nuotekų valyklomis dėl papildomos informacijos. Baigiamasis darbas atliktas remiantis metodika pateikta 12 paveikslėlyje.



12 pav. Pagrindiniai darbo etapai

### 2.1. Žiedinės ekonomikos indikatorių pasirinkimas vandens ir nuotekų sektoriui

Atlikus indikatorių analizę, skirtą įvertinti miestų nuotekų valyklų žiediškumą, pasirinkti Lietuvai pritaikomi indikatoriai, atsižvelgiant į informacijos prieinamumą, šalyje vykdomas pramonės veiklas ir teisinį reguliavimą. Dauguma indikatorių Lietuvos miesto nuotekų valykloms pritaikyti remiantis Preisner ir kt. (2022) atlikta išsamia literatūros analize. Atsižvelgiant į Smol ir kt. (2021) [21] pateikta ŽE modelio sistema vandens ir nuotekų sektoriui (žr. 9 pav.), indikatoriai buvo suskirstyti į kategorijas (žr. 6 lentelę).

**6 lentelė.** Indikatoriai naudoti nuotekų tvarkymo sistemos Lietuvoje žiediškumui įvertinti (Sudaryta remiantis [21, 56])

<b>ŽE modelis vandens ir nuotekų sektoriui</b>	<b>Indikatorius</b>	<b>Komentaras</b>
1	2	3
Permąstymas	Šalies turimas potencialas	Galimas resursų atgavimo potencialas, parodo kiek ir kokius resursus šalis galėtų atgauti įsidiėgus reikiamas technologijas
Sumažinimas ir prevencija	Vandens sunaudojimo produktyvumas	Skaitinė reikšmė, kuri parodo 1 m <sup>3</sup> vandens sukurtą pridėtinę vertę
	Prisijungimas prie centralizuotos nuotekų tvarkymo sistemos	Parodo kokia dalis gyventojų yra prisijungusi prie centralizuotų nuotekų tinklų
Pašalinimas	Maistinių medžiagų (N ir P) pašalinimo efektyvumas	Santykis tarp įtekėjusių ir ištekėjusių nuotekų parodantis kiek procentų maistinių medžiagų esančių nuotekose buvo išvalyta
	Neorganinių medžiagų kiekis nuotekose	Nurodo koks kiekis neorganinio azoto ir fosforo pateko į paviršinius vandenį po valymo
	Biologinis defosforizacijos potencialas	Skaitinė reikšmė parodanti poreikį naudoti papildomas chemines medžiagas fosforo šalinimui
	Teršalų kiekio atgautame nuotekų dumble indikatorius	Indikatorius leidžiantis įvertinti ar nuotekų dumblas yra smarkiai užterštas sunkiaisiais metalais
Pakartotinis panaudojimas ir perdirbimas	Išvalytų nuotekų panaudojimas žemės drėkinimui	Koks kiekis atgauto nuotekų vandens buvo panaudoja žemės ūkyje
Atgavimas	Nuotekų dumblo apdoravimo indikatorius	Nurodoma kokiose veiklose šalis naudoja susidariusį nuotekų dumblą
	Maistinių medžiagų atgavimo indikatorius	Kokios medžiagos ir koks jų kiekis buvo atgautas iš nuotekų ar nuotekų dumblo
	Biodujų gamybos iš nuotekų dumblo indikatorius	Koks kiekis biodujų buvo pagamintas naudojant nuotekų dumblą

## 2.2. Duomenų rinkimas ir skaičiavimai

Duomenys apie šalies nuotekų valyklas didesnes negu 2 000 g. e. buvo renkami iš:

- Lietuvos Aplinkos apsaugos agentūros ir statistikos departamento viešai teikiamų ataskaitų ir duomenų;
- tarptautinių duomenų bazių EUROSTAT, OESD ir Miesto nuotekų valymo direktyvos Europai internetinės svetainės [59]. Pažymėtina, kad tarptautinių duomenų bazių duomenys buvo naudojami tarpusavyje lyginant bendrijos narius;
- Lietuvos nuotekų valyklų viešai teikiamų ataskaitų ir duomenų;
- asmeninės komunikacijos su nuotekų valyklų atstovais. Verta paminėti, kad dėl per mažos duomenų imties, gauta informacija buvo naudojama duomenų apibendrinimui, bet ne jų sudarymui;
- asmeninės komunikacijos su aplinkos apsaugos agentūros darbuotojais.

Analizė atlikta vertinant esamą situaciją pagal duomenis nuo 2018-2020 m. Tie indikatoriai, kuriems svarbios ilgalaikės tendencijos, pavyzdžiui, prevencija rodikliai, buvo analizuojami 2010–

2020 m. laikotarpiu. Teršalų kiekio atgautame nuotekų dumble indikatorius buvo skaičiuotas tik 2018 m. laikotarpiui, naujesnių duomenų Aplinkos apsaugos agentūra dar nebuvo parengusi.

Dalis suskaičiuotų indikatorių buvo paimti iš duomenų bazių, kiti indikatoriai perskaičiuoti remiantis pateiktomis formulėmis.

### 1. *Prisijungimo prie centralizuotos nuotekų tvarkymo sistemos indikatorius ( $I_{WSC}$ ).*

Šis indikatorius svarbus tuo, kad ne tik parodo kokia dalis žmonių centralizuotai tvarko savo nuotekas, bet ir leidžia tiksliai įvertinti kokį resursų atgavimo potencialą šalis turės ateityje.

$$I_{WSC} = \frac{n_{\text{prisijungę}}}{n_{\text{iš viso}}} \quad (1)$$

čia  $n_{\text{prisijungę}}$  – skaičius gyventojų prisijungusių prie centralizuotų nuotekų tinklų tam tikroje aglomeracijoje;

$n_{\text{iš viso}}$  – bendras skaičius gyventojų analizuojamoje aglomeracijoje.

### 2. *Maistinių medžiagų (N ir P) pašalinimo efektyvumo rodiklis ( $I_{RE(N/P)}$ ).*

Visos nuotekų valyklos privalo patenkančias nuotekas išvalyti iki reglamentuotų ribinių normų ir tik tada išleisti į paviršinius vandenis. Paskaičiuoti  $C_{inN}$  ir  $C_{effN}$  indikatoriai parodo valyklos pajėgumą išvalant bendrąjį azotą ir fosforą.

$$I_{RE(N)} = \frac{C_{inN} - C_{eN}}{C_{inN}} \cdot 100\% \quad (2)$$

čia  $C_{inN}$  - bendras N kiekis nevalytose nuotekose (įtekančiose) [mg/l];

$C_{effN}$  - bendras N kiekis išvalytose nuotekose (ištekančiose) [mg/l].

$$I_{RE(P)} = \frac{C_{inP} - C_{eP}}{C_{inP}} \cdot 100\% \quad (3)$$

čia  $C_{inP}$  - bendras P kiekis nevalytose nuotekose (įtekančiose) [mg/l];

$C_{effP}$  - bendras P kiekis išvalytose nuotekose (ištekančiose) [mg/l].

### 3. *Neorganinių medžiagų kiekio nuotekose indikatorius ( $I_{EIC(N/P)}$ ).*

Pasirinktas indikatorius parodo koks kiekis neorganinio azoto ir fosforo buvo išleidžiama į paviršinius vandenis. Amonio azotas ( $NH_4-N$ ), amonis ( $NH_4$ ), nitratinis azotas ( $NO_3-N$ ), nitritinio azoto ( $NO_2-N$ ), fosfatinis fosforas ( $PO_4-P$ ) ir kiti junginiai prisideda prie vandenyse vykstančio eutrofikacijos proceso. Paskaičiuoti indikatoriai neorganiniam azotui ( $I_{EIS(N)}$ ) ir fosforui ( $I_{EIS(P)}$ ) padėtų įvertinti, kurios šalies valyklos daugiausiai išleidžia nepageidaujamų teršalų.

$$I_{EIS(N)} = N_{\text{eff}} \cdot Q_d \quad (4)$$

$$I_{EIS(P)} = P_{\text{eff}} \cdot Q_d \quad (5)$$

čia  $N_{\text{eff}}$  – neorganinio azoto koncentracija [mg/l];

$P_{\text{eff}}$  – neorganinio fosforo koncentracija [mg/l];

$Q_d$  – nuotekų kiekis [ $m^3$ /parą].

#### **4. Biologinio defosforizacijos potencialo indikatorius ( $I_{BDP}$ ).**

Lietuvoje visos nuotekų valyklos didesnės negu 2 000 g. e. naudoja biologinį valymo būdą, tačiau didžioji dauguma prie šio būdo papildomai naudoja chemines medžiagas, kad efektyviau pašalinti azotą ir fosforą. Taikant defosforizacijos potencialo indikatorius ( $I_{BDP}$ ) galima teoriškai paskaičiuoti ar valykloms būtina dar papildomai naudoti chemines medžiagas fosforo išvalymui. Tai svarbu, nes naudojamos papildomos cheminės medžiagos toliau patenka į nuotekų dumblą ir gali pakenkti jo kokybei.

$$I_{BDP} = \frac{ChDS}{BP} \quad (6)$$

čia  $ChDS$  – cheminis deguonies poreikis, koncentracija įtekamajame nuotekų vandenyje [mg/l];

$BP$  – suminė fosforo koncentracija įtekamajame [mg/l].

Gautos ( $I_{BDP}$ ) reikšmės mažesnės už 50 parodo, kad biologinis valymas turi būti taikomas kartu su kitais fiziniais ar cheminiais metodais. Jeigu reikšmė neviršija 50, tinkamam fosforo išvalymui nuotekose papildomų fizikinių ar cheminių metodų taikyti nereikia.

#### **5. Atgauto nuotekų dumblo teršalų kiekio indikatorius ( $I_{CDUP}$ ).**

Nuotekų dumblo panaudojimą labiausiai įtakoja jame esančių sunkiųjų metalų koncentracijos. Tam, kad įvertinti kokybę, buvo pasirinktas teršalų kiekio indikatorius  $I_{CDUP}$ , kuris sunkiųjų metalų koncentraciją nuotekų dumble išreiškia žalos vienetais.

$$I_{CDUP} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_i^{ref}}}{P \text{ koncentracija}} \quad (7)$$

čia  $C_i$  – sunkiųjų metalų koncentracija regeneruotoje medžiagoje [mg/kg];

$C_i^{ref}$  – sunkiųjų metalų koncentracija etaloninėje medžiagoje (pvz., tam tikros klasės kompostas, nuotekų dumblas, tinkamas tiesioginiam naudojimui žemėje) [mg/kg].

Vidutinė žalos vieneto, 1 g fosforo esančio nevalytame nuotekų dumble, vertė yra apie 0,5. Didesnės vertės signalizuoja apie per didelį sunkiųjų metalų kiekį nuotekų dumble.

### **2.3. Lietuvos nuotekų valyklų potencialo skaičiavimai**

Siekiant apskaičiuoti Lietuvos nuotekų valyklų turimą maistinių medžiagų ir energijos potencialą, buvo atliekami skaičiavimai remiantis pateiktomis formulėmis:

#### **1. Potencialus energijos atgavimas iš nuotekų**

Atgaunamo metano kiekis priklauso nuo organinės frakcijos esančios nuotekose ( $ChDS$ ), taip pat nuo pH, temperatūros ir nuotekų valymo būdo. Maksimalus  $CH_4$  atgavimo potencialas iš  $ChDS$  anaerobinėmis sąlygomis  $0.35 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{kg } ChDS$ . Daroma prielaida, kad visa organinė frakcija yra paverčiama į  $CH_4$ , kurios kaloringumas yra  $35,9 \text{ MJ/Nm}^3$ . Gaunama, kad maksimalus energijos

potencialas esantis 1 kg ChDS yra  $0,35 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4 \times 35,9 \text{ MJ/m}^3 = 12,6 \text{ MJ}$ . Atgavimo potencialas 80 % [96].

$$E_{\text{CH}_4} = \text{ChDS} \cdot 12,6 \text{ MJ} \cdot 0,8 \quad (8)$$

čia ChDS – cheminis deguonies poreikio kiekis įtekančiame nuotekų vandenyje [kg].

## 2. Elektros ir šilumos atgavimo potencialas

Nevalytose nuotekose esantis energijos potencialas smarkiai viršija energijos poreikį reikalingą nuotekų valymui. Energija esanti organinėje frakcijoje siejama su įtekančio ChDS apkrova. Remiantis kaloringumo matavimais iš 120 g ChDS galima atgauti 1760 kJ energijos. Elektros konversijos efektyvumas = 38 %. Šilumos konversijos efektyvumas = 40 %. Pagal pateiktą informaciją atgautą elektros energiją ( $E_{\text{el}}$ ) ir šilumos energiją ( $E_{\text{sl}}$ ) galima paskaičiuoti pagal pateiktas formules [97]:

$$E_{\text{el}} = \frac{\text{ChDS} \cdot 1760 \text{ kJ}}{120 \text{ g}} \cdot 0,38 \quad (9)$$

$$E_{\text{sl}} = \frac{\text{ChDS} \cdot 1760 \text{ kJ}}{120 \text{ g}} \cdot 0,4 \quad (10)$$

čia ChDS – cheminis deguonies poreikio kiekis įtekančiame nuotekų vandenyje [g].

## 3. Atgaunama šilumos energija iš nuotekų

Daugiausiai nuotekų susidaro kai gyventojai maudosi, gamina maistą, plauna namus ir kt. Šios nuotekos yra šiltos. Nustatyta, kad Šiaurės Kinijos nuotekų sistemoje temperatūra žiemą pasiekia 10-16 °C, o vasarą 22-25 °C. Pritaikius šiluminius siurblius, atsirastų galimybė atgauti nuotekų šilumą ir ją panaudoti pastatų šildymui. Teorinis terminės energijos atgavimo potencialas apskaičiuojamas pagal formulę [98]:

$$E_A = M \cdot \Delta T \cdot C \quad (11)$$

čia  $E_A$  – terminė energija generuoja šilumokaičiai, kJ;

$M$  – panaudojamų nuotekų masė, kg;

$\Delta T$  – temperatūrų skirtumas tarp įtekančių ir ištekančių nuotekų, °C;

$C$  - specifinė vandens šiluminė talpa (4,18 kJ/kg·°C).

Praktiškai visa terminė energija negali būti išgaunama, esant  $\Delta T = 4$  °C elektros ekvivalentas yra 1,77 kWh/m<sup>3</sup>.

### 3. REZULTATŲ APTARIMAS

Lietuvos miestų nuotekų valyklos, įgyvendindamos ŽE principų taikymą savo veikloje, gali smarkiai prisidėti prie poveikio mažinimo aplinkai. Pripažinus, kad nuotekos nėra tik atliekos, kurias būtina išvalyti iki reglamentuotų normų ir išleisti į paviršinius vandenis, šalis galėtų išnaudoti nuotekų bei nuotekų dumblo potencialą atgaunant maistines medžiagas, energiją, vandenį. Galimybė atgauti didesnę pridėtinę vertę turinčius resursus pritrauktų investuotojus, kurie savo kapitalo dėka sukurtų daugiau darbo vietų ir prisidėtų prie dar efektyvesnės nuotekų valymo infrastruktūros diegimo. Toks žiediško įgyvendinimas atneštų naudos visiems suinteresuotiesiems.

#### 3.1. Lietuvos aglomeracijų ir nuotekų valyklų apžvalga

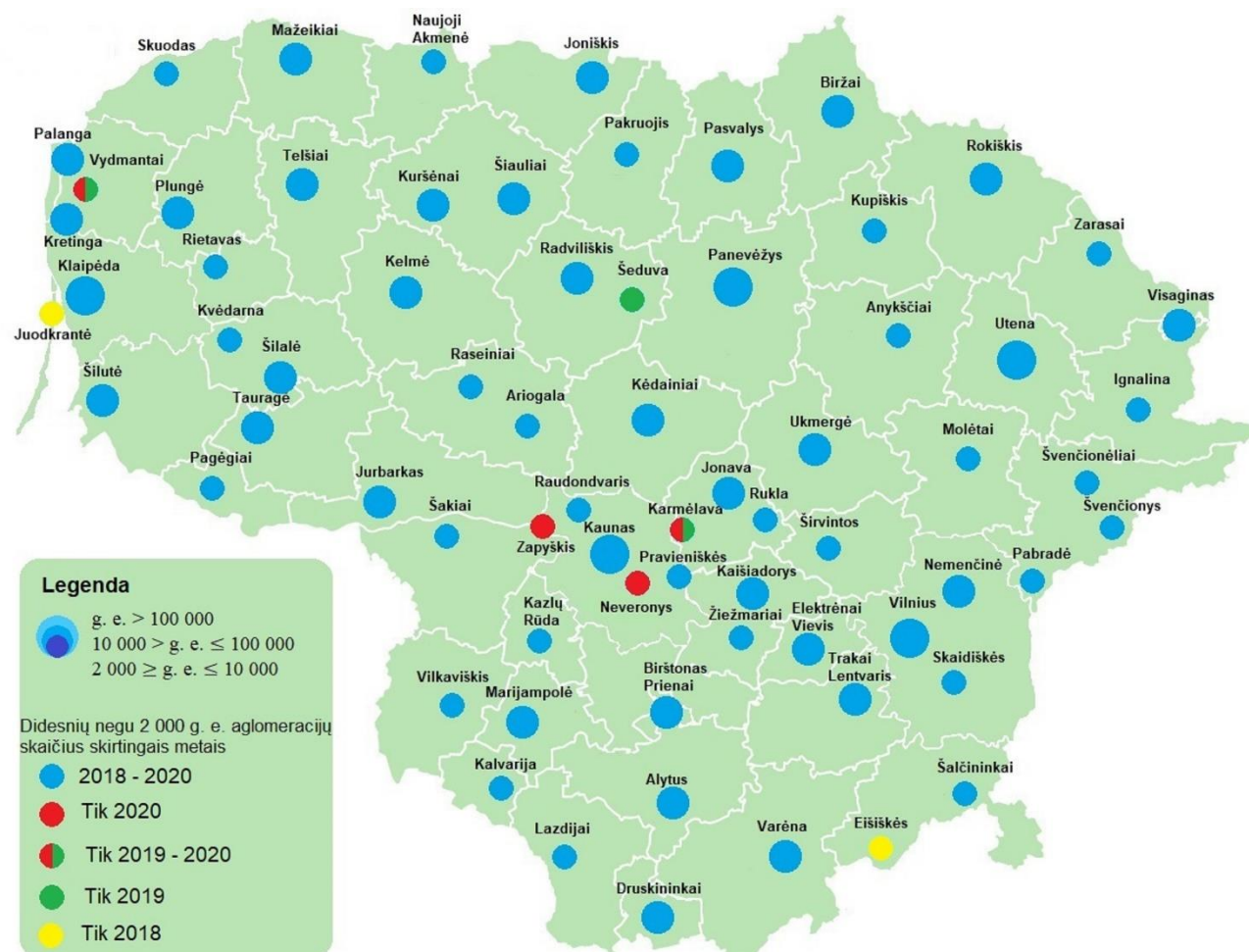
2020 m. Lietuva buvo suskirstyta į 67 aglomeracijas, kurioms yra taikoma Direktyva dėl nuotekų valymo (toliau – Direktyva), nes jų dydis viršijo 2 000 g. e. Per pastaruosius trejus metus šis skaičius kiek padidėjo nuo 63 aglomeracijų 2018 m. iki 67 – 2020 m., tačiau dar 2006 m. šalis buvo suskirstyta net į 95 aglomeracijas. Tokį pokytį galėjo lemti gyventojų mažėjimas, nuo 2006 m. iki 2020 m. šalies populiacija sumažėjo 15 % [57].

**7 lentelė.** Aglomeracijų skaičius ir išvalytų nuotekų kiekis analizuotais metais [58, 59]

Agglomeracijos tipas		2 000 ≥ g. e. ≤ 10 000	10 000 > g. e. ≤ 100 000	g. e. > 100 000	Iš viso
1		2	3	4	5
2018 metai	Agglomeracijų skaičius	32	28	4	63
	Išleistas komunalinių nuotekų kiekis, tūkst. m <sup>3</sup>	13 758,5	52 059,9	87 453,8	153 272,2
2019 metai	Agglomeracijų skaičius	34	25	5	64
	Išleistas komunalinių nuotekų kiekis, tūkst. m <sup>3</sup>	13 374,1	44 923,9	91 711,6	150 009,6
2020 metai	Agglomeracijų skaičius	32	30	5	67
	Išleistas komunalinių nuotekų kiekis, tūkst. m <sup>3</sup>	10 183,7	49 387,3	90 676,9	150 247,9

Lietuvoje visų aglomeracijų nuotekos išleidžiamos į paviršinius vandens telkinius tokius kaip: ežerai, upės, Kuršių marios. Išimtis taikoma Palangos aglomeracijai, kurios nuotekos išleidžiamos tiesiogiai į Baltijos jūrą [30]. Didžiųjų aglomeracijų – Vilniaus, Kauno, Klaipėdos, Panevėžio ir Utenos nuotekų valyklos atsakingos už daugiau negu 60 % visų išvalomų analizuotų aglomeracijų nuotekų. Vidutinio dydžio aglomeracijų valyklos išvalo 32 % nuotekų, o mažųjų atitinkamai 8 %.

13 paveikslėlyje pateiktas Lietuvos žemėlapis, kuriame nurodytos nuotekų valyklos, atsakingos už didesnių negu 2 000 g. e. aglomeracijų nuotekų tvarkymą. Šioms nuotekų valykloms yra taikomi Direktyvos reikalavimai nuotekų surinkimui ir tinkamam išvalymui.



**13 pav.** Lietuvos nuotekų valyklos, kurios aptarnauja aglomeracijas, didesnes negu 2 000 g. e. (2018-2020 m. laikotarpis)

Iš 13 paveikslėlyje pateikto žemėlapio matoma, kad didžiausi aglomeracijų pokyčiai vyko Kauno apskrityje. Kitos šalies vietos pakito nežymiai. 2019 m. atlikto valstybinio audito rezultatai parodė, kad šalyje tiksliai nenustačius aglomeracijų ribų, kurios kiekvienais metais keičiasi, beveik neįmanoma tinkamai nustatyti, kokia dalis nuotekų yra centralizuotai tvarkoma, atsiranda neatitikimai, netikslūs duomenys pateikiami ir Europos Komisijai [10]. Tai viena iš problemų su kuria susiduria šalies nuotekų tvarkymo sistema.

Remiantis atlikta gyventojų skaičiaus pokyčio prognoze, ateityje gyventojų skaičius mažės visuose šalies regionuose, išskyrus Vilniaus, Kauno ir Klaipėdos. Didžiųjų miestų nuotekų valyklos susidurs su didėjančia nuotekų apkrova, todėl modernizavimo procesai šiose šalies vietose yra tiesiog neišvengiami.

### 3.2. Žiedinės ekonomikos indikatorių taikymas Lietuvos nuotekų valykloms

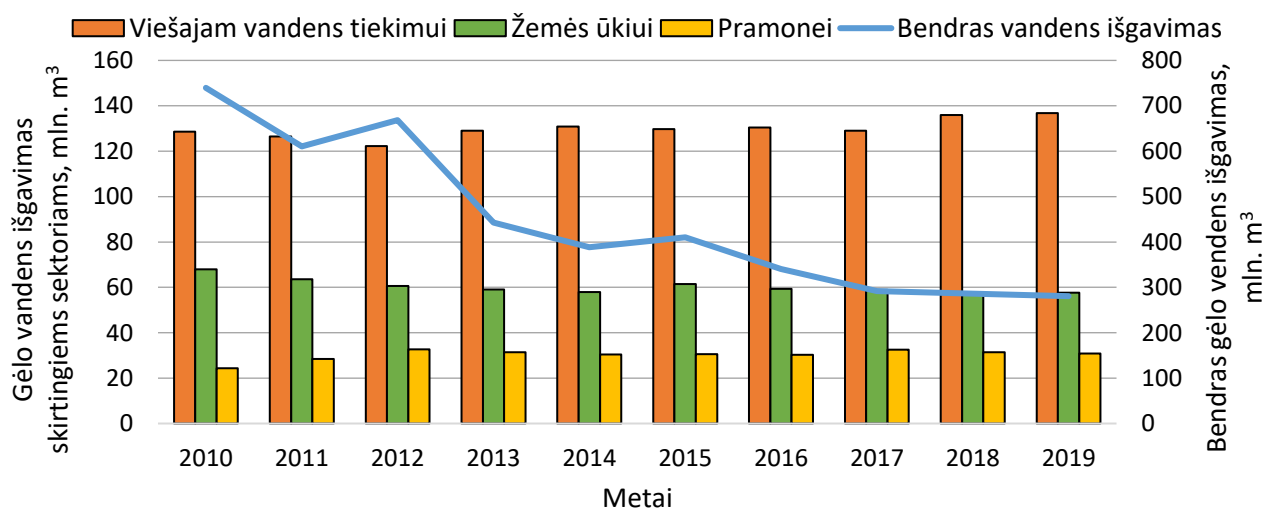
Tam, kad šalis galėtų pereiti prie ŽE, svarbu įvertinti esamą situaciją. Lietuvos miestų nuotekų valyklos, kurios aptarnauja didesnes negu 2 000 g. e. aglomeracijas, turi būti tvarkomos, remiantis Direktyva, kurioje nurodomos nuotekų išvalymo ribinės vertės, taikomi valymo būdai ir kt.

### 3.2.1. Sumažinimas ir prevencija

Nuotekų valyklų esminė paskirtis – surinkti ir išvalyti nuotekas iki reikiamų normų, nebėra vienintelis analizuojamas aspektas. Augantis susirūpinimas žmonių veiklos įtaka aplinkai, verčia įvertinti net ir iš pažiūros gamtos apsaugai sukurtus nuotekų valymo įrenginius. Nustatyta, kad nuotekų valymo procesų metu į aplinką išsiskiria šiltnamio efektą sukeliančios dujos (ŠESD) tokios kaip: anglies dioksidas (CO<sub>2</sub>), metanas (CH<sub>4</sub>), azoto oksidas (N<sub>2</sub>O) ir kiti teršalai. Netiesiogiai valyklos atsakingos ir už teršalus, kurie atsiranda gaminant procesams reikalingą energiją [61]. Kaip ir kiekviena įmonė, nuotekų valyklos taip pat turi optimizuoti vykdomus procesus, kad jie reikalautų kuo mažiau energijos, tačiau ne viskas priklauso nuo pačios valyklos. Mažesnis nuotekų susidarymas sumažintų ir valyklų daromą poveikį aplinkai, tam žmonės ir įmonės turi būti informuojamos ir skatinamos kuo efektyviau naudoti vandenį. Nuo 2018 m. iki 2020 m. šalyje stebimas poros procentų nuotekų susidarymo sumažėjimas, tačiau toks iš pažiūros paprastas ir aiškus vertinimas visai nieko nepasako apie šalies vykdomus procesus. Vandens sumažėjimą galėjo nulemti pandemija arba didelių įmonių bankrotai. Tam, kad visapusiškai įvertinti kaip šalyje yra naudojamas vanduo, buvo pasirinkti vandens sunaudojimo produktyvumo ir prisijungusių prie centralizuotų nuotekų tinklų indikatoriai. Pastarasis tiesiogiai nesusijęs su nuotekų susidarymo prevencija, tačiau tam, kad tinkamai įvertinti kiek šalyje susidaro nuotekų, svarbu žinoti, kiek jų yra centralizuotai surenkama.

#### 3.2.1.1. Vandens sunaudojimo produktyvumo indikatorius

Vandens išgavimas yra neatsiejamas nuo nuotekų tvarkymo sektoriaus, nes visas žmonių reikmėms naudojamas vanduo galiausiai turi būti valomas, kad nepakenktų sveikatai ir gyvajai gamtai. Lietuvoje iki 90 % viso naudojamo vandens pareikalauja energijos sektorius, tačiau tai paviršinis vanduo. Didžiąsą dalį išgauto požeminio vandens sunaudoja namų ūkiai su viešuoju sektoriumi, likusią dalį pramonė ir žemės ūkis (žr. 14 pav.).



14 pav. Metinis bendras vandens išgavimas ir skirtingiems sektoriams, 2010-2019 m. [62]

Lietuvoje, kaip ir kitose šalyse, kurios į ES įstojo 2004 m. ar vėlesniais metais (pvz.: Lietuva, Lenkija ar kt.), stebimas įdomus fenomenas – vandens išgavimas yra smarkiai mažėjantis. Tam įtakos turėjo įvairūs veiksniai, tokie kaip: [21]

- sumažėję vandens nuostoliai, dėl geresnės vandens tinklų priežiūros;

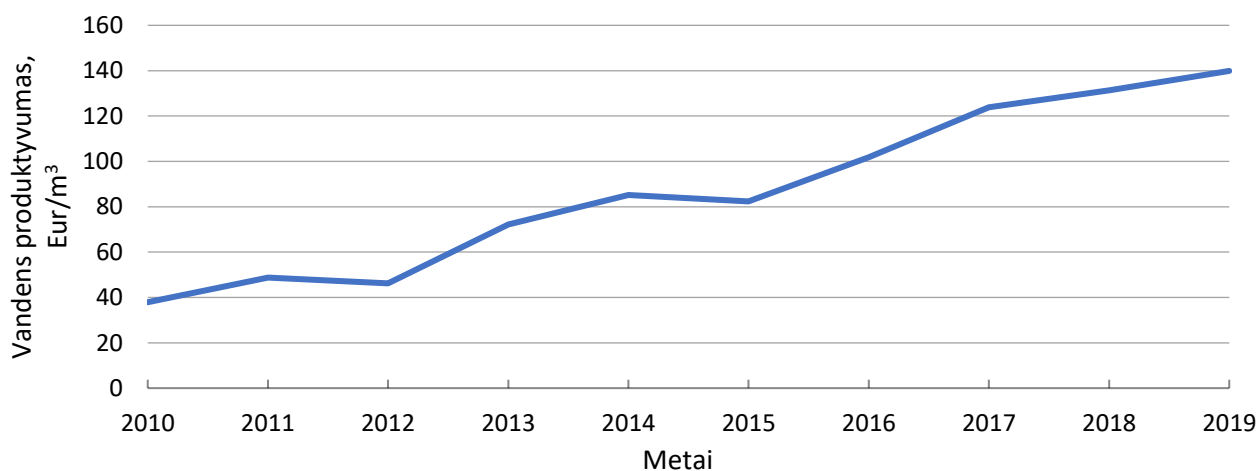


- vandenį taupančios technikos naudojimas;
- visuomenės informavimas apie išteklių eikvojimo pasekmes aplinkai.

Tačiau vertinant vandens išgavimą skirtingiems veiklų sektoriams, pastebimas didėjimas. Tai gali lemti pramonės ir gyventojų poreikių augimas, taip pat ir karštesnės vasaros, kurios reikalauja didesnio vandens kiekio vejos, daržų ir kitų žaliųjų plotų laistymui.

Vandens sunaudojimo produktyvumas gali būti puikus indikatorius siekiant įvertinti, kaip šalis panaudoja vieną iš svarbiausių resursų – vandenį. Indikatorius parodo, kiek produkcijos pagaminama iš išgauto gėlo vandens, matavimo vienetai – eurai už  $m^3$  vandens. Išgauto gėlo vandens sąvoka apima vandenį, visam laikui arba laikinai pašalintą iš bet kurio gėlo vandens šaltinio. Įtraukiamas kasyklų, drenažinis ir kritulių vanduo. Neįtraukiamas vanduo naudojamas hidroenergijai gaminti. Produktyvumui skaičiuoti naudojama BVP EUR, kuris susietas su 2010 m. valiutos kursu. Vandens produktyvumą stipriai įtakoja šalies pramonė, t. y. mažos vandens produktyvumo reikšmė parodo, kad šalyje vyrauja pramonė, intensyviai naudojanti vandenį. Gautus duomenis nesunku palyginti su kaimyninėmis šalimis. Kaimyninių šalių 2019 m. vandens produktyvumo indeksas buvo [63]:

- Lietuvoje – 139,9 EUR/ $m^3$ ;
- Latvijoje – 134,3 EUR/ $m^3$ ;
- Lenkijoje – 51,2 EUR/ $m^3$ ;
- Estijoje – 20,5 EUR/ $m^3$ .

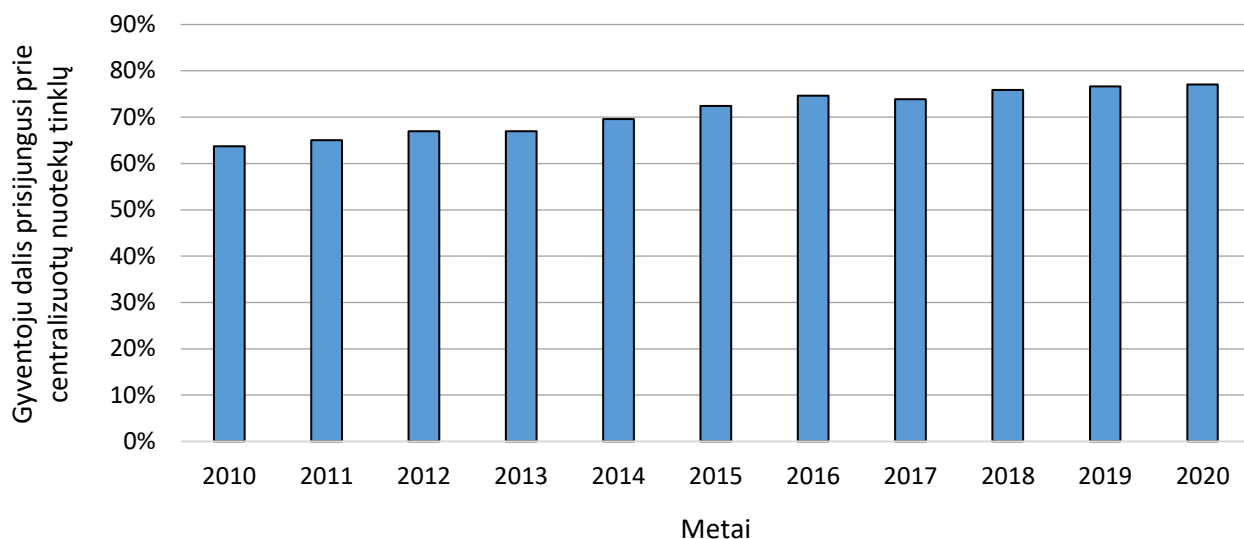


**15 pav.** Lietuvos ekonominis vandens produktyvumas skirtingais analizuotais metais, Eur/ $m^3$  [63]

15 paveikslėlyje pateiktas Lietuvos vandens produktyvumo pokytis skirtingais analizuojamais metais. Matoma, kad nuo 2010 m. iki 2019 m. produktyvus vandens resursų panaudojimas padidėjo daugiau negu 3,5 karto. Tokį pokytį galėjo lemti, kad pramonė įsidiegė vandens resursus tausojančias technologijas, taip pat augantys paslaugų ir IT sektoriai, kurie sunaudoja mažus kiekius vandens. Nors kaimynines šalis lyginti yra sudėtinga neatsižvelgus į skirtingą pramonę, tačiau vertinant tik Lietuvos pokytį per devynerius metus galima teigti, kad šalis savo svarbiausią resursą – vandenį, naudoja efektyviai, nes ekonominė nauda yra didelė ir auganti.

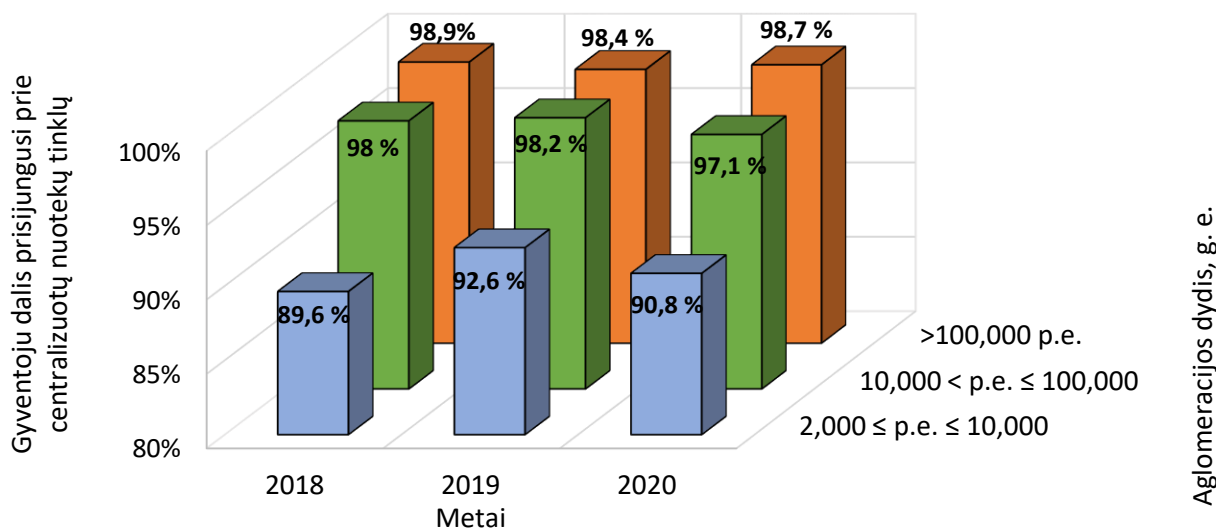
### 3.2.1.2. Prisijungimo prie centralizuotos nuotekų tvarkymo sistemos indikatorius

Vienas iš paprasčiausių indikatorių, skirtų nuotekų valymo sektoriaus analizei, yra gyventojų prisijungimas prie centralizuotų nuotekų tinklų. Lietuva per 16 metų nuo įstojimo į ES, pasiekė puikių rezultatų. Pastovus prisijungusiųjų augimas rodo šalies sisteminių nuotekų tinklų plėtrą. Šis rezultatas pareikalavo ir didelių investicijų, nuo 2004 m. iki 2018 m. geriamojo vandens ir nuotekų tvarkymo infrastruktūrai skirta apie 1,4 mlrd. Eur. [60].



**16 pav.** Lietuvos gyventojų, prisijungusių prie centralizuotų nuotekų tinklų, procentinis pokytis per 2010-2020 m. [64]

Analizuojant skirtingų dydžių aglomeracijų nuotekų valyklas matoma, kad prie didžiausias aglomeracijas aptarnaujančių nuotekų valyklų prisijungusių gyventojų skaičius yra didžiausias ir arčiausiai pasiekęs 100 % (17 pav.). Tankiai apgyvendintų vietovių gyventojus prijungti prie nuotekų tinklų yra paprasčiau, vieną iš priežasčių galima įvardinti jau esamą infrastruktūrą, kitą – didžiuosiuose šalies miestuose gyvenantys piliečiai uždirba daugiau, negu provincijose. Remiantis statistikos duomenimis [65], Vilniaus, Kauno ir Klaipėdos apskričių gyventojų atlyginimai yra didesni, lyginant su kitomis šalies apskritimis. Toks skirtumas gali turėti įtakos nuosavų namų savininkų gausesniai prisijungimui prie nuotekų tinklų, nes finansiškai jiems lengviau tai padaryti.

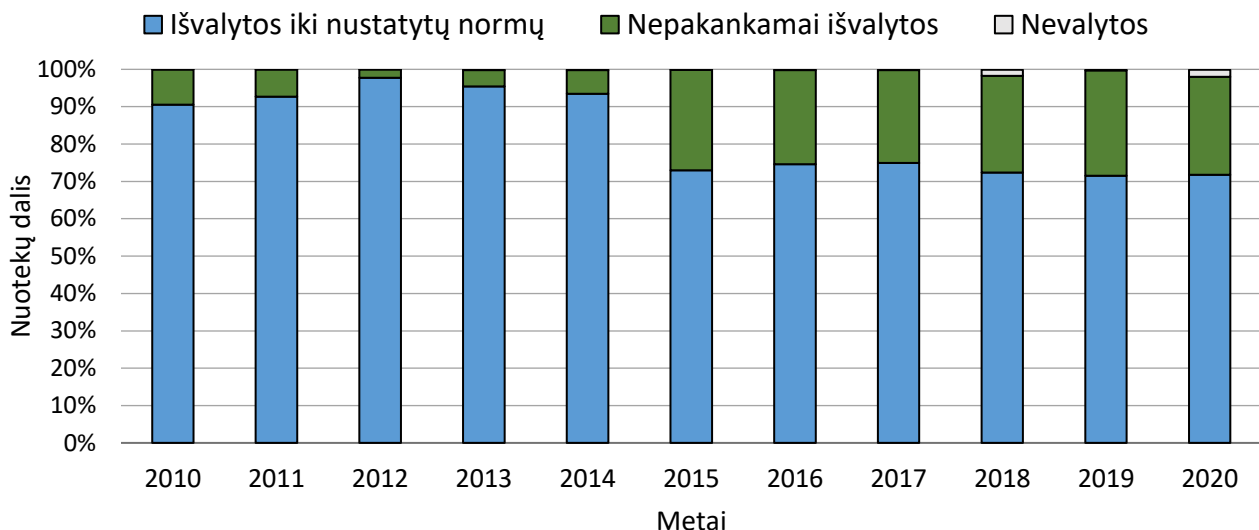


**17 pav.** Gyventojų dalis, prisijungusi prie centralizuotų nuotekų tinklų skirtingose aglomeracijose 2018-2020 m. laikotarpyje

17 paveikslėlyje stebima prisijungusiųjų procentinė kaita aglomeracijose gali būti paaiškinta taip, kad ne visų aglomeracijų valyklos yra pateikusios duomenis ir, kad per analizuotus trejus metus keitėsi aglomeracijų ribos. Apie 40 000 tūkst. šalies gyventojų vis dar nėra prisijungę prie centralizuotų nuotekų tinklų didesnėse negu 2 000 g. e. aglomeracijose. Jų gyventojai savo nuotekas valo individualių nuotekų valymo sistemų pagalba, tačiau šių sistemų problema ta, kad yra sunku tinkamai įvertinti ar nuotekos išvalomos iki reikiamų normų. Aplinkos apsaugos departamentas atlieka ūkio subjektų, individualiai tvarkančių savo nuotekas, patikrinimus. Iš visų 2014-2019 m. atliktų patikrinimų metu, net 35% rasti pažeidimai. Daugiau nei pusė visų pažeidimų yra dėl nepakankamai išvalytų nuotekų, trečdalis pažeidimų buvo dėl visai nevalytų nuotekų [60]. Toks didelis pažeidimų skaičius įrodo būtinybę siekti tik dar didesnio prisijungusiųjų prie centralizuotų nuotekų tinklų skaičiaus.

### 3.2.2. Apdorojimas ir šalinimas

Vadovaujantis Direktyva, šalys narės įsipareigoja ne tik surinkti nuotekas iš didesnių negu 2 000 g. e. aglomeracijų, bet ir jas prieš išleidžiant į vandens telkinius išvalyti iki nustatytų normų. Atsižvelgiant į tai, kad Lietuvos teritorija priskiriama jautriai zonai, šaliai papildomai taikomos 5 straipsnio 2–3 dalys, kuriose rašoma, kad nuotekos iš didesnių nei 10 000 g. e. turi būti valomos pagal griežtesnius reikalavimus ir 5 straipsnio 8 dalis, kuri nurodo, kad griežtesni valymo reikalavimai taikomi visos šalies mastu [66]. Vertinant Lietuvos buitinių, gamybinių ir komunalinių nuotekų išvalymo kokybę pagal nustatytus reikalavimus, iki 2012 m. stebimas kokybės didėjimas, kuris pasiekė 97,2 %, tačiau nuo 2015 m. smarkiai sumažėjo tinkamai išvalytų nuotekų kiekis. Toks pasikeitimas grindžiamas Vilniaus mieste didėjančiu gyventojų skaičiaus augimu. Vilniaus miesto nuotekų valyklos nebepajėgia iki reikiamų normų išvalyti bendrąjį azotą [30]. 18 paveikslėlyje pateikta buitinių, gamybinių ir komunalinių nuotekų išvalymo kokybės kaita 2010–2020 metais.

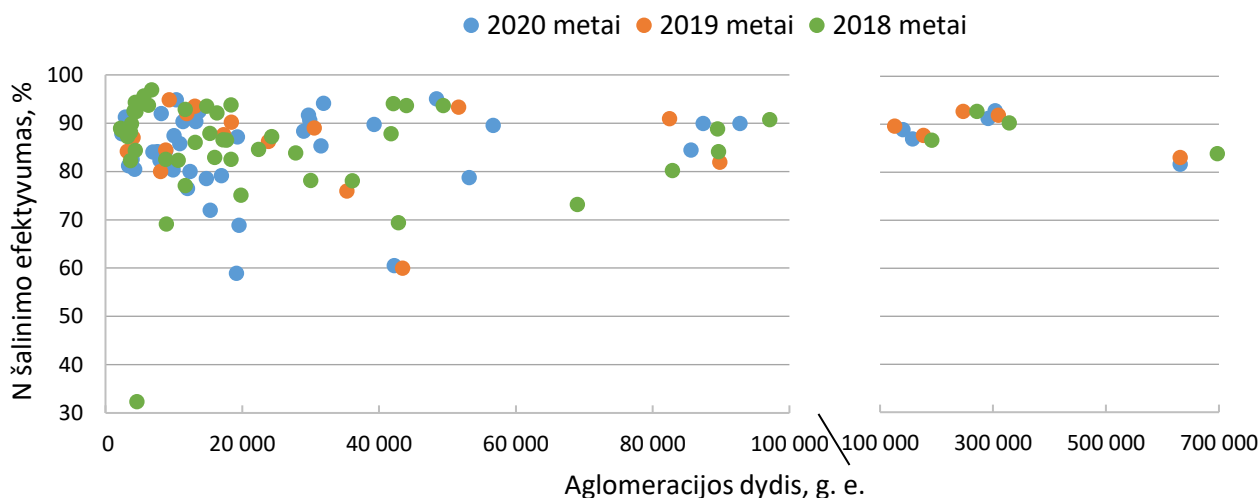


**18 pav.** Buitinių, gamybinių ir komunalinių nuotekų, išleidžiamų į paviršinius vandenis, išvalymo efektyvumo pokytis 2010–2020 m. [58]

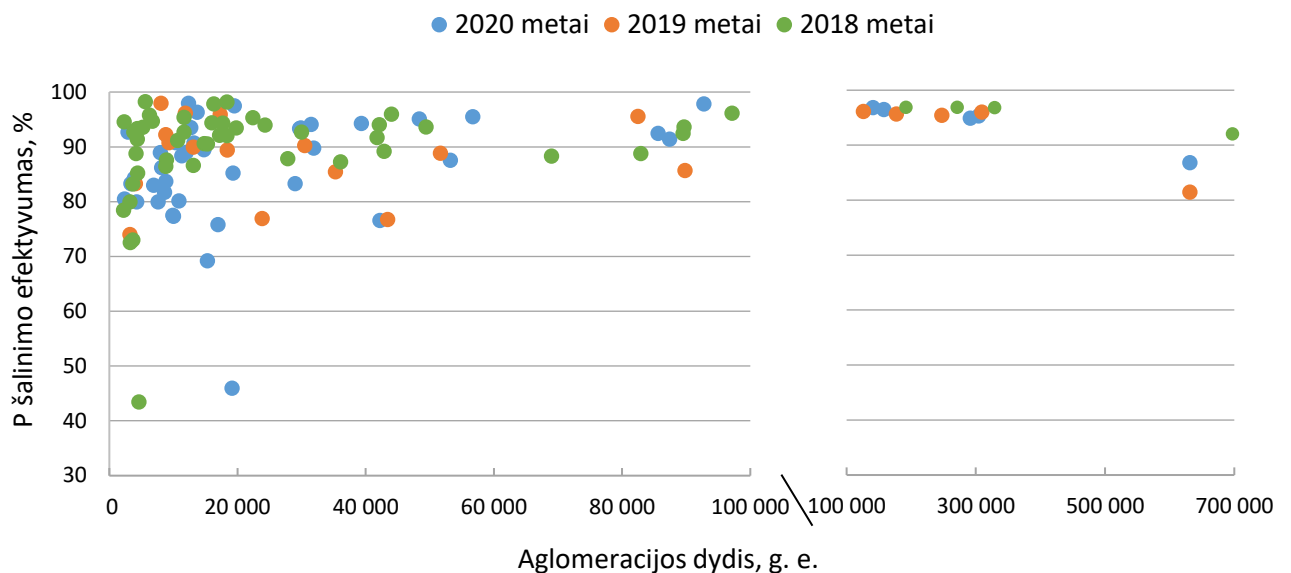
Remiantis Europos Aplinkos Apsaugos Agentūros pateiktu 2020 m. Baltijos jūros statusu, net 99,4 % viso jūros ploto priskiriama probleminei sričiai dėl eutrofikacijos [67]. Dėl šios priežasties Lietuva, kaip ir kitos kaimyninės šalys, privalo imtis visų įmanomų priemonių, kad suvaldyti į Baltijos jūrą patenkančių teršalų kiekius. Tinkamas nuotekų valymas yra būtinas, norint gyventi šalia žmonėms ir gyvajai gamtai saugios jūros, todėl buvo pasirinkti indikatoriai, nurodantys, kaip efektyviai valyklos išvalo nuotekas ir kokius kiekius teršalų atsakingų už eutrofikaciją išleidžia į paviršinius vandenis. Siekiant įvertinti susidarančio nuotekų dumblo kokybę, buvo pasirinktas teršalų kiekio atgautame nuotekų dumble indikatorius.

### 3.2.2.1. Maistinių medžiagų (N ir P) pašalinimo efektyvumas

Azoto ir fosforo pašalinimo efektyvumo indikatorius parodo, kiek procentų į valyklas atitenkančių nuotekų prieš išleidžiant į paviršinius vandenis buvo išvalyta. Tai svarbus nuotekų valyklų darbą ir pajėgumus vertinantis indikatorius. 19 ir 20 paveikslėliuose pateikiami miestų nuotekų valyklų duomenys apie bendro azoto ir fosforo šalinimo efektyvumą.



**19 pav.** Skirtingų dydžių aglomeracijų valyklų bendro azoto šalinimo efektyvumo indikatorius, 2018–2020 m.



**20 pav.** Skirtingų dydžių aglomeracijų valyklų bendro fosforo šalinimo efektyvumo indikatorius, 2018-2020 m.

Iš viso per metus į nuotekų valyklas patenka daugiau negu 10 tūkst. tonų bendrojo azoto ir 1,5 tūkst. tonų bendrojo fosforo. Po valymo į paviršinius vandenius išleidžiama kiek mažiau negu 1.5 tūkst. tonų azoto ir 91 tona fosforo. Bendras Lietuvos nuotekų valyklų šalinimo efektyvumas yra 87 % azotui ir 93 % fosforui, tačiau stebint 19 ir 20 paveikslėliuose esančius duomenis, matoma, kad skirtingų valyklų nuotekų išvalymo galimybės smarkiai skiriasi. Pagal Lietuvos nuotekų tvarkymo reglamente pateiktas į gamtinę aplinką išleidžiamų nuotekų normas (žr. 2 lentelė), valyklos turi užtikrinti 80 % išvalymo efektyvumą bendrajam azotui ir fosforui, tačiau net 25 % visų valyklų azotui ir 19 % fosforui 2020 m. nepasiekė būtinos minimalios ribos. Nustatytų išvalymo normų nepasiekusios valyklos atsakingos tik už kiek daugiau negu 7 % visų valomų nuotekų, tačiau įvertinus, kad Baltijos jūra yra smarkiai užteršta, bet koks nukrypimas nuo siekiamos išvalymo normos tik prailgina ekologinį jūros atstatymą.

Vertinant didžiausias šalies nuotekų valyklas, kurios atsakingos už daugiau negu 60 % visų išvalomų nuotekų kiekį

matoma, kad minimali 80 % išvalymo norma yra pasiekta 2018–2020 m. laikotarpiu. Tačiau sostinės nuotekų valykla, kuri atsakinga net už 25 % visų išvalomų šalies nuotekų, susiduria su sunkumais, lyginant su kitomis didžiosiomis šalies nuotekų valyklomis. Lyginant su kaimyninių šalių sostinių nuotekų valyklomis, pastebimi tam tikri skirtumai ir panašumai. Bendrojo azoto šalinimo efektyvumas 2018 m. [69]:

- Lietuva, Vilnius (688 157 g. e.) – 83,5 %;
- Latvija, Ryga (703 797 g. e.) – 88,9 %;
- Lenkija, Varšuva (1 988 686 g. e.) – 89 %;
- Danija, Kopenhaga (847 428 g. e.) – 90 %.

Bendrojo fosforo šalinimo efektyvumas Baltijos jūros kaimyninėse šalyse 2018 m. [69]:

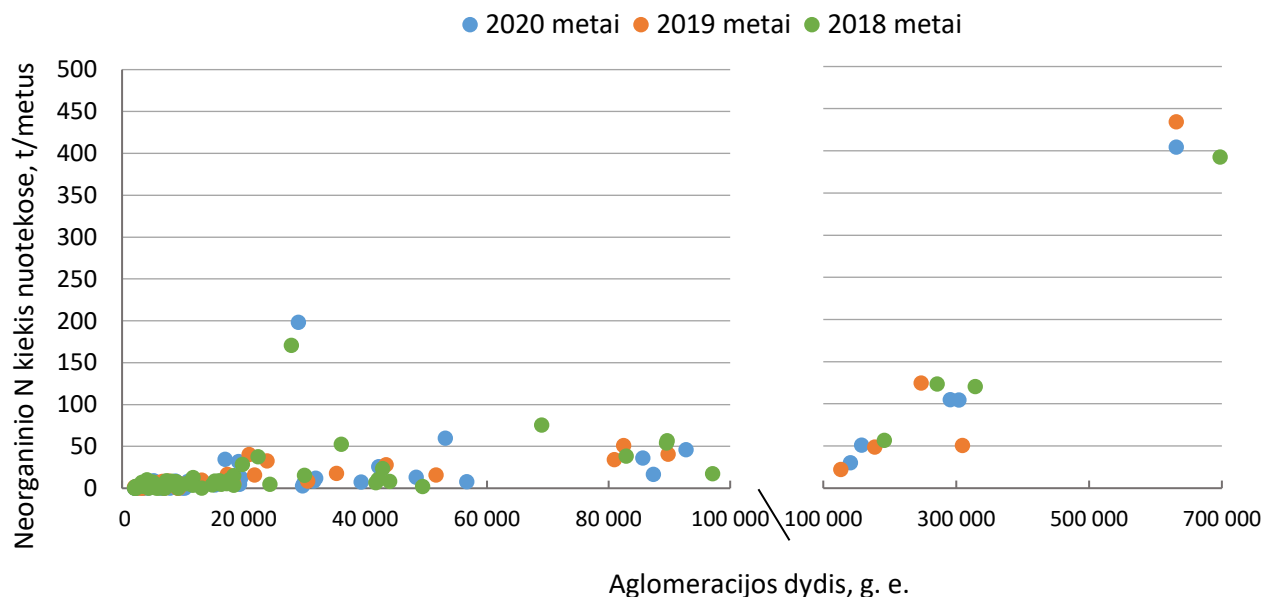
- Lietuva, Vilnius (688 157 g. e.) – 91,2 %;
- Latvija, Ryga (703 797 g. e.) – 92,5 %;
- Lenkija, Varšuva (1 988 686 g. e.) – 94,8 %;
- Danija, Kopenhaga (847 428 g. e.) – 92,4 %.

Iš duomenų matoma, kad Lietuvos didžiausia nuotekų valykla, lyginant su kaimyninėmis šalimis, bendrąjį azotą išvalo kur kas prasčiau, nors ir nuotekų kiekis patenkantis į valyklą yra mažiausias. Vilniaus nuotekų valykla susiduria su sunkumais, dėl staigaus gyventojų pagausėjimo ir pramonės augimo, todėl tinkamai nespėjo sureaguoti ir atnaujinti savo technologinių procesų. Efektyviai veikiančios didžiosios nuotekų valyklos turi būti laikomos šalies prioritetų sąrašuose, kadangi jos atsakingos už didžiausią išvalomų nuotekų kiekį, kurios po valymo išleidžiamos į paviršinius vandenį ir galiausiai atsiduria Baltijos jūroje, vienoje iš labiausiai užterštų jūrų pasaulyje [70].

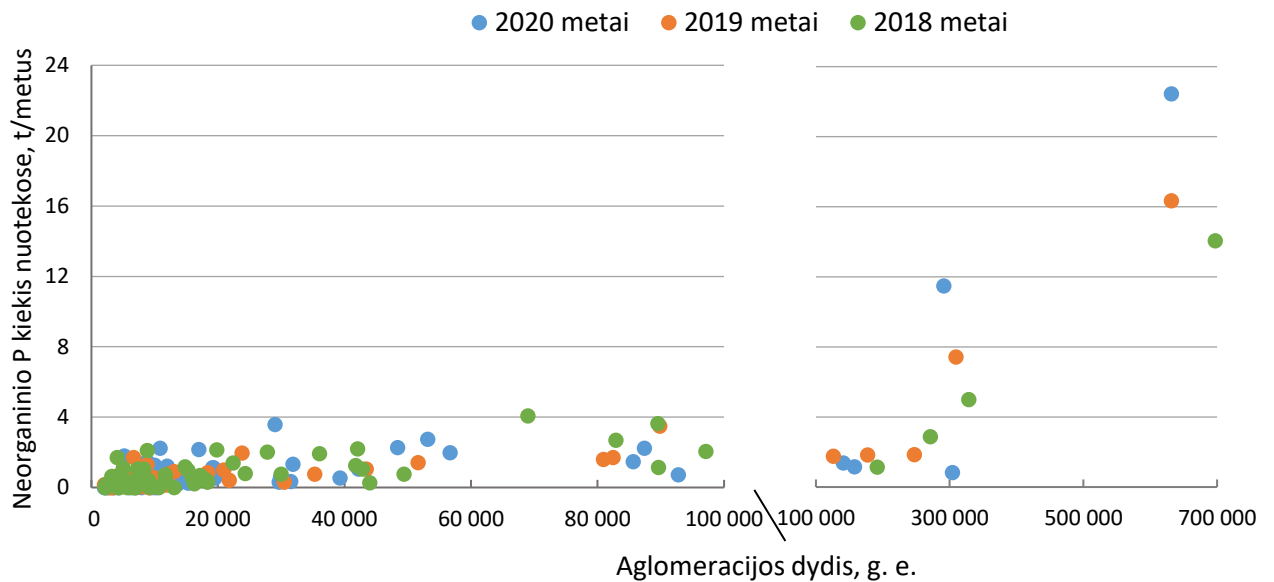
### 3.2.2.2. Neorganinių medžiagų kiekis nuotekose

Neorganinis azotas ir fosforas nuotekose yra vieni svarbiausių ir didžiausių žalą vandens biologinei įvairovei galintys padaryti junginiai. Azotas kartu su fosforu yra pagrindinės maistinės medžiagos nuotekose, dėl kurių paviršiniuose vandenyse smarkiai išveši dumbliai ar kita augmenija, taip sutrikdoma normali organizmų pusiausvyra vandens telkiniuose, prasideda eutrofikacija. Eutrofikaciją galima laikyti kaip vieną iš didžiausių grėsmių Baltijos jūros ekosistemai. Šį procesą smarkiai įtakoja žmonių industrinė, o ypač žemės ūkio veikla, dėl trąšų naudojimo. Lietuva, kaip ir kitos Baltijos jūros kaimyninės šalys, priskiriama jautriai zonai, todėl remiantis Direktyva, didesnėse negu 10 000 g. e. aglomeracijose visos surenkamos nuotekos turi būti valomos taikant tretinį valymą t. y. taikomas biologinis valymas su papildomu azoto ir fosforo šalinimu [30].

Aplinkos apsaugos agentūra viešai teikia duomenis apie po valymo iš nuotekų valyklų išleidžiamus teršalus ir jų kiekius. Amonio azoto ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ), amonio ( $\text{NH}_4$ ), nitratų ( $\text{NO}_3$ ), nitratinio azoto ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ), nitritų ( $\text{NO}_2$ ), nitritinio azoto ( $\text{NO}_2\text{-N}$ ), fosfatų ( $\text{PO}_4$ ), fosfatinio fosforo ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ) kiekiai buvo perskaičiuoti į neorganinio azoto ir fosforo dalis. Remiantis 4 ir 5 formulėmis gauti rezultatai pateikti 21, 22 paveikslėliuose ir 8 lentelėje.



21 pav. Neorganinio azoto kiekis nuotekose, t/ metas, 2018–2020 m. laikotarpyje. Duomenys surinkti ir perskaičiuoti, remiantis [58]



**22 pav.** Neorganinio fosforo kiekis nuotekose, t/ metus, 2018–2020 m. laikotarpyje. Duomenys surinkti ir perskaičiuoti, remiantis [58]

Neorganinių medžiagų kiekis išleidžiamas iš nuotekų valyklų į paviršinius vandenis yra puikus indikatorius parodantis, koks kiekis eutrofikacijos procesą didinančių medžiagų patenka į paviršinius vandenis. Penkios didžiosios šalies nuotekų valyklos yra atsakingos už beveik pusę (46,4–49,6 %) išleidžiamo neorganinio azoto ir daugiau negu trečdalis (31,0–43,4 %) neorganinio fosforo, todėl siekiant kuo labiau sumažinti Baltijos jūrai keliamą eutrofikacijos žalą, ypatingai svarbu, kad didžiųjų nuotekų valyklų išvalymo efektyvumas būtų kuo didesnis. Vertinant 8 lentelėje pateiktus duomenis matoma, kad neorganinio azoto kiekis sumažėjo kiek daugiau negu 6 %, bet neorganinio fosforo – priešingai, jo padidėjo kiek daugiau negu 16 %. Kadangi bendras išleidžiamų nuotekų kiekis šalyje nuo 2018 m. iki 2020 m. sumažėjo tik 2 % (nuo 177 mln. m<sup>3</sup> iki 174 mln. m<sup>3</sup>), todėl tokį išleidžiamo fosforo kiekio padidėjimą galima paaiškinti pablogėjusiu sostinės nuotekų valyklos valymo efektyvumu, kuris 2018 m. buvo 92 %, o 2020 m. – 86,8 %. Palyginimui, azoto išvalymo efektyvumas sostinėje 2018 m. buvo 83,9 %, o 2020 m. 81,7 %. Ši neorganinio fosforo išleidžiamo į paviršinius vandenis didėjimo tendencija tik dar kartą įrodo, kad didžiosios nuotekų valyklos šalyje daro didžiausią įtaką nuotekų kokybės užtikrinime, o menkai išvalytos nuotekos smarkiai prisideda prie upių ir Baltijos jūros vandens užterštumo. Nors Vilniaus nuotekų valykla nuotekas išvalo iki teisiškai reglamentuotų normų, tačiau jeigu didžiausia šalies valykla pasiektų Lenkijos sostinės nuotekų išvalymo efektyvumą (azotui – 89 %, fosforui 94,8 %), Lietuvoje per metus į paviršinius vandenis būtų išleidžiama daugiau negu 2 % mažiau neorganinio azoto (29,5 t) ir fosforo (1,8 t). Skirtumas nėra labai didelis, bet atsižvelgiant, kad vertinama tik viena šalies nuotekų valykla, kuri pasižymi prastesniu nuotekų išvalymo efektyvumu, lyginant su kitomis šalies didžiosiomis valyklomis, toks efektyvumo didėjimas yra būtinas ir svarbus, siekiant mažinti eutrofikaciją skatinančių junginių patekimą į šalies ir tarptautinius vandenis.

**8 lentelė.** Neorganinių medžiagų kiekio nuotekose pasiskirstymas skirtingų dydžių aglomeracijose 2018-2020 m. laikotarpyje

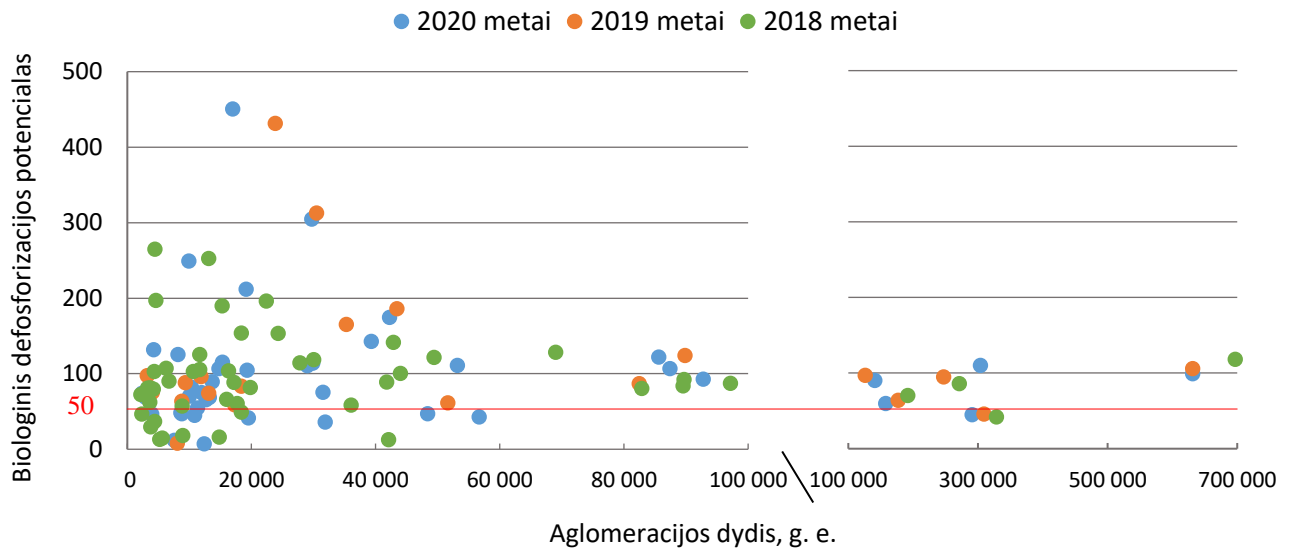
Iš nuotekų valyklų išleidžiamo neorganinio azoto ir fosforo kiekiai					
Metai	Neorganinių medžiagų kiekio nuotekose indikatorius, t	Aglomeracijų dydžiai			Bendras išleidimas
		$2\ 000 \leq \text{g. e.} \leq 10\ 000$	$10\ 000 < \text{g. e.} \leq 100\ 000$	$>100\ 000 \text{ g. e.}$	
1	2	3	4	5	6
2020	I <sub>EIC(N)</sub>	114	591	694	1399
2020	I <sub>EIC(P)</sub>	14	35	37	86
2019	I <sub>EIC(N)</sub>	248	489	680	1417
2019	I <sub>EIC(P)</sub>	21	28	29	78
2018	I <sub>EIC(N)</sub>	117	683	692	1492
2018	I <sub>EIC(P)</sub>	17	34	23	74

### 3.2.2.3. Biologinis defosforizacijos potencialas

Biologinis nuotekų valymas yra laikomas energiją taupančiu ir efektyviu maistinių medžiagų valymo būdu [71]. Lietuvoje 8 miestų nuotekų valyklos taiko tik biologinį valymą, o 55 taiko biologinį su papildomu azoto ir fosforo šalinimu. Taip užtikrinama, kad net 99 % šalies nuotekų yra išvalomos pagal Direktyvos reikalavimus (ES vidurkis – 76 %) [72]. Biologinis nuotekų valymo būdas efektyviau išvalo azotą, lyginant su fosforu, todėl norint pasiekti puikias fosforo išvalymo galimybes, reikalinga naudoti papildomas chemines medžiagas, kurios procesų eigoje patenka į nuotekų dumblą ir taip gali jį užteršti nepageidaujamais metalais ir kitais junginiais.

Biologinis defosforizacijos potencialo indikatorius yra svarbus tuo, kad gali padėti nustatyti ar biologinio valymo metu fosforo šalinimui reikės naudoti papildomas medžiagas geresniam valymo efektyvumui pasiekti. Indikatorius skaičiuojamas, remiantis (6) formule, t. y. apskaičiuojamas įtekančio į nuotekų valymo įrenginius cheminio deguonies poreikio ir bendrojo fosforo santykis (ChDS/BP). Lietuvos nuotekų valyklų biologinio defosforizacijos potencialo indikatorių reikšmės skirtingais analizuotais metais pateiktos 23 paveikslėlyje.





**23 pav.** Biologinio defosforizacijos potencialo indikatorių reikšmės, 2018-2020 m.

Papildomas cheminis valymas yra reikalingas, kai biologinio defosforizacijos potencialo reikšmė nesiekia 50 ribos [56]. Iš 23 paveikslėlio matoma, kad didžioji dauguma (80 %) reikšmių yra aukščiau 50 vertės, tai reiškia, kad teoriškai toms nuotekų valykloms siekiant tinkamai išvalyti fosforą papildomai naudoti cheminių medžiagų nereikia. Likusios nuotekų valyklos (daugiausiai mažosios) tam, kad tinkamai išvalytų fosforo junginius, turi naudoti papildomas chemines medžiagas, dažniausiai tai yra geležies druskos. Nors Lietuvoje nuotekų valyklos didesnės negu 10 000 g. e. yra pritaikytos nuotekas valyti naudojant tretinį valymo būdą, t. y. naudojant papildomas chemines medžiagas azoto ir fosforo išvalymui, tačiau remiantis pateiktais biologinio defosforizacijos potencialo skaičiavimais, fosforas nuotekose teoriškai turi būti išvalomas iki reikiamų normų taikant biologinių valymo būdą ir nenaudojant papildomų cheminių medžiagų.

#### 3.2.2.4. Teršalų kiekio atgautame nuotekų dumble indikatoriaus

Teršalų kiekis atgautame nuotekų dumble apskaičiuotas remiantis (7) formule. Skaičiavimai leido nuotekų dumble esančią taršą sunkiaisiais metalais perskaičiuoti į žalos vienetus [56, 73]. Kiekvieno metalo kiekis (mg/kg) analizuojamame produkte (pvz.: komposte ar digestate) dalijamas iš tam metalui nustatytos ribinės vertės. Gauti koeficientai sumuojami ir dalijami iš produkte esančio fosforo kiekio (g/kg).

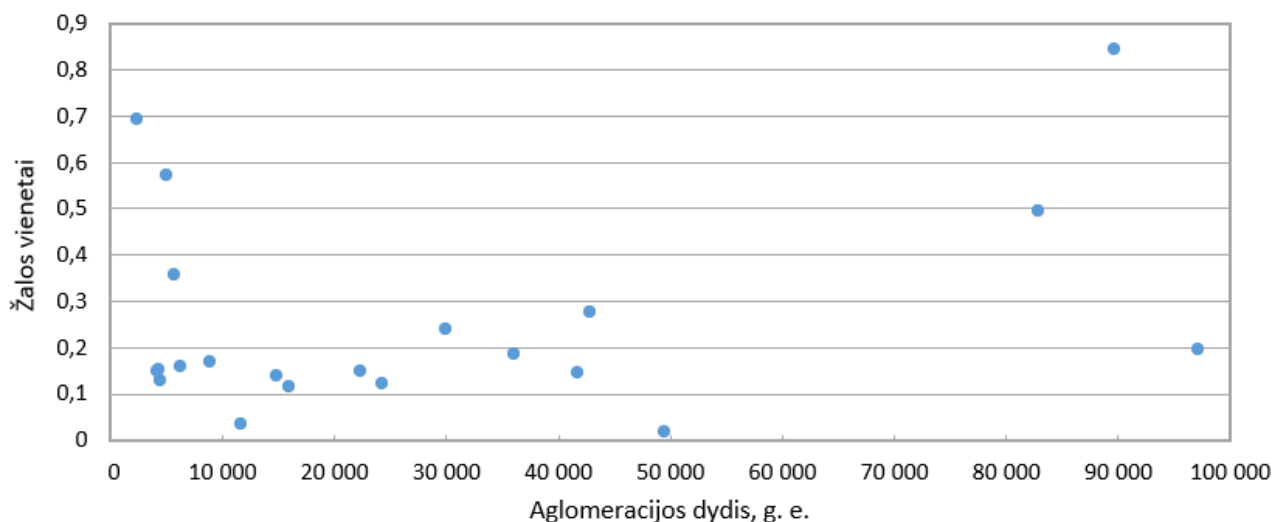
Remiantis Lietuvoje patvirtintais nuotekų dumblo tvarkymo ir panaudojimo reikalavimais [73], I kategorijos nuotekų dumblo reikšmės buvo pasirinktos kaip ribinės vertės (žr. 9 lentelę).

**9 lentelė.** Nuotekų dumblo kategorijos pagal sunkiųjų metalų koncentraciją (Sudaryta remiantis [73])

Metalų koncentracijos, mg/kg sausoje medžiagoje							
Dumblo kategorija	Cd	Cr	Hg	Ni	Pb	Cu	Zn
1	2	3	4	5	6	7	8
I kategorijos dumblas	<1,5	<140	<1	<50	<140	<300	<800
II kategorijos dumblas	1,5-5	140-170	1-1,5	50-70	140-150	300-400	800-2500

Žalos vienetai apskaičiuoti miesto nuotekų valyklose susidariusiam nuotekų dumbliui, kuris buvo naudojamas žemės ūkio reikmėms 2018 m. Duomenys pateikti iš trečdalis šalies nuotekų valyklų, didesnių negu 2 000 g. e. Nuotekų valyklos yra įpareigosos sekti sunkiųjų metalų koncentracijas žemės ūkio reikmėms perduodamo nuotekų dumblo. Rezultatai pateikti remiantis nuotekų valyklų pateiktomis sunkiųjų metalų ir fosforo koncentracijomis.

Atsižvelgiant į literatūroje pateiktas vertes, vidutinis žalos vienetas 1 g fosforo nevalytame nuotekų dumble yra apytiksliai 0,5 [56, 73]. Lietuvos nuotekų valyklų atveju medianos reikšmė yra 0,16, žymiai mažesnė negu nurodoma literatūroje (24 pav.). Ji net mažesnė už vidutinę komercinių superfosfato trąšų vertę, kuri yra 0,23 [56, 73]. Nepaisant to, žalos vienetai skirtingose nuotekų valyklose smarkiai skyrėsi, vertės svyruoja nuo 0,0175 iki 0,84. Rezultatus daugiausia lemia į valymo įrenginius patenkančių sunkiųjų metalų koncentracijos. Kai kuriais atvejais Zn, Cd ir kartais Hg metalų koncentracijos viršija ribines vertes taikomos II kategorijos dumbliui.



24 pav. Nuotekų dumblo žalos vienetai 2018 m.

Iš gautų rezultatų galima teigti, kad Lietuvos nuotekų valyklose susidarantis nuotekų dumblas yra sąlyginai saugus naudoti žemės ūkio darbams, tačiau šie rezultatai gali pasikeisti apylinkėse įsikūrus naujoms pramonės įmonėms. Taip pat svarbu papildomai įvertinti, kaip šiuos rezultatus galėtų įtakoti skirtingas metų laikas, kad išsiaiškinti, nuo ko priklauso Zn, Cd ir kartais Hg koncentracijų padidėjimai. Tolimesnė analizė leistų supaprastinti nuotekų dumblo panaudojimą, o ypačingai prisidėtų prie teigiamos nuomonės formavimo, kadangi visoje Europoje ūkininkai vis dar skeptiškai vertina šios žaliavos saugumą.

### 3.2.3. Pakartotinis panaudojimas ir perdirbimas

#### 3.2.3.1. Išvalytų nuotekų panaudojimas žemės drėkinimui

Žemės ūkio paskirties plotų drėkinimas – vienas iš būdų, kaip pakartotinai panaudoti išvalytas miesto nuotekas. Žemės ūkyje sunaudojama apie 70 % vandens, gaunamo iš gėlo vandens išteklių, tačiau, kai kuriose srityse šis vidurkis yra dar didesnis. Europos Komisija skatina integruotą vandens valdymo metodą, pagal kurį išvalytos nuotekos iš miesto nuotekų valymo įrenginių taptų alternatyviu vandens šaltiniu ir sumažintų vandens poreikį drėkinimui [75]. Tačiau toks žiediškas vandens panaudojimo siekis vis dar turi nemažai trūkumų tokių kaip [76]:

- pakartotinio vandens naudojimo išlaidos, infrastruktūros trūkumas;
- visuomenės nepasitikėjimas atgauto vandens saugumu;
- reguliavimo sistemos, kurios padėtų kontroliuoti su pakartotiniu vandens naudojimu susijusias rizikas sveikatai ir aplinkai, stoka ES lygmeniu.

Kai kuriose pietinėse Europos šalyse, pavyzdžiui, Kipre, Maltoje, Graikijoje, Italijoje ir Portugalijoje, žemės ūkio paskirties plotų drėkinimas išvalytu nuotekų vandeniu jau yra taikomas. Kipre net 95,4 % išvalytų nuotekų yra panaudojama žemės ūkyje, tai didžiausias procentas visoje ES [72].

Lietuva nenaudoja nuotekų vandens žemės drėkinimui, tačiau remiantis Europos Komisijos pateiktu raportu [78], šalies nuotekų valyklos turi potencialą suteikti iki 32 % viso reikiamo vandens kiekio žemės drėkinimo poreikiui užtikrinti. Tačiau Lietuvai, skirtingai negu pietinėms ES šalims, toks nuotekų vandens pakartotinis panaudojimas yra per brangus.

Egzistuoja praktikos, nuotekų valyklose išvalomą vandenį naudoti miestų gatvėms plauti. Toks nuotekų vandens panaudojimas nereikalautų efektyvaus nuotekų išvalymo ir prisidėtų prie gėlo vandens išsaugojimo, žiedinės ekonomikos didinimo šalyje [79]. Tačiau net ir toks nuotekų vandens panaudojimas reikalautų detalios analizės, kuri apimtų reikiamą finansavimo gavimą, atsiperkamumą, nuotekų valyklų galimybes ir, žinoma, žmonių ir aplinkos saugumo užtikrinimą.

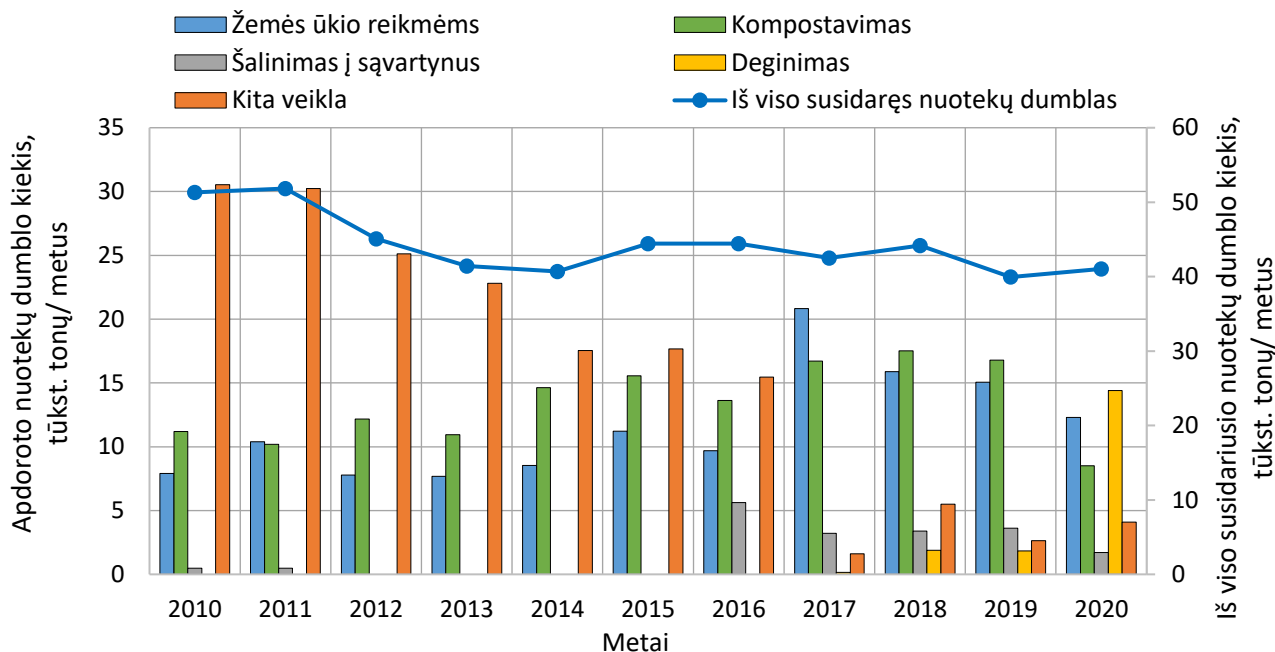
### **3.2.4. Atgavimas**

Nuotekos ir susidarantis nuotekų dumblas yra perspektyvūs resursai, iš kurių galima atgauti ekonomiškai naudingų žaliavų. Vienas iš populiariausių atgaunamų medžiagų yra laikomas struvitas, kaip puikus pakaitalas trąšoms, tačiau literatūroje galima rasti gausybę eksperimentinių medžiagų išgavimo būdų. Nuotekose esančios lakiosios riebalų rūgštys gali būti naudojamos bioplastiko ir biotekstilės gamyboje, dar viena biologiškai skaidoma ir netoksiška nuotekose esanti medžiaga – polihidrosialkanoatas puikiai tinka biopolimerų gamybai. Nuotekose patenkantys didžiuliai kiekiai tualetinio popieriaus gali būti išgauti kaip celiuliozės pluoštai [80]. Be maistinių medžiagų, nuotekos ir nuotekų dumblas gali būti naudojami energijos gamybai. Biodujų gamyba iš nuotekų dumblo Lietuvoje yra vykdoma ir kiekvienais metais gamybos pajėgumai vis auga, tačiau pačios nuotekos taip pat gali būti naudojamos šildymui. Egzistuoja komerciniai įrenginiai, kurie panaudoja nuotekose esančią šiluminę energiją pastatų šildymui [81]. Lietuvos požiūris į resursų atgavimą iš nuotekų vis dar yra sąlyginai konservatyvus, atgaunama energija biodujų pavidalu ir maistinės medžiagos tręšiant laukus nuotekų dumblo. Nuotekų dumblo apdorojimo, maistinių medžiagų atgavimo ir biodujų gamybos iš nuotekų dumblo indikatoriai pasirinkti, siekiant išanalizuoti dabartinį šalies resursų atgavimo potencialą.

#### **3.2.4.1. Nuotekų dumblo apdorojimo indikatorius**

Nuotekų dumblas, kuris susidaro nuotekų valymo procesų metu yra perspektyvi medžiaga žiedinės ekonomikos kontekste. Naujame Valstybinės atliekų prevencijos ir tvarkymo 2021-2027 metų plano projekte [41] nurodoma, kad nuotekas tvarkančios įmonės nuotekų dumblą turi apdoroti taip, kad jis būtų saugus ir pritaikytas kuo įvairesniam panaudojimui. Remiantis atliekų hierarchijos principais, nuotekų dumblas pirmiausiai turi būti naudojamas siekiant kuo daugiau išnaudoti jame esančių maistinių medžiagų potencialą, tada energetinį ir galiausiai, neturint kitos galimybės, naudoti nepavojingų atliekų sąvartynų darbams (LAND 20-2005). Nuotekų dumblas nėra stabili medžiaga

dėl joje esančių organinių, neorganinių medžiagų ir gyvų organizmų, todėl fiziniai, biologiniai ir cheminiai valymo būdai yra taikomi [82]. Tinkamos kokybės ir saugus nuotekų dumblas toliau puikiai gali būti panaudotas žemės tręšimui dėl jame esančio fosforo ir azoto arba išdžiovintas panaudotas kaip kuras deginimui. 25 paveikslėlyje pateikti duomenys apie Lietuvos nuotekų valymo valyklose susidarancio nuotekų dumblo kiekius ir panaudojimą 2010-2020 m. laikotarpyje.



**25 pav.** Lietuvos nuotekų valyklose susidariusio nuotekų dumblo kiekiai ir panaudojimas 2010-2020 m. laikotarpyje [38]

Lietuvoje 2019 m. susidarė 39,94 tūkst. tonų nuotekų dumblo, lyginant su kitomis kaimyninėmis šalimis, Vokietijoje šis skaičius siekė 1 749,86 tūkst. tonų, Lenkijoje – 574,64 tūkst. tonų, Norvegijoje – 141,35 tūkst. tonų, Estijoje – 24,94 tūkst. tonų, o Latvijoje – 24,18 tūkst. tonų. Tikslūs rezultatai gaunami susidariusį nuotekų dumblą perskaičiavus į kiekį, tenkantį vienam gyventojui. Pagal tai vienam lietuviui tenkantis nuotekų dumblo kiekis yra – 14,29 kg, vokiečiui – 21,07 kg, lenkui – 15,13 kg, norvegui – 26,53 kg, estui – 18,82 kg, latviui – 12,59 kg. Lyginant su kitomis šalimis, Lietuvoje vienam gyventojui tenka santykinai maža dalis nuotekų dumblo, dar mažesnė tenkanti dalis tik Latvijoje. Tačiau atsižvelgiant į tai, kad Lietuvoje, Lenkijoje ir Latvijoje prisijungusių prie centralizuotų nuotekų tinklų gyventojų dalis yra mažiausia (žr. 4 pav.), galima teigti, kad nuotekų dumblo kiekis tenkantis vienam gyventojui ateityje didės kur kas labiau negu kitų šalių atvejais.

Bendra nuotekų dumblo panaudojimo analizė puikiai tinkantis indikatorius, kuris parodo žiedinį šios žaliavos grąžinimą į ekonomiką ir atitikimą atliekų hierarchijos principams, taip pat suteikia galimybę turimus duomenis palyginti su kitomis šalimis. Vertinant Lietuvos duomenis nuo 2010 m. matoma, kad pradžioje didžioji dalis dumblo pateko *kita veikla* kategorijai. Daugiausiai tai buvo tiesiog dumblo laikymas aikštelėse, nes pagal galiojančius teisės aktus, dumblą šalinti sąvartynuose buvo draudžiama, tačiau trūko informacijos, teisinės sistemos ir galiausiai lėšų efektyvesniam žaliavos panaudojimui. Atliktos galimybių studijos dėl saugojimo aikštelėse sukaupto senojo dumblo sutvarkymo [39, 40] buvo pradžia efektyvaus medžiagos panaudojimo ir pritaikymo srityje. Remiantis galimybių studijomis, šalyje buvo įrengti dumblo pūdymo ir džiovinimo įrenginiai.

Puikūs rezultatai pastebimi nuo 2014 m., kai pradeda didėti dumblo panaudojimas žemės ūkyje ir kompostavime. Remiantis Eurostato duomenimis [38], Lietuvoje nuotekų dumblo deginimas pradėtas taikyti nuo 2017 m. (0,3 %). Nuotekų deginimas nėra labiausiai skatinama panaudojimo alternatyva, nes prarandamos maistinės medžiagos, tačiau dalis nuotekų dumblo Lietuvoje yra deginama AB „Akmenės cementas“ deginimo įrenginiuose, kuriuose susidarę pelenai toliau yra panaudojami cemento arba klinkerio gamybai [41]. Tai puikus žiedinės ekonomikos pavyzdys, kai procesai sudaryti taip, kad neliktų atliekų.

#### **3.2.4.2. Maistinių medžiagų atgavimo indikatorius**

Fosforo ištekliai Europoje yra labai riboti, beveik viskas importuojama iš išorės tiekėjų (88 % fosfatinio akmens ir 100 % fosforo) [21]. 2014 m. Europos Komisija sudarė svarbiausių ES žaliavų, turinčių didelę ekonominę reikšmę ir didelę su jų tiekimu susijusią riziką, sąrašą [83]. Fosfatinis akmuo įtrauktas į šį sąrašą, todėl fosforo išgavimas iš nuotekų dumblo yra ypač svarbus. ES ekonomika ir rinkos yra pažeidžiamos, besikeičianti geopolitinė situacija ar aplinkos apsaugos nelaimės tiekėjos šalyje gali sutrikdyti tiekimą. Egzistuoja technologijos, kurių įgyvendinimas leistų atgauti didelius kiekius fosforo su azotu, tinkamo komercinių trąšų gamyboje.

Labiausiai paplitęs produktas susidarantis iš nuotekų dumblo yra struvitas ( $\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), kuris gali būti naudojamas kaip trąša dėl savybės lėtai išleisti fosforą į žemę. Taikant egzistuojančius komercinius ekstrahavimo būdus, tokius kaip: AirPrex, OHOSPAQ ir Seaborne, įmanoma išgauti 70-95 % fosforo esančio nuotekų dumble struvito forma [84]. Pagrindinė visų trijų technologijų problema vis dar išlieka didelės eksploatacijos išlaidos ir energijos poreikis, tačiau tokios trąšos jau turi savo vietą rinkoje. Azotą išgauti iš nuotekų dumblo yra šiek tiek sudėtingiau. Daugelis ES šalių sudeginusios nuotekų dumblą, susidariusius pelenus panaudoja fosforo gavyboje, tačiau azoto pelenuose nebelyka. Siūlomas sprendimas – išgauti azotą prieš deginimo procesą. Šiluminio džiovavimo technologija buvo panaudota azotui išgauti iš nuotekų dumblo Suomijoje. Gauti rezultatai parodė, kad iki 19 % viso dumble esančio azoto galima išgaunama termiškai džiovinant, pritaikius šią dar eksperimentinę technologiją, Suomijoje būtų įmanoma išgauti 760-990 tonų azoto per metus [85], Lietuvoje šis skaičius galėtų siekti 300 tonų per metus.

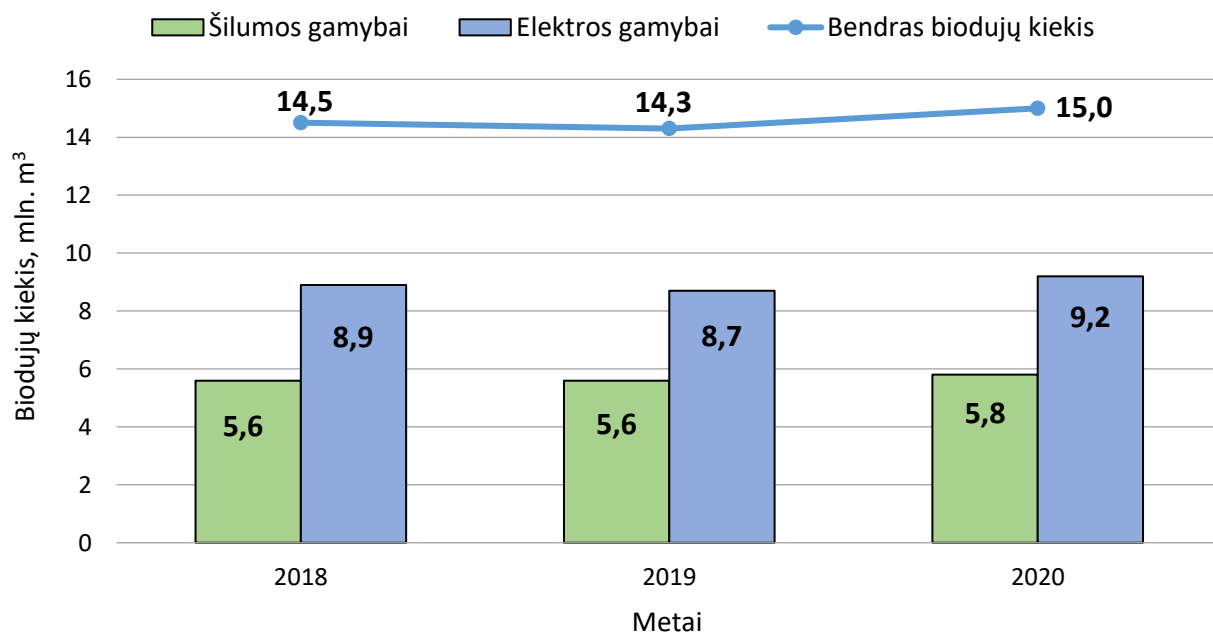
Nei vienoje Lietuvos nuotekų valykloje nėra įdiegtos technologijos, kurios padėtų iš nuotekų dumblo atgauti azotą ar fosforą, šalyje šie elementai patenka į laukus tiesiogiai, naudojant nuotekų dumblą žemės tręšimui ir kartu su kompostu. 2018 m. šalies nuotekų dumble esančio azoto koncentracijos svyravo nuo 1,6 % iki 8,2 %, vidurkis 5 %. Tokiu būdu žemės ūkyje naudojant dumblą per metus buvo atgaunama apie 794 tonų azoto. Analogiškos fosforo koncentracijos 2018 metais svyravo nuo 0,74 % iki 3,9 %, o vidurkis buvo 1,8 %. Maždaug 286 tonų fosforo per metus buvo atgaunama naudojant dumblą žemės ūkyje.

Penkios didžiosios Lietuvos nuotekų valyklos yra atsakingos ir už beveik pusę viso susidarančio nuotekų dumblo šalyje. Dėl šios priežasties, valyklose pritaikius egzistuojančias fosforo ir azoto atgavimo technologijas, būtų galima gaminti ekonomiškai vertingas medžiagas. Bendradarbiaujant su verslu ir gavus reikiamą finansavimą, valyklos smarkiai prisidėtų prie žiedinės ekonomikos įgyvendinimo šalyje.

### 3.2.4.3. Biodujų gamybos iš nuotekų dumblo indikatorius

Miesto vandens sistemos, o ypač valymo įrenginiai, yra daugiausiai energijos sunaudojančios sistemos savivaldybėse visame pasaulyje. Skaičiavimai rodo, kad vidutiniškai šie įrenginiai sunaudoja apie 1-3 % visos šalies energijos, o tai sudaro didelę savivaldybių išlaidų dalį [72]. Miesto nuotekų valyklose susidarantis nuotekų dumblas gali būti panaudotas biodujų gamyboje, taip sumažinant valyklų energijos poreikį.

Biodujos susidaro anaerobiškai skaidant organinius junginius. Išsiskiria trys pagrindiniai komponentai: metanas ( $\text{CH}_4$ ), anglies dioksidas ( $\text{CO}_2$ ) ir azoto ( $\text{N}_2$ ), šiek tiek vandenilio sulfidas ( $\text{H}_2\text{S}$ ), vandenilis ( $\text{H}_2$ ), amoniakas ( $\text{NH}_3$ ), deguonis ( $\text{O}_2$ ) ir anglies monoksidas ( $\text{CO}$ ) [86]. Biodujų vienas iš didžiausių privalumų yra tas, kad jas galima gaminti iš komunalinių atliekų ar kitų organinių medžiagų, ne išimtis ir nuotekų dumblas. Tai puikus atsinaujinantis kuras, kurio paklausa kiekvienais metais tik didėja. Manoma, kad biodujų naudojimas ateityje padidės du kartus nuo 14,5 GW 2012 m. iki 29,5 GW 2022 m. [87]. Atsinaujinančio kuro paklausa didėja, nes deginant iškastinį kurą į aplinką išsiskiria didžiuliai kiekiai šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD), taip pat iškastinio kuro kiekiai yra riboti ir senkantys. Biodujos gali būti gaminamos tiek mažose (2 kW), tiek ir didelėse (20 MW) jėgainėse, o panaudojimo potencialas yra platus, jas galima naudoti elektros, šilumos, transporto priemonių kuro gamyboje, galimas tiekimas į gamtinių dujų tinklus [88]. Lietuvoje pirmoji miesto nuotekų dumblą perdirbanti biodujų jėgainė savo darbą pradėjo 1999 m. Utenoje, pajėgumas siekė 600 tūkst.  $\text{m}^3$  per metus [89]. 2020 m. jėgainių skaičius padidėjo iki 13, o bendras pagaminamas biodujų kiekis – 15 mln.  $\text{m}^3$  per metus, kuris apie 60 % panaudojamos elektros gamybai, o apie 40 % šilumos gamybai (26 pav.).



26 pav. Iš nuotekų dumblo pagamintas biodujų kiekis ir panaudojimas 2018-2020 m. [90, 91]

Lietuvoje 2020 m. iš visų atsinaujinančių energijos šaltinių, biodujos sudarė 2 % bendro sunaudojimo, išgautos buvo iš sąvartynų, nuotekų dumblo ir žemės ūkio atliekų. Biodujos, pagamintos tik iš nuotekų dumblo, sudarė iki 1 % viso šalies atsinaujinančių energijos šaltinių sunaudojimo. Kol kas tai dar labai mažas, šalies energetikos sektoriui didelės įtakos nedarantis procentas. Pastaraisiais metais pradėjusios populiarėti biometano gamybos technologijos, galėtų

būti plėtojamos ir Lietuvoje, kadangi biometanas, skirtingai negu biodujos, sudarytas iš daugiau negu 90 % metano ir neturi nereikalingų priemaišų, todėl gali būti sėkmingai transportuojamos gamtinių dujų tinklais. Biometano gamybos technologijas labiausiai plėtojamos Švedijoje, tačiau Liuksemburgas, Nyderlandai, Vokietija ir Jungtinė Karalystė taip pat dalį savo biodujų jėginių yra atnaujinusios tam, kad gaminti šį didesnę energetinę ir ekonominę naudą turintį atsinaujinantį energijos šaltinį [92].

### **3.2.5. Permašymas ir Lietuvos nuotekų valyklų potencialas**

Lietuvos nuotekų valyklos, kaip ir visos ES, buvo statomos pagal linijinės ekonomikos koncepciją. Pagrindinis tikslas – iki reikiamų normų išvalyti nuotekas ir jas išleisti į gamtą. ŽE tampa pagrindiniu ES požiūriu į vykdomus žmogaus veiklos procesus, todėl ir nuotekų valyklos turi atitikti užsibrėžtus ŽE tikslus ir siekius. Atliekos nebegali būti tik šalinamos, kiekviena šalis privalo kuo įvairiau ir naudingiau jas panaudoti savo pramonėje. Indikatorius, kuris padėtų išsiaiškinti kaip permąstoma nuotekų valyklų veikla nėra sugalvotas vien todėl, kad valyklų veikla yra labai įvairi, tačiau suskirsčius vykdomus procesus pagal atliekų hierarchijos principinę schemą ir kiekvienu etapu permąščius kaip valyklos galėtų efektyviau ir naudingiau funkcionuoti, būtų pirmas ir esminis permąstymo žingsnis, nes tik žinant kokia yra dabartinė situacija galima bandyti kažką keisti ir modernizuoti.

Pasirinkti indikatoriai, kuriais buvo analizuojamas Lietuvos nuotekų valyklų žiediškas, parodė sąlyginai skirtingus rezultatus. Vienose srityse šalis yra ES priekyje, kitose – žemiau vidurkio. Lietuvos nuotekų valyklos atitinka Direktyvos reikalavimus, tačiau trūksta aiškių gairių ir tikslų kaip bus pereinama prie ŽE. Problemų sukelia besikeičiančios aglomeracijų ribos ir skaičiai, atsiranda duomenų netikslumų. Prevencijos srityje, šalis parodė puikius rezultatus produktyviame vandens sunaudojime. Lyginant su kaimyninėmis šalimis, Lietuvos pramonė uždirba daugiau sunaudodama tokį patį kiekį vandens, didėjanti tendencija rodo, kad šioje srityje didesnio poreikio optimizacijai nėra. Neigiama tendencija stebima vandens sunaudojime namų ūkiams, gyventojai dėl pagerėjusių ekonominių sąlygų ir karštesnių vasarų, sunaudoja vis didesnius kiekius vandens. Namų ūkiai ir viešasis sektorius atsakingi už daugiau negu 60 % viso vandens sunaudojimo, stebima didėjanti tendencija signalizuoja apie poreikį šviesti ir skatinti gyventojus naudoti vandenį taupančius įrenginius, kaupti lietaus vandenį daržų ir žaliųjų plotų laistymui. Lietaus vandenį žaliųjų plotų laistymui ir gatvių plovimui galėtų naudoti ir savivaldybės, tokie iš pažiūros paprasti sprendimai smarkiai sumažintų gėlo vandens poreikį. Pavyzdžiui, didžiuosiuose šalies miestuose, Vilniuje, Kaune ir Klaipėdoje per metus iškritusį kritulių kiekį padauginus iš miestų ploto gauname kad vidutiniškai per metus pasirinktuose miestuose lietaus vandens susidaro apie 450 mln. m<sup>3</sup> [93, 94]. Dauguma šio vandens patenka ant asfalto ir galiausiai atsiduria upėse, tačiau surinkus lietaus vandenį ir jį panaudojus tiesioginiam gatvių plovimui ar žaliųjų plotų drėkinimui, didelė įtaka vykstantiems vandens cirkuliacijos procesams nebūtų padaroma, o miestai sutaupytų gėlo vandens atsargų. Šalis jau turi pradėti permąstyti procesus, kad sumažinti viešojo sektoriaus ir namų ūkių vandens sunaudojimą. Dar vienas analizuotas indikatorius – žmonių dalis prisijungusi prie centralizuotų nuotekų tinklų parodė, kad šalyje lėtai, bet stabiliai didėja prisijungusiųjų skaičius. Neprisijungusieji dažniausiai yra atokesnių kaimų gyventojai, kuriems toks prisijungimas yra beveik neįmanomas arba labai brangus. Šioje srityje toliau turi būti vykdomi prijungimo ir nuotekų tinklų infrastruktūros plėtros darbai, kad kuo didesnis prisijungusiųjų skaičius toliau išliktų augantis.

Šalies nuotekų apdorojimas ir šalinimas atitinka Direktyvos reikalavimus, tačiau pastebima prastėjimo tendencija, didžiausia šalies nuotekų valykla nebesusitvarko su padidėjusia apkrova, fosforo ir azoto išvalymo efektyvumas nėra didelis lyginant su kaimynių šalių didžiosiomis nuotekų valyklomis, fosforo išvalymo efektyvumas per analizuotą 2018-2020 m. laikotarpį suprastėjo, dėl to į paviršinius vandenis, o galiausiai Baltijos jūrą patenkantys cheminiai junginiai, skatina eutrofikacijos procesus. Atsižvelgiant, kad ateityje didžiuosiuose šalies miestuose gyventojų skaičius augs, svarbu laiku sureaguoti į esamą blogėjančią situaciją. Šioje srityje valyklos turi permąstyti vykdomų procesų efektyvumą ir ieškoti racionalių kokybę didinančių sprendimų, tačiau valyklų tinkamas darbas smarkiai susijęs su iš namų ūkių ir pramonės ateinančiomis nuotekomis. Šioje srityje ir gyventojai turėtų būti skatinami apie būtinybę mažinti vykdomų veiklų metu susidarančių maistinių medžiagų kiekius. ES jau ilgą laiką siekia reguliuoti naudojamų ploviklių daromą žalą aplinkai, Europos Parlamento ir tarybos reglamentas (ES) Nr. 259/2012 dėl ploviklių [95] tai dokumentas padedantis bendrijos narėms saugiai naudoti plovimo priemones. Siekiant sumažinti žmogaus įtaką gamtos procesams, tinkamai išvalyti susidarančių teršalų neužtenka, gyventojai taip pat turi keisti savo įpročius ir naudoti tvaresnes valymo priemones.

Siekiant permąstyti nuotekų vandens pakartotinį panaudojimą ir perdirbimą buvo pasirinktas indikatorius parodantis kiek vandens buvo atgauta iš nuotekų valyklų ir panaudota žemės drėkinimui. Tiesa ta, kad šalis netaiko technologijų, kurios padėtų atgauti vandenį iš nuotekų. Priežastys to yra, kad Lietuvoje vandenį išgauti yra daug pigiau, negu jį apdorojus išgauti iš nuotekų. Pažymėtina, kad nuotekų valyklos galėtų suteikti iki 32 % viso reikiamo vandens kiekio žemės drėkinimui, tačiau remiantis šalies teisiniais dokumentais ir užsibrėžtais ateities planais, toks vandens atgavimas ir panaudojimas nėra analizuojamas.

Maistinių medžiagų atgavimą smarkiai įtakoja nuotekų dumblo kokybė. Nors apskaičiuotos rodiklių reikšmės išreikštos žalos vienetais yra santykinai mažos net lyginant su komercinėmis trąšomis, vis dar pasitaiko atvejų, kai dumblo užterštumas metalais, daugiausia kadmiu ir cinku, pasiekia tokias reikšmes, kad dumblo panaudojimas žemės ūkyje tampa problemiškas. Lietuvoje dumblo naudojimui taikomi griežti reikalavimai tam kad užtikrinti saugumą gamtai ir žmonių sveikatai. Vis dėl to nuotekų dumblas šalyje daugiausiai naudojamas žemės ūkyje ir kompostuojamas. Visoje ES dumblo tvarkymo praktikos yra skirtingos, vieno sėkmingo ar išskirtinio modelio nėra. Pavyzdžiui 2018 m. Ispanija net 87 % savo dumblo panaudojo žemės ūkio reikmėms, Vengrija kompostavo 71,5 %, Vokietija sudegino 73,5 %, o Rumunija išvežė į sąvartynus 52,2%. Vis dėlto dauguma šalių stengiasi naudoti įvairius tvarkymo būdus. Žiūrėti į Lietuvos kaimyninės šalys, jų dumblas 2018 metais buvo tvarkomas taip:

- Latvija: 17,4 % žemės ūkiui, 35,9 % kompostui, 44,4 % kitam perdirbimui;
- Lenkija: 20,3 % žemės ūkiui, 4,3 % kompostui, 19,1 % deginama, 54 % kitai;
- Švedija: 38,3 % - žemės ūkis, 25,5 % - kompostas, 1,3 % - deginamas, 27,1 % - kita.

Kaimyninėse šalyse, kaip ir Lietuvoje, dumblo panaudojimas žemės ūkyje ir kompostavimas yra populiariausi būdai, o deginimas taip pat svarbus Lenkijoje. Taip pat, kaimyninės šalys daug nuotekų dumblo priskiria „kita“ kategorijai. Lenkijos atveju, tos priskyrimas įvardijamas nesėkminga savivaldybių nuotekų dumblo tvarkymo sistema [60]. Lietuvoje į „kita“ kategoriją patenka nepanaudotas dumblas, kuris kaupiamas aikštelėse. Nuotekų dumblo tvarkymo sprendimų pasirinkimas nėra lengvas klausimas, todėl rengiami strateginiai dokumentai ne visada apima visus esamus klausimus ir problemas. Priimta Komunalinių nuotekų dumblo valymo strategija Lenkijoje



2018 m. turėjo padėti nuotekų valykloms efektyviau tvarkytis su dumblo problema, tačiau net ir toks dokumentas nebuvo užtekinai nuoseklus ir išsamus, įmonėms trūko aiškių įgyvendinimo rekomendacijų [51]. Lietuvoje dar 2006 metais buvo parengta programa [77], pagal kurią buvo pasirinkta dumblą džiovinti ir gaminti granules. Šios technologijos trūkumas tas, kad šalyje nebuvo kur panaudoti susidariusių granulių, technologija leido tik sumažinti dumblo kiekį ir kontroliuoti kvapus, bet gautas produktas nebuvo efektyviai panaudojamas. Kitas svarbus dalykas yra tas, kad energijos kiekis, gautas deginant dumblą, yra maždaug lygus kiekiui energijos, sunaudotas dumbliui paruošti (džiovinti) ir sudeginti, energijos balansas yra arti nulinės reikšmės. Dėl to daugelis nuotekų valyklų patyrė finansinių nuostolių. Rengiant Lietuvos žiedinės ekonomikos gaires buvo pažymėta, kad toks nuotekų dumblo deginimas yra prarasta galimybė atgauti vertingas medžiagas. Nacionaliniame atliekų prevencijos ir tvarkymo 2021–2027 m. plano projekte pažymima, kad pelenai iš dumblo, kurie deginami cemento gamykloje, toliau panaudojami cemento gamyboje. Tai yra puikus šalies pavyzdys, kaip tarpusavyje taikyti žaliavas ir procesus, kad neliktų atliekų. Plane taip pat pabrėžiamas tikslas – maksimaliai padidinti dumblo ir jame esančių maistingų medžiagų energetinį potencialą. Renkantis nuotekų dumblo valymo būdą ir procesus, siūloma teikti pirmenybę tiems, kurie leidžia kompostuoti dumblą ir gaminti biodujas. Lietuva permąsto nuotekų dumblo apdorojimo ir pritaikymo galimybes, situacija jau daugelį metų yra gerėjanti, nes dumblo kiekis vis mažiau kaupiamas aikštelėse. Įgyvendinus išsikeltus tikslus, šalis turi didelį potencialą žiediškumo įgyvendinimui nuotekų dumblo tvarkymo ir panaudojimo srityje.

Siekiant permąstyti medžiagų atgavimo sritį, svarbu ne tik žinoti dabartinį šalies pajėgumą, bet ir įvertinti visą turimą potencialą. Kol kas Lietuva iš nuotekų valyklų resursus atgauna per nuotekų dumblą, kurį naudoja žemės ūkyje, kompostuoja ir gamina biodujas. Siekiant išsiaiškinti turimą potencialą buvo paskaičiuota, kiek daugiausiai šalis gali atgauti medžiagų, esant idealioms sąlygoms. Gauti duomenys pateikti 10 lentelėje. Skaičiavimai atlikti remiantis 2019 m. duomenimis ir apima visas savivaldybes, ne tik aglomeracijas, didesnes negu 2 000 g. e.

**10 lentelė.** Išteklių atgavimo iš Lietuvos nuotekų valyklų potencialas. Apskaičiuota esant idealioms sąlygoms

Dabartinė paklausa		Dabartiniai kiekiai	Galimas išteklių atgavimas		Potencialūs kiekiai
1		2	3		4
Vandens poreikis	Vandens išgavimas	280,5 mln. m <sup>3</sup> /m	Vandens atgavimas	Nuotekos	171,5 mln. m <sup>3</sup> /m
	Energijos poreikis	Gamtinės dujos		86,7 PJ/m	Energijos atgavimas
Elektra		14,3 PJ/m	Elektra iš CH <sub>4</sub> <sup>b</sup>	1,04 PJ/m	
Šiluma		31,7 PJ/m	Šiluma iš CH <sub>4</sub> <sup>c</sup>	1,09 PJ/m	
			Šiluma (nuotekos) <sup>d</sup>	17,52 PJ/m	

Dabartinė paklausa		Dabartiniai kiekiai	Galimas išteklių atgavimas		Potencialūs kiekiai
1		2	3		4
Azoto poreikis	Azotas panaudotas pasėliams	178 603 t/m	Azoto atgavimas	Įtekančių nuotekų azotas <sup>e</sup>	16 436 t/m
				Azotas nuotekų dumble <sup>f</sup>	3287 t/m
Fosforo poreikis	Fosforas panaudotas pasėliams	22 960 t/m	Fosforo atgavimas	Įtekančių nuotekų fosforas <sup>g</sup>	2511 t/m
				Fosforas nuotekų dumble <sup>h</sup>	2260 t/m
				Fosforo atgavimas struvito forma <sup>i</sup>	879 t/m

<sup>a</sup> skaičiavimai atlikti remiantis (8) formule; <sup>b</sup> skaičiavimai atlikti remiantis (9) formule; <sup>c</sup> skaičiavimai atlikti remiantis (10) formule; <sup>d</sup> skaičiavimai atlikti remiantis (11) formule; <sup>e</sup> į nuotekų valyklas įtekančias azotas, daroma prielaida, kad visą azotą galima išgauti [59]; <sup>f</sup> daroma prielaida, kad dumble lieka 20 % viso nuotekų azoto [99, 100]; <sup>g</sup> į nuotekų valyklas įtekančias fosforas, daroma prielaida, kad visą fosforą galima išgauti [59]; <sup>h</sup> daroma prielaida, kad dumble lieka 90 % viso nuotekų fosforo [101]; <sup>i</sup> fosforo atgavimo struvito forma, efektyvumas 35 % [101].

Nuotekų valyklose išvalytos nuotekos, jeigu visos būtų panaudotos, galėtų patenkinti apie 61 % šalies vandens poreikio. Palyginimui, Nyderlanduose šis potencialas yra iki 20 %, Singapūre pasiektas 40 % atgavimas [68].

Nuotekų valyklos vykdomiems procesams sunaudoja didelius kiekius energijos. Atgauta energija iš nuotekų ne tik leistų įmonėms tapti energetiškai nepriklausomoms, bet ir sumažintų valymo kainas. Skaičiavimai parodė, kad atgautos iš nuotekų valyklų energijos potencialas nėra didelis, tačiau šalies mastu būtų atgauta 2,2 % viso dujų poreikio, 7 % elektros energijos ir 3,4 % šilumos, dėl biodujų gamybos ir naudojimo termofikacinėse elektrinėse. Šilumos atgavimo potencialas iš pačių nuotekų siekia net 55 % šilumos poreikio šalyje, tačiau toks energijos atgavimo būdas nėra taikomas. Šie rezultatai yra panašūs arba didesni lyginant su Nyderlandų duomenimis [68], tai galima paaiškinti mažesniu energijos poreikiu vienam gyventojui Lietuvoje.

Vertinant galimybę atgauti maistines medžiagas, Lietuvos nuotekų valyklų pajėgumai yra dideli. Jeigu būtų galimybė atgauti visą įtekančio į nuotekų valyklas azoto kiekį, tai jis padengtų net 9,2 % viso šalies poreikio, lyginant su sunaudojamomis mineralinėmis trąšomis žemės ūkyje. Fosforo atgautas kiekis sudarytų 10,9 % viso sunaudojimo mineralinio fosforo žemės ūkyje. Nors maistinių medžiagų atgavimo technologijos yra bangi investicija, tačiau verta paminėti, kad tai padėtų sumažinti šių medžiagų išleidimo į paviršinius vandenis kiekį. Mažesni azoto ir fosforo kiekiai padėtų mažinti eutrofikacijos daromą žalą.

### 3.3. Lietuvos nuotekų valyklų žiediškumo įvertinimas

Atlikti skaičiavimai, remiantis Lietuvos nuotekų valykloms pritaikytų indikatorių reikšmėmis, padėjo įvertinti dabartinį šalies žiediškumo potencialą. Gauti duomenys pateikti 27 paveikslėlyje.

Sumažinimas ir prevencija	131,3	Vandens sunaudojimo produktyvumas, EUR/ m <sup>3</sup>	Pašalinimas	vid. 0,16	Teršalų kiekis atgautame nuotekų dumble
	76	Prisijungimas prie centralizuotų nuotekų tinklų, %		vid. 86,6	Biologinis defosforizacijos potencialas
Pašalinimas	vid. 87	Azoto šalinimo efektyvumas, %	Pakartotinis panaudojimas	0	Išvalytų nuotekų panaudojimas žemės drėkinimui
	vid. 93	Fosforo šalinimo efektyvumas, %	Atgavimas	794	Azoto atgavimas iš nuotekų dumblo, t/m
	1492	Neorganinio azoto kiekis nuotekose, t/m		286	Fosforo atgavimas iš nuotekų dumblo, t/m
	74	Neorganinio fosforo kiekis nuotekose, t/m		14,5	Biodujų gamyba iš nuotekų dumblo, mln. m <sup>3</sup> /m

27 pav. Lietuvos miesto nuotekų valyklų žiediškumo analizės indikatorių reikšmės, 2018 m. (indikatorinės spalvos: žalia – gerėjanti arba gera situacija, raudona – blogėjanti arba bloga situacija)

Iš 27 paveikslėlio matomas šalies žiediškumo potencialas. Vertinant sumažinimą ir prevenciją, pasirinkti indikatoriai: vandens sunaudojimo produktyvumas ir prisijungusiųjų prie centralizuotų nuotekų tinklų dalis parodė, kad Lietuva pagal šiuos indikatorius puikiai naudoja savo vandens resursais. Stabiliai didėja prisijungusiųjų skaičius, kuris, lyginant su kaimyninėmis šalimis nėra didelis, tačiau per 10 m. pasiekė 13,36 % padidėjimą.

Nuotekose esančių teršalų pašalinimui įvertinti buvo pasirinkti net šeši indikatoriai. Ši valyklų atliekama funkcija yra pati svarbiausia, todėl ir vertinimas pasirinktas įvairus. Pirmiausia vertinant maistinių medžiagų – bendrojo azoto ir fosforo šalinimo efektyvumą, pastebima sumažėjimo tendencija. Tai daugiausiai lėmė šalies sostinės nuotekų valyklos suprastėjas valymo efektyvumas. Visos šalies mastu sumažėjo neorganinio azoto išleidimas į paviršinius vandenis, tačiau fosforo kiekiai padidėjo. Paskaičiuotos teršalų kiekio atgautame nuotekų dumble reikšmės yra geresnės

negu nurodoma literatūroje. Biologinio defosforizacijos potencialo skaičiavimai parodė, kad šalyje apie 20 % valyklų didžiajai daliai nuotekų valyklų nėra būtina naudoti papildomų cheminių medžiagų azoto ir fosforo išvalymui.

Vienas indikatorius buvo pasirinktas pakartotinio panaudojimo ir perdirbimo įvertinimui. Vienintelis todėl, kad šalyje nėra technologijų, kurios pakartotinai naudotų nuotekų vandenį ar kitai perdirbtų nuotekas ir nuotekų dumblą.

Atgavimo įvertinimui pasirinkti trys indikatoriai. Šalyje nuotekų dumblas yra panaudojamas daugiausiai žemės ūkyje, taip pat kompostuojamas ir deginamas. Vis mažiau nuotekų dumblo yra kaupiama saugojimo aikštelėse, o panaudojama deginimui. Visi trys analizuoti indikatoriai parodė didėjančias tendencijas, nes vis daugiau azoto ir fosforo yra atgaunama tiesiogiai jį naudojant žemės ūkyje, didėja biodujų gamybos intensyvumas.

## Išvados

1. LR Vyriausybės patvirtintas 2021-2030 m. nacionalinis pažangos planas laikomas pirmuoju dokumentu, kuriuo bandoma skatinti ŽE taikymą pramonėje. 2021 m. atlikta Lietuvos pramonės žiediškumo analizė parodė, kad šalies žiediškumas tesudaro 3,3 % ir yra žemiau ES vidurkio. Toje pačioje analizėje įvardijama galimybė sintetines trąšas pakeisti natūraliomis alternatyvomis ir taip prisidėti prie žiediškumo didinimo. Nuo 2020 m. šalyje stebimas susidomėjimas ŽE, daugėja studijų ir mokslinių darbų, tačiau nuotekų sektorius mažai analizuojamas.
2. Europoje ir Lietuvoje nuotekų valyklos buvo statomos remiantis linijinės ekonomikos modeliu. Pagrindinė valyklos užduotis – išvalytas nuotekas išleisti į gamtinę aplinką. ŽE principų įgyvendinimas nuotekų valyklose leistų atgauti nuotekose bei nuotekų dumble esančias maistines medžiagas, energetinį potencialą ir vandenį. Egzistuoja daug nuotekų dumblo tvarkymo būdų. Terminius būdus racionaliausia taikyti didelėse nuotekų valyklose, organinis perdirbimas labiausiai tinka vidutinėms ir mažoms valykloms. Nuotekų dumblo panaudojimas žemės ūkyje yra pats pigiausias dumblo apdorojimo būdas, deginimas, priklausomai nuo šalies, gali būti brangiausias. Lietuvos nuotekų valyklos, nusprendusios plėtoti žiediškumą didinančią nuotekų tvarkymo infrastruktūrą, gali tikėtis finansinės paramos iš Europos investicinio bando.
3. Išanalizuoti tarptautinių organizacijų ir mokslinių tyrimų duomenys padėjo identifikuoti vandens ir nuotekų sektoriui tinkančius indikatorius. Pritaikius ŽE modelio vandens ir nuotekų sektoriui sistemą, ir atsižvelgiant į duomenų prieinamumą, patikimumo ir patogumo naudoti principą – 11 indikatorių buvo pasirinkti Lietuvos nuotekų valyklų analizei.
4. Lietuvos vandens ir nuotekų sektoriaus žiediškumo analizė parodė:
  - Vandens produktyvumas Lietuvoje didėja ir yra vienas didžiausių lyginant su kaimyninėmis šalimis.
  - 2020 m. prisijungusių prie centralizuotų nuotekų surinkimo gyventojų dalis pasiekė 77,07 % ir nuo 2010 m. padidėjo 13,36 %.
  - Lietuvoje po valymo išleidžiamų nuotekose esančių teršalų koncentracijos atitinka ES ir Lietuvos teisiniuose dokumentuose esančias ribines vertes. Pastebimas bendrojo azoto ir fosforo išvalymo efektyvumo mažėjimas. Tokį pokytį galėjo lemti suprastėję sostinės valymo pajėgumai, kuriuos įtakoję padidėjęs gyventojų skaičius, nuotekų apkrova ir teršalų koncentracijos.
  - Daugiau negu 29 % viso šalyje susidarančio nuotekų dumblo yra panaudojama žemės ūkyje, 22 % kompostuojant, apie 34 % deginant ir likęs kaupiamas aikštelėse arba dar kitaip panaudojamas. 5 % šalinama sąvartyne. Įvertinus nuotekų dumblo užterštumą sunkiaisiais metalais gauta, kad Lietuvos nuotekų dumblas yra saugesnis lyginant su reikšmėmis pateiktomis literatūroje, tačiau išimtiniais atvejais stebimos per didelės Zn, Cd ir kartais Hg metalų koncentracijos. Tręšiant laukus nuotekų dumblu, netiesiogiai į žemę per metus gražinama 794 t azoto ir 286 t fosforo.

- Lietuvoje 2020 m. buvo pagaminta 15 mln. m<sup>3</sup> biodujų, 60 % buvo panaudota šilumos gamybai, o 40 % elektros gamybai. Lyginant su 2018 m. stebimas nežymus gamybos didėjimas, tačiau vertinant visas šalies atsinaujinančias energijos rūšis, biodujos pagamintos iš nuotekų dumblo sudaro tik apie 1 %.
5. Išanalizavus Lietuvos nuotekų valyklų žiediškumą, gauta, kad 8 indikatorių iš 12 reikšmės analizuotu 2018-2020 m. laikotarpiu pagerėjo. Apskaičiuotas šalies potencialas esant idealioms sąlygoms parodė, kad šalies mastu iš nuotekų dumblo galima atgauti 2,2 % viso dujų poreikio, 7 % elektros energijos ir 3,4% šilumos. Atgavus visą įtekančio į nuotekų valyklas azoto kiekį, būtų padengta net 9,2 % viso šalies poreikio, lyginant su sunaudojamomis mineralinėmis trąšomis žemės ūkyje. Fosforo atgautas kiekis sudarytų 10,9 %.

## Literatūros sąrašas

1. EUROPEAN PARLIAMENT. Circular economy: definition, importance and benefits [interatyvus]. Brussels, 2022 [žiūrėta 2022-02-17]. Prieiga per: <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/economy/20151201STO05603/circular-economy-definition-importance-and-benefits>
2. KIRCHERR, J., REIKE, D., HEKKER, T. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling* vol. 127, Elsevier B.V. (2017).
3. BIEN, J., BIEN, B. Sludge Thermal Utilization, and the Circular Economy. *Civil and Environmental Engineering Reports* vol. 29, Walter de Gruyter GmbH (2019), Nr. 4, pp. 157–175.
4. GHISELLINI, P., CIALANI, C., ULGIATI, S. A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production* vol. 114, Elsevier Ltd (2016), pp. 11–32.
5. EUROPOS KOMISIJA. Žiedinės ekonomikos kūrimas. Europos be atliekų programa [interatyvus]. Briuselis, 2014 [žiūrėta 2022-03-01]. Prieiga per: [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:50edd1fd-01ec-11e4-831f-01aa75ed71a1.0018.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:50edd1fd-01ec-11e4-831f-01aa75ed71a1.0018.02/DOC_1&format=PDF)
6. EUROPOS KOMISIJA. Uždaro ciklo kūrimas. ES žiedinės ekonomikos veiksmų planas [interatyvus]. Briuselis, 2015 [žiūrėta 2022-03-01]. Prieiga per: [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8a8ef5e8-99a0-11e5-b3b7-01aa75ed71a1.0018.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8a8ef5e8-99a0-11e5-b3b7-01aa75ed71a1.0018.02/DOC_1&format=PDF)
7. Chamber of Commerce of Molise. Input study on “How to stimulate secondary raw material markets” Workshop [interatyvus]. Italy, 2018 [žiūrėta 2022-03-01]. Prieiga per: [https://projects2014-2020.interregeurope.eu/fileadmin/user\\_upload/tx\\_tevprojects/library/file\\_1524152378.pdf](https://projects2014-2020.interregeurope.eu/fileadmin/user_upload/tx_tevprojects/library/file_1524152378.pdf)
8. EUROPOS KOMISIJA. Naujas žiedinės ekonomikos veiksmų planas, kuriuo siekiama švaresnės ir konkurencingesnės Europos [interaktyvus]. Briuselis, 2020 [žiūrėta 2022-02-12]. Prieiga per: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0098&from=EN>
9. EUROPEAN COMMISSION. Perspectives for nutrient management in Europe [interaktyvus]. Brussels, 2021 [žiūrėta 2022-03-01]. Prieiga per: [https://www.nweurope.eu/media/15027/phos4you\\_201\\_schilthuis\\_eu\\_com.pdf](https://www.nweurope.eu/media/15027/phos4you_201_schilthuis_eu_com.pdf)
10. VALSTYBINIS AUDITAS. Vandens tiekimas ir nuotekų tvarkymas [interaktyvus]. Vilnius, 2020 [žiūrėta 2022-03-01]. Prieiga per: <https://www.valstybeskontrolė.lt/LT/Product/Download/3862>
11. BARQUET, K., JANBERG, L., ROSEMARIN, A., MACURA, B. Identifying barriers and opportunities for a circular phosphorus economy in the Baltic Sea region. *Water Research* vol. 171, Elsevier Ltd (2020).
12. BRUNECKIENĖ, Jurgita ir kt. Žiedinės ekonomikos iššūkiai ir galimybės Lietuvoje. [interaktyvus]. Kaunas: Technologija, 2021 [žiūrėta 2022-03-01]. ISBN 9786090217382. Prieiga per: <https://www.ebooks.ktu.lt/eb/1556/ziedines-ekonomikos-issukiai-ir-galimybes-lietuvoje/>
13. LIETUVOS RESPUBLIKOS VYRIAUSYBĖ. 2021–2030 m. nacionalinis pažangos planas: 2020 m. rugsėjo 9 d. Nr. 998 [interaktyvus] [žiūrėta 2022-02-17]. Prieiga per:

<https://lrv.lt/lt/aktuali-informacija/xvii-vyriausybe/strateginis-valdymas/2021-2030-m-nacionalinis-pazangos-planas>

14. EUROSTAT. Circular material use rate [interaktyvus] [žiūrėta 2022-03-01]. Prieiga per: [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/CEI\\_SRM030\\_custom\\_354994/bookmark/table?lang=en&bookmarkId=c6638243-2f7f-4256-b2fd-6a5159b4b68a](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/CEI_SRM030_custom_354994/bookmark/table?lang=en&bookmarkId=c6638243-2f7f-4256-b2fd-6a5159b4b68a)
15. LIETUVOS INOVACIJŲ CENTRAS. Žiedinės ekonomikos plėtros priemonės ir sprendimai situacijos apžvalga ir rekomendacijos politikos formuotojams [interaktyvus]. Vilnius, 2021 [žiūrėta 2022-03-01]. Prieiga per: <https://lic.lt/wp-content/uploads/2021/01/Ziedines-ekonomikos-pletros-priemones-ir-sprendimai.pdf>
16. Lietuvos pramonės žiediškumo analizė [interaktyvus]. Vilnius, 2021 [žiūrėta 2022-02-17]. Prieiga per: [https://mita.lrv.lt/uploads/mita/documents/files/Analysis%20of%20Circularity%20of%20Lithuanias%20Industry\\_final\\_report\\_LT.pdf](https://mita.lrv.lt/uploads/mita/documents/files/Analysis%20of%20Circularity%20of%20Lithuanias%20Industry_final_report_LT.pdf)
17. Lietuvos pramonės perėjimo prie žiedinės ekonomikos keldoris: pirmoji bendrakūtos ir partnerystės principais grįsta Lietuvos pramonės vizija [interaktyvus]. Vilnius, 2021 [žiūrėta 2022-03-01]. Prieiga per: [https://mita.lrv.lt/uploads/mita/documents/files/%C5%BDEK\\_FINAL.pdf](https://mita.lrv.lt/uploads/mita/documents/files/%C5%BDEK_FINAL.pdf)
18. KIRCHHERR, J., PISCICELLI, L., BOUR, R. KOSTENSE-SMIT, E., MULLER, J., HUIBRECHTSE-TRUIJENS, A., HEKKERT, M. Barriers to the Circular Economy: Evidence From the European Union (EU). In: *Ecological Economics* vol. 150, Elsevier B.V. (2018), pp. 264–272.
19. MAREK, D., BRAUN, M., DABROWSKI, M. The challenge of implementing European Union environmental law in the new member states: The Urban Waste Water Treatment Directive in the Czech Republic and Poland. *Environment and Planning C: Politics and Space* vol. 35, SAGE Publications Ltd (2017), Nr. 6, pp. 1117–1135.
20. EUROSTAT. Annual freshwater abstraction by source and sector [interaktyvus] [žiūrėta 2022-03-01]. Prieiga per: [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ENV\\_WAT\\_ABS/default/table?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ENV_WAT_ABS/default/table?lang=en)
21. SMOL, M., ADAM, C., PREISNER, M. Circular economy model framework in the European water and wastewater sector. *Journal of Material Cycles and Waste Management* vol. 22, Springer (2020), Nr. 3, pp. 682–697.
22. Tarybos direktyva (91/271/EEB) dėl miesto nuotekų valymo [interaktyvus]. Briuselis, 1991 [žiūrėta 2022-02-25]. Prieiga per: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/PDF/?uri=CELEX:31991L0271&from=EN>
23. MAREK, D., BAUN, M., DABROWSKI, M. The challenge of implementing European Union environmental law in the new member states: The Urban Waste Water Treatment Directive in the Czech Republic and Poland. In: *Environment and Planning C: Politics and Space* vol. 35, SAGE Publications Ltd (2017), Nr. 6, pp. 1117–1135.
24. VAIŠNORAS Alfonsas. Europos Sąjungos aplinkos politika [interaktyvus]. Vilnius, 2011 [žiūrėta 2022-03-25]. ISBN 9789955192688. Prieiga per: <https://repository.mruni.eu/bitstream/handle/007/16766/9789955192855.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
25. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. Dėl nuotekų tvarkymo reglamento patvirtinimo 2006 m. gegužės 17 d. Nr. D1-236 [interaktyvus] [žiūrėta 2022-03-25]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.276576/asr>



26. MANNINA, G., ADALUCCO, L., BARBARA, L., COSENZA, A., TRAPANI, D., GALLO, G., LAUDICINA, VITO A., MARINO, G., et. Al. Enhancing a transition to a circular economy in the water sector: The eu project wider uptake. *Water (Switzerland)* vol. 13, MDPI AG (2021), Nr. 7.
27. LIETUVOS RESPUBLIKOS VYRIAUSYBE. Geriamojo vandens tiekimo ir nuotekų tvarkymo įstatymas: 2006 m. liepos 13 d. Nr. X-764 [interaktyvus] [žiūrėta 2022-03-25]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.280587/asr>
28. EUROSTAT. Population connected to wastewater treatment plants [interaktyvus] [žiūrėta 2022-03-25]. Prieiga per: [http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?lang=en&dataset=env\\_ww\\_con](http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?lang=en&dataset=env_ww_con)
29. ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. Lithuania Country report [interaktyvus] [žiūrėta 2022-03-10]. Prieiga per: <https://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/economics/pdf/Lithuania%20report.pdf>
30. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. Investicijų projektas (galimybių studija). *Nuotekų tvarkymo informacinės sistemos sukūrimas ir įdiegimas*. Vykdytojai UAB „IO projects“ [interaktyvus]. Vilnius, 2020 [žiūrėta 2022-03-10]. Prieiga per: <https://am.lrv.lt/uploads/am/documents/files/NTIS%20IP%20final.pdf>
31. LIETUVOS RESPUBLIKOS VYRIAUSYBĖ. Nutarimas dėl 2022–2030 metų plėtros programos valdytojos Lietuvos respublikos aplinkos ministerijos aplinkos apsaugos ir klimato kaitos valdymo plėtros programos patvirtinimo 2022 m. kovo 30 d. Nr. 318 [interaktyvus] [žiūrėta 2022-03-25]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/7430b8b1b1c011ecba9197ac603309e4?jfwid=-q97nhzc25>
32. Tarybos Direktyva (86/278/EEB) dėl aplinkos, ypač dirvožemio, apsaugos naudojant žemės ūkyje nuotekų dumblą [interaktyvus]. Briuselis, 1986 [žiūrėta 2022-04-24]. Prieiga per: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/HTML/?uri=CELEX:31986L0278&from=EN>
33. EUROPOS KOMISIJA. Dešimtoji Tarybos direktyvos 91/271/EEB dėl miesto nuotekų valymo įgyvendinimo būklės ir įgyvendinimo programų (reikalaujamų pagal 17 straipsnį) ataskaita [interaktyvus]. Briuselis, 2020 [žiūrėta 2022-04-24]. Prieiga per: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/?uri=CELEX:52020DC0492>
34. WEI, Y., VAN HOUTEN, RENZE T., BORGER, ARJAN R., EIKELBOOM, DICK H., FAN, Y. Minimization of excess sludge production for biological wastewater treatment. *Water Research* vol. 37, Elsevier Ltd (2003), Nr. 18, pp. 4453–4467.
35. EUROPOS KOMISIJA. Nuotekų dumblas [interaktyvus] [žiūrėta 2022-03-10]. Prieiga per: [https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling/sewage-sludge\\_lt](https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling/sewage-sludge_lt)
36. Nutrient enrichment and eutrophication in Europe's seas Moving towards a healthy marine environment [interaktyvus]. ISBN 9789294801111 [žiūrėta 2022-03-10]. Prieiga per: <https://www.eea.europa.eu/publications/nutrient-enrichment-and-eutrophication-in>
37. Tarybos direktyva 1999/31/EB dėl atliekų sąvartynų [interaktyvus]. Briuselis, 1999 [žiūrėta 2022-04-24]. Prieiga per: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/?uri=CELEX:31999L0031>
38. EUROSTAT. Sewage sludge production and disposal from urban wastewater [interaktyvus] [žiūrėta 2022-04-24]. Prieiga per: <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ten00030/default/table?lang=en>
39. Komunalinių nuotekų valymo metu susidariusio ir saugojimo aikštelėse sukaupto senojo dumblo sutvarkymo galimybių studija. Galutinė ataskaita. I knyga [interaktyvus]. 2006 [žiūrėta

- 2022-04-24]. Prieiga per: [https://am.lrv.lt/uploads/am/documents/files/16178\\_AT-3\\_I\\_tomas\(1\).pdf](https://am.lrv.lt/uploads/am/documents/files/16178_AT-3_I_tomas(1).pdf)
40. MOLINA-MORENO, V., LEYVA-DÍAZ, JUAN CARLOS, LLORENS-MONTES, FRANCISCO JAVIER, CORTÉS-GARCÍA, FRANCISCO JOAQUÍN. Design of indicators of circular economy as instruments for the evaluation of sustainability and efficiency in wastewater from pig farming industry. *Water (Switzerland)* vol. 9, MDPI AG (2017), Nr. 9.
41. LIETUVOS RESPUBLIKOS VYRIAUSYBĖ. Valstybinis atliekų prevencijos ir tvarkymo 2021–2027 metų plano projektas [interaktyvus] [žiūrėta 2022-04-24]. Prieiga per: [https://am.lrv.lt/uploads/am/documents/files/VAPTP%202021-2027%20projektas\\_vie%C5%A1inimui.pdf](https://am.lrv.lt/uploads/am/documents/files/VAPTP%202021-2027%20projektas_vie%C5%A1inimui.pdf)
42. ZHANG, X., LIU, Y. Circular economy is game-changing municipal wastewater treatment technology towards energy and carbon neutrality. *Chemical Engineering Journal* vol. 429, Elsevier B.V. (2022).
43. Europos Parlamento ir Tarybos direktyva (2008/98/EB) dėl atliekų ir panaikinanti kai kurias direktyvas [interaktyvus]. Briuselis, 2008 [žiūrėta 2022-04-24]. Prieiga per: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0098&from=EL>
44. FISCHER, CHRISTIAN. The development and achievements of EU waste policy. In: *Journal of Material Cycles and Waste Management* vol. 13 (2011), Nr. 1, pp. 2–9
45. EUROPEAN COMMISSION. Baltic Sea [interaktyvus] [žiūrėta 2022-04-24]. Prieiga per: [https://ec.europa.eu/oceans-and-fisheries/ocean/sea-basins/baltic-sea\\_lt](https://ec.europa.eu/oceans-and-fisheries/ocean/sea-basins/baltic-sea_lt)
46. KACPRZAK, M., NECZAJ, E., FIJAŁKOWSKI, K., GROBELAK, A., GROSSER, A., WORWAG, M., RORAT, A., BRATTEBO, H., et.al. Sewage sludge disposal strategies for sustainable development. In: *Environmental Research* vol. 156, Academic Press Inc. (2017), pp. 39–46.
47. CAPODAGLIO, A., OLSSON, G., Energy issues in sustainable urban wastewater management: Use, demand reduction and recovery in the urban water cycle. In: *Sustainability (Switzerland)* vol. 12, MDPI (2020), Nr. 1.
48. LIETUVOS RESPUBLIKOS VYRIAUSYBĖ. Dėl 2022–2030 metų plėtros programos valdytojos Lietuvos Respublikos aplinkos ministerijos aplinkos apsaugos ir klimato kaitos valdymo plėtros programos patvirtinimo: 2022 m. kovo 3, d. Nr. 318 [interaktyvus] [žiūrėta 2022-04-30]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/7430b8b1b1c011ecba9197ac603309e4?jfwid=-q97nhzc25>
49. ŪSAS, J., BALEZENTIS, T., STREIMIKIENE, D. Development and integrated assessment of the circular economy in the European Union: the outranking approach. *Journal of Enterprise Information Management*, Emerald Group Holdings Ltd. (2021).
50. EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. Digest of EEA indicators 2014 [interaktyvus] Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2014 [žiūrėta 2022-04-30]. ISBN 978-92-9213-459-4. Prieiga per: <https://www.eea.europa.eu/publications/digest-of-eea-indicators-2014>
51. OECD. Green Growth Indicators 2014 [interaktyvus] Paris, 2014 [žiūrėta 2022-04-30]. Prieiga per: [https://read.oecd-ilibrary.org/environment/green-growth-indicators-2013\\_9789264202030-en#page1](https://read.oecd-ilibrary.org/environment/green-growth-indicators-2013_9789264202030-en#page1)
52. EUROPOS KOMISIJA. Dėl žiedinės ekonomikos stebėsenos sistemos [interaktyvus]. Briuselis, 2018 [žiūrėta 2022-04-30]. Prieiga per internetą: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/HTML/?uri=CELEX:52018DC0029&from=EN>

53. WORLD BANK. The little green data book 2017 [interaktyvus]. Washington, 2017 [žiūrėta 2022-04-30]. Prieiga per: <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/27466/9781464810343.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
54. KAYAL, B., ABU-GHUNMI, D., ABU-GHUNMI, L., ARCHENTI, A., NICOLESCU, M., LARKIN, C., CORBET, S. An economic index for measuring firm's circularity: The case of water industry. *Journal of Behavioral and Experimental Finance* vol. 21, Elsevier B.V. (2019), pp. 123–129.
55. SMOL, M., KONECZNA, R. Economic Indicators in Water and Wastewater Sector Contributing to a Circular Economy (CE). *Resources* vol. 10, MDPI (2021), Nr. 12.
56. PREISNER, M., SMOL, M., HORTTANAINEN, M., DEVIATKIN, I., HAVUKAINEN, J., KLAVINS, M., OZOLA-DAVIDANE, R., KRUIPIENĖ, J., et.al. Indicators for resource recovery monitoring within the circular economy model implementation in the wastewater sector. *Journal of Environmental Management* vol. 304, Academic Press (2022).
57. OFICIALIOSIOS STATISTIKOS PORTALAS. Populiacija [interaktyvus] [žiūrėta 2022-04-30]. Prieiga per: <https://osp.stat.gov.lt/statistiniu-rodikliu-analize?hash=5b7fa09d-7ace-4909-89d9-b8a8897da5ba#/>
58. APLINKOS APSAUGOS AGENTŪRA. Miesto nuotekų valymo direktyvos įgyvendinimas. *Informacija apie didesnes negu 2000 GE aglomeracijas* [interaktyvus] [žiūrėta 2022-04-30]. Prieiga per: <https://aaa.lrv.lt/lt/veiklos-sritys/vanduo/nuoteku-tvarkymas/miesto-nuoteku-valymo-direktyvos-igyvendinimas>
59. Miesto nuotekų valymo direktyvos įgyvendinimo Lietuvoje žemėlapis [interaktyvus] [žiūrėta 2022-04-30]. Prieiga per: <https://uwwtd.eu/Lithuania/>
60. MCCARTY, PERRY L., BAE, J., KIM, J. Domestic wastewater treatment as a net energy producer-can this be achieved? In: *Environmental Science and Technology* vol. 45 (2011), Nr. 17, pp. 7100–7106
61. CAMPOS, J. L., VALENZUELA-HEREDIA, D., PEDROUSO, A., VAL DEL RÍO, A., BELMONTE, M., MOSQUERA-CORRAL, A. Greenhouse Gases Emissions from Wastewater Treatment Plants: Minimization, Treatment, and Prevention. In: *Journal of Chemistry* vol. 2016, Hindawi Publishing Corporation (2016).
62. EUROSTAT. Annual freshwater abstraction by source and sector [interaktyvus] [žiūrėta 2022-04-30]. Prieiga per: [http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env\\_wat\\_abs](http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env_wat_abs)
63. EUROSTAT. Water productivity [interaktyvus] [žiūrėta 2022-05-11]. Prieiga per: [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/t2020\\_rd210/default/table?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/t2020_rd210/default/table?lang=en)
64. Organisation for economic co-operation and development. Wastewater treatment (% population connected) [interaktyvus] [žiūrėta 2022-05-11]. Prieiga per: [https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=WATER\\_TREAT](https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=WATER_TREAT)
65. OFICIALIOSIOS STATISTIKOS PORTALAS. Gyventojų užmokestis, regionai [interaktyvus] [žiūrėta 2022-05-11]. Prieiga per: <https://osp.stat.gov.lt/statistiniu-rodikliu-analize?hash=4c0438aa-c847-4902-a982-72744df600c5#/>
66. EUROPOS KOMISIJA. Dešimtoji Tarybos direktyvos 91/271/EEB dėl miesto nuotekų valymo įgyvendinimo būklės ir įgyvendinimo programų (reikalaujamų pagal 17 straipsnį) ataskaita [interaktyvus]. Briuselis, 2020 [žiūrėta 2022-05-11]. Prieiga per: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/?uri=CELEX:52020DC0492>

67. EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. Nutrient enrichment and eutrophication in Europe's seas [interaktyvus]. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2019 [žiūrėta 2022-05-11]. ISBN 978-92-9480-111-1. Prieiga per: <https://www.eea.europa.eu/publications/nutrient-enrichment-and-eutrophication-in>
68. KEHREIN, PHILIPP ; VAN LOOSDRECHT, MARK ; OSSEWEIJER, PATRICIA ; GARFÍ, MARIANNA ; DEWULF, JO ; POSADA, JOHN: A critical review of resource recovery from municipal wastewater treatment plants-market supply potentials, technologies and bottlenecks. In: *Environmental Science: Water Research and Technology* vol. 6, Royal Society of Chemistry (2020), Nr. 4
69. Miesto nuotekų valymo direktyvos įgyvendinimo Europoje žemėlapis [interaktyvus] [žiūrėta 2022-05-11]. Prieiga per: <https://uwwt.d.eu/>
70. EUROPEAN COMMISSION. Baltic Sea [interaktyvus] [žiūrėta 2022-05-11]. Prieiga per: [https://ec.europa.eu/oceans-and-fisheries/ocean/sea-basins/baltic-sea\\_lt](https://ec.europa.eu/oceans-and-fisheries/ocean/sea-basins/baltic-sea_lt)
71. YUANSONG, W., RENZE, T., VAN HOUTEN, ARJAN R. BORGER, Dick H. EIKELBOOM, YAobo, F. Minimization of excess sludge production for biological wastewater treatment, *Water Research*, Volume 37, Issue 18, 2003, Pages 4453-4467, ISSN 0043-1354, [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(03\)00441-X](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(03)00441-X).
72. Country profiles on urban waste water treatment [interaktyvus] [žiūrėta 2022-05-17]. Prieiga per: <https://water.europa.eu/freshwater/countries/uwwt/>
73. EGGLE, L., RECHBERGER, H., KRAMPE, J., ZESSNER, M. Phosphorus recovery from municipal wastewater: An integrated comparative technological, environmental and economic assessment of P recovery technologies. *Sci. Total Environ.* 2016, 571, 522–542.
74. THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION. laying down rules on the making available on the market of EU fertilising products and amending Regulations (EC) No 1069/2009 and (EC) No 1107/2009 and repealing Regulation (EC) No 2003/2003 [interaktyvus]. Brussels, 2019 [žiūrėta 2022-05-17]. Prieiga per: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32019R1009>
75. THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION. On minimum requirements for water reuse [interaktyvus]. Brussels, 2020 [žiūrėta 2022-05-17]. Prieiga per: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32020R0741>
76. ALCALDE-SANZ, L., GAWLIK, B.M. Minimum quality requirements for water reuse in agricultural irrigation and aquifer recharge — towards a water reuse regulatory instrument at EU level EUR 28962 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg (2017), 10.2760/887727 PUBSY No. 109291.
77. ALCALDE-SANZ, L., GAWLIK B.M. Minimum quality requirements for water reuse in agricultural irrigation and aquifer recharge [interaktyvus]. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2017 [žiūrėta 2022-05-17]. ISBN 9789279771750. Prieiga per: [https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC109291/jrc109291\\_online\\_08022018.pdf](https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC109291/jrc109291_online_08022018.pdf)
78. EUROPEAN COMMISSION. The potential of water reuse for agricultural irrigation in the EU [interaktyvus]. Italy, 2017 [žiūrėta 2022-05-17]. ISBN 978-92-79-77210-8. Prieiga per: <https://op.europa.eu/o/opportal-service/download-handler?identifier=bc0a871b-857e-11e8-ac6a-01aa75ed71a1&format=pdf&language=en&productionSystem=cellar&part=>

79. BAUER, S., LINKE, H. J., WAGNER, M. Optimizing water-reuse and increasing water-saving potentials by linking treated industrial and municipal wastewater for a sustainable urban development. *Water Sci Technol.* 2020 May;81(9):1927-1940.
80. AKYOL, C., FOGLIA, A., OZBAYRAM, E. G., FRISON, N., KATSOU, E., EUSEBI, A. L., FATONE, F. Validated innovative approaches for energy-efficient resource recovery and re-use from municipal wastewater: From anaerobic treatment systems to a biorefinery concept. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 50:9, 869-902 (2020).
81. KEHREIN, P., VAN LOOSDRECHT, M., OSSEWEIJER, P., GARFÍ, M., DEWULF, J., POSADA, J. A critical review of resource recovery from municipal wastewater treatment plants-market supply potentials, technologies and bottlenecks. In: *Environmental Science: Water Research and Technology* vol. 6, Royal Society of Chemistry (2020), Nr. 4
82. OLADEJO J. et. al. 2019. A Review of Sludge-to-Energy Recovery Methods. *Energies* 12(60): 1–38. [Interaktyvus] [žiūrėta 2022-05-17]. Prieiga per: <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/1/60>
83. European Sustainable Phosphorus Platform. White phosphorus (P4) added to EU Critical Raw Materials list [interaktyvus] [žiūrėta 2022-05-17]. Prieiga per: <https://phosphorusplatform.eu/scope-in-print/news/1534-white-phosphorus-added-eu-crm>
84. GHERGHEL, A., TEODOSIU, C., DE GISI, S. A review on wastewater sludge valorisation and its challenges in the context of circular economy. *Journal of Cleaner Production* 228 (2019) 244 – 263. [interaktyvus] [žiūrėta 2022-05-17]. Prieiga per: <https://www.researchgate.net/publication/332548251>
85. HORTTANAINEN, M., DEVIATKIN, I., HAVUKAINEN, J. Nitrogen release from mechanically dewatered sewage sludge during thermal drying and potential for recovery. *Journal of Cleaner Production* 142 (2017) 1819 – 1826 [interaktyvus] [žiūrėta 2022-05-17]. Prieiga per: [https://www.researchgate.net/publication/310750711\\_Nitrogen\\_release\\_from\\_mechanically\\_dewatered\\_sewage\\_sludge\\_during\\_thermal\\_drying\\_and\\_potential\\_for\\_recovery](https://www.researchgate.net/publication/310750711_Nitrogen_release_from_mechanically_dewatered_sewage_sludge_during_thermal_drying_and_potential_for_recovery)
86. RASI, S., VEIJANEN, A., RINTALA, J. Trace compounds of biogas from different biogas production plants. In: *Energy* vol. 32, Elsevier Ltd (2007), Nr. 8, pp. 1375–1380
87. MARONEZE, M., ZEPKA, L., VIEIRA, J. G., QUEIROZ, M., JACOB-LOPES, E. A tecnologia de remoção de fósforo: Gerenciamento do elemento em resíduos industriais. In: *Revista Ambiente e Agua* vol. 9, Institute for Environmental Research in Hydrographic Basins (IPABHi) (2014), Nr. 3, pp. 445–458
88. ULLAH KHAN, I., HAFIZ DZARFAN OTHMAN, M., HASHIM, H., MATSUURA, T., ISMAIL, A. F., REZAEI-DASHTARZHANDI, M., WAN AZELEE, I. Biogas as a renewable energy fuel – A review of biogas upgrading, utilisation and storage. In: *Energy Conversion and Management* vol. 150, Elsevier Ltd (2017)
89. LIETUVOS RESPUBLIKOS VYRIAUSYBĖ. Dėl maisto pramonės įmonėse susidarančių biologiškai skaidžių atliekų tvarkymo programos patvirtinimo: 2008 m. lapkričio 24 d. Nr. 1266 [interaktyvus] [žiūrėta 2022-05-02]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/rs/legalact/TAD/TAIS.332348/>
90. OFICIALIOSIOS STATISTIKOS PORTALAS. Kuro rūšių balansai [interaktyvus] [žiūrėta 2022-05-02]. Prieiga per: <https://osp.stat.gov.lt/statistiniu-rodikliu-analize?hash=7f70321f-1ef4-4395-b891-1fa2342eb471#/>

91. OFICIALIOSIOS STATISTIKOS PORTALAS. Atsinaujinančių kuro rūšių balansai [interaktyvus] [žiūrėta 2022-05-02]. Prieiga per: [https://osp.stat.gov.lt/statistiniu-rodikliu-analize?hash=e69dc4ad-15d0-4d55-a261-96b455a7a20b#](https://osp.stat.gov.lt/statistiniu-rodikliu-analize?hash=e69dc4ad-15d0-4d55-a261-96b455a7a20b#/)
92. [interaktyvus] [žiūrėta 2022-05-02]. Prieiga per: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcbb.12548>
93. Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba. Standartinė klimato norma 1991–2020 m.[interaktyvus] [žiūrėta 2022-05-02]. Prieiga per: <http://www.meteo.lt/documents/20181/103901/standartine-klimato-norma-1991-2020.pdf/856f7313-0c34-4cd4-933c-dd9e528fbd8b>
94. Kritulių kiekio skaičiuoklė [interaktyvus] [žiūrėta 2022-05-02]. Prieiga per: [http://www.meteo.lt/php/skaiciuokles.php?s=krituliu\\_kiekis](http://www.meteo.lt/php/skaiciuokles.php?s=krituliu_kiekis)
95. Guidelines on the implementation of the Detergents Regulation [interaktyvus]. 2017 [žiūrėta 2022-05-02]. Prieiga per: <https://www.aise.eu/documents/document/20180125164634-aise-detergents-guidelines-final-22-november-2017-with-correct-links-to-ec.pdf>
96. FRIJNS, J., HOFMAN, J., NEDERLOF, M.. The potential of (waste)water as energy carrier, *Energy Convers. Manage.*, 2013, 65, 357–363.
97. VERSTRAETE., W, VLAEMINCK, S. E. ZeroWasteWater: shortcycling of wastewater resources for sustainable cities of the future, *Int. J. Sustainable Dev. World Ecol.*, 2011, 18(3), 253–264.
98. XIAODI, H., LI, J., MARK C. M., van Loosdrecht, JIANG, H., LIU, R. Energy recovery from wastewater: Heat over organics. *Water Research*. Volume 161, 2019, Pages 74-77, ISSN 0043-1354.
99. SIEGRIST, H., SALZGEBER, D., EUGSTER, J., JOSS, A. Anammox brings WWTP closer to energy autarky due to increased biogas production and reduced aeration energy for Nremoval, *Water Sci. Technol.*, 2008, 57(3), 383–388.
100. MATASSA, S., BATSTONE, D. J., HÜLSEN, T., SCHNOOR, J., VERSTRAETE, W. Can Direct Conversion of Used Nitrogen to New Feed and Protein Help Feed the World?, *Environ. Sci. Technol.*, 2015, 49(9), 5247–5254.
101. CORNEL, P., SCHAUM, C. Phosphorus recovery from wastewater: needs, technologies and costs. *Water Sci. Technol.*, 2009, 59(6), 1069–1076.