

PLUNGĖS NUOTEKŲ VALYKLOS REKONSTRAVIMO GALIMYBIŲ ANALIZĖ

Mindaugas VAUKAS, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas: mindaugas.vaukas@vdu.lt

Santrauka

Plungės NV rekonstravimo galimybės analizei buvo įvertinti duomenys apie galimus technologinius sprendimus, nustatyti atitekančių nuotekų debitų pokyčiai prieš ir po rekonstravimo, palyginti galimų modernizacijų būdai. Plungės nuotekų valyklos išplėtimo galimybių ir numatomos pramonės plėtos regione perspektyvos analizė nustatė būtinybę didinti valyklos našumą. Palyginus keturis Plungės NV rekonstravimo variantus nustatyta patraukliausia alternatyva, vertinant valyklos išvalymo efektyvumą, investicijų poreikį, eksploatacijos patikimumą, priežiūros ir kontrolės poreikį bei užimamą teritoriją.

Fosforo išgavimo iš nuotekų technologinių galimybių vertinimas parodė, kad visos trys siūlomos alternatyvos neperspektyvios, nes investicinės išlaidos fosforo regeneravimui iš nuotekų yra didelės, o šios veiklos pajamos nepadengia sąnaudų poreikio. Visgi apskaičiavus bendrą aplinkosauginę naudą, gaunamą iš fosforo regeneravimo (valymo proceso metu pašalintų teršalų kiekio (kg/metus), išvalytų nuotekų kiekio (m³/metus) ir kiekvieno teršalo daromo neigiamo poveikio aplinkai), Plungės NV atveju nauda būtų didesnė naudojant fosforo išgavimo iš nuotekų valymo įrenginius, nei vykdant veiklą be šio proceso įdiegimo. Palyginus tris fosforo įrenginių įrengimo variantus nustatyta patraukliausia alternatyva, vertinant fosforo įrenginių investicines išlaidas, techninės priežiūros ir remonto išlaidas, išlaidas reagentams ir elektros energijos išlaidas.

Reikšminiai žodžiai: nuotekų valykla, rekonstravimas, fosforo išgavimas.

Įvadas

Plečiantis pramonei ir augant gyventojų skaičiui didėja geriamojo vandens poreikis, o su juo didėja ir nuotekų kiekiai. Nuotekų valykloje susidaro biologinė, cheminė, fizikinė aplinkos tarša (Obaideen ir kt., 2022). Nuotekų valymas yra esminis žingsnis siekiant išsaugoti visuomenės sveikatą ir aplinką (Wardi ir kt., 2023).

Lietuvoje, kaip ir kitose išsivysčiusiose pasaulio šalyse, griežtai kontroliuojama išleidžiamų nuotekų į vandens telkinius tarša. Dėl šios priežasties nuotekų valyklos (NV) yra modernizuojamos įdiegiant naujas technologijas, kad valytų nuotekų taršos rodikliai atitiktų Nuotekų tvarkymo reglamente (Nuotekų..., 2006) nurodytus reikalavimus.

Dėl pramonės vystymosi Plungės mieste nevalytų nuotekų debitas didėja, o Plungės NV nėra pritaikyta didesniems nuotekų kiekiams. Yra didelė rizika, kad nuotekos nebus valomos efektyviai, ir galimai bus viršijama išleidžiamų nuotekų leistina tarša į paviršinio vandens telkinius.

Išteklų atkūrimo strategija yra perspektyvus būdas pereiti nuo tradicinės linijinės ekonomikos prie žiedinės bioekonomikos. Apie išteklių išgavimą iš nuotekų kalbama jau ne vieną dešimtmetį, tačiau augant išteklių trūkumui, pastaruoju metu apie tai pradėta kalbėti dažniau. Išteklų panaudojimo strategija sušvelnina įprastinio nuotekų valymo poveikį aplinkai ir sumažina valymo sąnaudas. Ši strategija padeda siekti galutinių nuotekų valymo procesų tikslų, t. y. maksimaliai pašalinti taršą, iki minimumo sumažinti energijos sąnaudas ir dumblo gamybą (Estahbanati ir kt., 2021).

Plungės nuotekų valyklos rekonstravimas leistų padidinti valyklos našumą, o fosforo išėmimas būtų perspektyvus būdas pereiti nuo tradicinės linijinės ekonomikos prie žiedinės bioekonomikos.

Tyrimo tikslas – išanalizuoti Plungės miesto nuotekų valyklos išplėtimo galimybes, pasiūlyti ir palyginti jos rekonstravimo alternatyvas.

Išsikeltam tikslui pasiekti sprendžiami šie **uždaviniai**:

1. Atlikti Plungės nuotekų valyklos debitų ir susidariusios papildomos taršos analizę.
2. Pasiūlyti ir palyginti Plungės nuotekų valyklos rekonstravimo alternatyvas.
3. Įvertinti fosforo išgavimo iš nuotekų technologijų galimybes.

Tyrimų objektas ir metodai

Tyrimui pasirinkta Plungės NV, kurios vidutinis nuotekų debitas – 5890 m³/parą. Valykla turi vieną mechaninio valymo (grotos, smėliagaudė) ir dvi biologinio valymo linijas. Valykloje sumontuoti du OCO tipo bioreaktoriai (an anaerobic/anoxic/oxic (A²/O)), kurio pirmoje O formos zonoje procesas vyksta anaerobinėmis sąlygomis, kitas dvi zonas skiria C formos sienelė, vienoje zonoje yra anoksinės sąlygos, kur vyksta denitrifikacija, o kitoje – aerobinės sąlygos ir du nuskaidrintuvai. Naudojama OCO technologija sumažina nuotekų taršos poveikį aplinkai. Taip pat naudojama papildoma priemonė, mažinanti poveikį aplinkai – dumblo apdorojimas.

Plungės NV rekonstravimo galimybės analizei įvertinti duomenys apie galimus technologinius sprendimus, nustatyti atitekančių nuotekų debitų pokyčiai prieš ir po rekonstravimo, palyginti galimų modernizacijų būdai. Nuotekų valyklos išplėtimui buvo parengtos ir palygintos keturios alternatyvos. Optimaliai Plungės NV modernizacijai parinkti

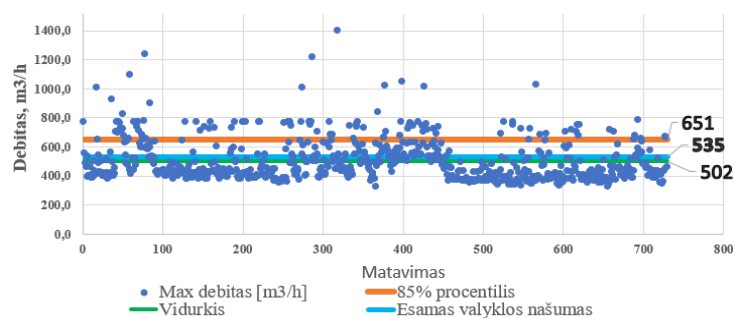
naudota daugiakriterinė analizės programa TOPSIS. Ieškant patraukliausio valymo technologijos varianto įvertintas valyklos veikimo efektyvumas, įrenginių ekonomiškumas ir kiti rodikliai.

Optimalaus fosforo išgavimo iš nuotekų varianto paieška, renkantis tinkamiausią iš Ostara Pearl®, Struvia™, AirPrex® technologijų pritaikymą Plungės nuotekų valykloje, buvo atlikta TOPSIS programa, įvertinti fosforų įrenginių investicines išlaidas, priežiūros, eksploatacijos ir kitus rodiklius.

Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

Įvertinus atitekančių nuotekų kiekius bei taršą, matyti, kad Plungės miesto NV našumas pagal gyventojų ekvivalentą (GE) turėtų siekti 52821 GE, tuo tarpu Plungės NV suprojektuota – 33657 GE. Yra didelė rizika, kad tam tikrais momentais nuotekos nebus išvalomos iki nustatytų reikalavimų dėl didelio nuotekų kiekio pliūpsnių. Tada atskirose valyklos grandyse nuotekos bus nepakankamai išvalomos, kyla grėsmė visam valymo technologiniam procesui.

Analizuojant Plungės nuotekų valyklos išplėtimo galimybes įvertintas numatomų prie nuotekų tinklų prijungti namų ūkių skaičius bei pramonės plėtra regione. Vertinant perspektyvinių papildomą nuotekų kiekį bendrai numatomas pramonės įmonėse susidarančių papildomų nuotekų debitas būtų 3078 m³/parą. Statistiškai apdorojus Plungės miesto NV 2019–2020 m. vidutinius ir maksimalius paros valandinių debitų duomenis buvo apskaičiuoti statistiniai vidurkiai bei išvestas paros nuotekų debitų 85 procentilis, kurio reikšmė parodo, kad 85 % visų įvykių patenka į pasirinktą intervalą (žr. 1 pav.).

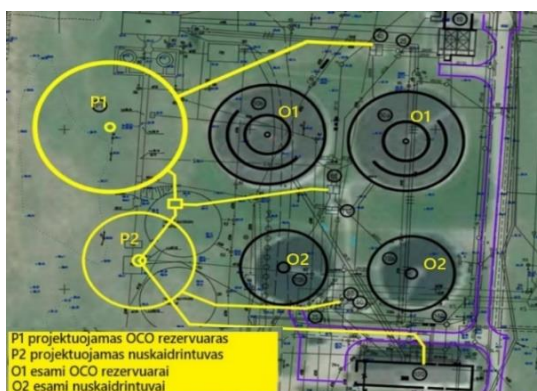


1 pav. Paros nuotekų kiekiai atitekę į Plungės miesto nuotekų valyklą 2019–2022 m.

Fig. 2. Daily wastewater discharges to the Plungė wastewater treatment plant 2019–2022

Pagal gautus duomenis įvertinti perspektyviniai papildomi nuotekų debitai ir teršalų kiekiai. Nustatyta, kad projektinis valyklos našumas padidėtų nuo esamo 5890 m³/parą iki 9226 m³/parą. Nuotekų valyklos modernizacija yra svarbi siekiant padidinti jos veikimo efektyvumą, sumažinti energijos sąnaudas ir atitikti aplinkosaugos reikalavimus. Ieškant patraukliausios valymo technologijos varianto darbe analizuotos keturios alternatyvos.

Alternatyva Nr.1. Numatoma biologinio valymo grandis su vienu didesniu bioreaktoriumi ir vienu didesniu antriniu nusodintuvu (žr. 2 pav.). Iš parengtinio nuotekų valymo pastato nuotekos nuvedamos į rekonstruojamą paskirstymo kamerą, iš kurios paskirstomos į biologinio valymo grandį. Reaktorių dydis toks, kad būtų galima išvalyti planuojamą projektinį nuotekų kiekį bei užterštumą.



2 pav. Nuotekų valymo įrenginių ir pagrindinių vamzdžių išsidėstymas sklype (alternatyva Nr. 1)

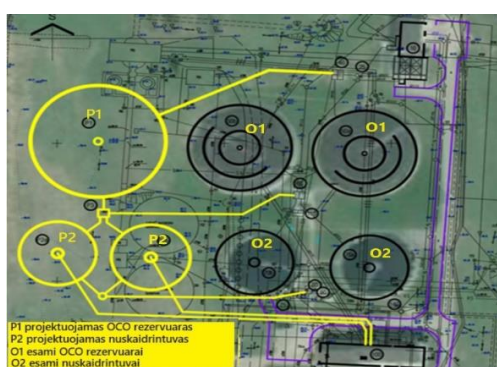
Fig. 2. Location of wastewater treatment plants and main pipelines on the site (Option 1)

Alternatyva Nr. 2. Iš parengtinio nuotekų valymo pastato nuotekos nuvedamos į rekonstruojamą paskirstymo kamerą, iš kurios paskirstomos į biologinio valymo grandį. Prie esamų nuotekų valymo įrenginių yra statomi nauji papildomi (analogiško dydžio kaip esami) nuotekų valymo įrenginiai – du bioreaktoriai ir du antriniai nusodintuvai (žr. 3 pav.).



3 pav. Nuotekų valymo įrenginių ir pagrindinių vamzdynų išsidėstymas sklype (alternatyva Nr. 2)
Fig. 3. Location of wastewater treatment plants and main pipelines on the site (Option 2)

Alternatyva Nr. 3. Statomas vienas bioreaktorius ir du antriniai nusodintuvai. Analogiškai, kaip ir ankstesnėse alternatyvose, iš parengtinio nuotekų valymo pastato nuotekos nuvedamos į rekonstruojamą paskirstymo kamerą, iš kurios paskirstomos į biologinio valymo grandį. Biologinio valymo grandyje yra statomas vienas naujas OCO bioreaktorius vakarinėje sklypo dalyje (žr. 4 pav.).

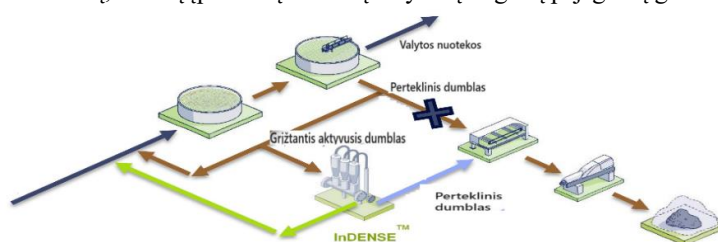


4 pav. Nuotekų valymo įrenginių ir pagrindinių vamzdynų išsidėstymas sklype (alternatyva Nr. 3)
Fig. 4. Location of wastewater treatment plants and main pipelines on the site (Option 3)

Reaktoriaus dydis parinktas pagal projektuojamą valyklos našumą. Iš bioreaktoriaus nuotekos teka į naujai statomą kamerą, iš kurios yra paskirstomos į du naujai statomus antrinius nusodintuvus.

Alternatyva Nr. 4 grindžiama InDENSE hidrociklonų įrengimu, kurie leistų mechaniškai atskirti aktyvųjį dumblą biologiniame reaktoriuje ir veiksmingiau pašalinti azotą, fosforą iš nuotekų (žr. 5 pav.). Dėl to pagerėtų nuotekų valyklos našumas ir veikimo efektyvumas. Hidrociklonai įrengiami ant perteklinio dumblų padavimo linijos. Hidrociklonuose dumblas atskiriamas į dvi frakcijas. Aktyvusis dumblas surenkamas ir vėl tiekiamas į biologinio reaktoriaus biomase, kad ji galėtų daugintis, o stambi frakcija atskiriama ir išvežama iš įrenginių kaip perteklinis dumblas.

Remiantis Dijono (Prancūzija) ir Palancia (Ispanija) nuotekų valyklose inDENSE eksploataavimo duomenimis, gravimetrinės technologijos įdiegimas leido pagerinti aktyvaus dumblų nusėdimo savybes (išreikštas dumblų tūrio indeksu ir nusėdimo greičiu), o tai leido padidinti nuotekų valyklos hidraulinį našumą apie 30 %. Taigi, esant santykinai nedidelėms išlaidoms ir per trumpą įrenginių sumontavimo laiką, bendrą įprastinių nuotekų valymo įrenginių pajėgumą galima padidinti 30 %.



5 pav. InDense hidrociklonai
Fig. 6. InDense hydrocyclones

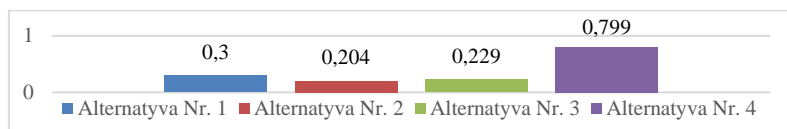
Alternatyvų palyginimui naudota daugiakriterinė analizės programa TOPSIS, kaip vienas iš analitinių metodų, kuris atsižvelgia į kiekvienos alternatyvos atstumą nuo teigiamo tikslo ir į kiekvienos alternatyvos atstumą nuo neigiamo tikslo taško. Šioje analizėje pasirinkti penki kriterijai ir keturios alternatyvos, kurios reitinguojamos, remiantis TOPSIS metodu (žr. 1 lentelę). Pirminiai duomenys – kriterijams priskiriami matavimo vienetai, + arba - reikšmės ir balai.

Programos TOPSIS suformuoti alternatyvų reitingai parodė, kad alternatyva Nr.4 yra patraukliausia. Likusių trijų alternatyvų reitingavimas yra panašus. Reikalingų investicijų kiekis yra didelis, todėl reitingavimo balai stipriai mažesni. Kita vertus, alternatyvos Nr. 4 atveju, įvykus įrenginių gedimui, prarandama 30 % valyklos hidraulinio pajėgumo, todėl jeigu gedimas įvyktų lietingu laikotarpiu, atsirastų labai didelė rizika dumblų išplovimui į upę. Mažiausiai tinkama pagal parinktus kriterijus būtų alternatyva Nr.2.

1 lentelė. Kriterijai, jų matavimo vienetai ir reikšmės**Table 1.** Criteria, their units of measurement and values

	Pavadinimas <i>Name</i>	Reikšmė <i>Value</i>	Balai <i>Scores</i>
1	Išvalymo efektyvumas <i>Cleaning efficiency</i>	+	0.3
2	Investicijų poreikis <i>Investments costs</i>	-	0.3
3	Priežiūros ir kontrolės poreikis <i>Maintenance and control</i>	-	0.2
4	Užimama teritorija <i>Size of the territory</i>	-	0.15
5	Eksplotacijos patikimumas <i>Reliability of operation</i>	-	0.15

6 paveiksle pateikti alternatyvų reitingavimo rezultatai.

**6 pav.** Plungės NV alternatyvų palyginimas**Fig. 6.** Comparison of alternatives for the Plunge WWTP

Atsižvelgiant į dumblo tvarkymo optimizavimą, dumblo šalinimo sumažinimas gali turėti didelės įtakos kontroliuojamo fosforo išgavimo pagrįstumui. Išgaunant fosforą susidarancio dumblo kiekį galima sumažinti 49 %. Nuotekų valymo įrenginiuose, kuriuose apdorojama 9226 m³/d nuotekų, dumblo šalinimo išlaidų sumažėjimas būtų reikšmingas.

Remiantis tirtų duomenų rinkiniu, vidutinė svertinė išleidžiamo fosforo kaina, priklausomai nuo išvalytų nuotekų kiekio, yra apie 0,218 Eur/m³. Jeigu manoma, kad Plungės nuotekų valykla į aplinką išleis fosforo, susidariusio iš 9226 m³/parą nuotekų, kuri veikia visą parą 365 dienas per metus, tuomet šesėlinė kaina, atsirandanti dėl jos valymo pajėgumų, yra (0,218 Eur/m³ * 9226 m³/ per parą * 365 d. per metus) = 734 113 Eur per metus.

Darbe analizuotos trys alternatyvos, ieškant patraukliausio fosforo išgavimo iš nuotekų technologijos varianto. Fosforo išgavimo iš nuotekų technologijų įvertinimas pateiktas 2 ir 3 lentelėse.

2 lentelė. Fosforo regeneravimo sąnaudų, naudos ir galimybių įvertinimas**Table 2.** Assessing the costs, benefits and opportunities of phosphorus recovery

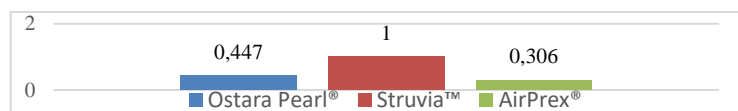
Fosforo nusodinimas <i>Phosphorus precipitation</i>	Vidurkis (€ per metus) <i>Average (€ per year)</i>
Nauda aplinkai nusodinant fosforą <i>Environmental benefits of phosphorus deposition</i>	734.113,00
Ostara Pearl proceso diegimo nuotekų valykloje sąnaudos ir nauda <i>Costs and benefits of introducing the Ostara Pearl process in a wastewater treatment plant</i>	-280.322,00
Struvia proceso diegimo nuotekų valykloje sąnaudų ir naudos <i>Costs and benefits of introducing the Struvia process in a wastewater treatment plant</i>	-78.083,00
AirPrex proceso diegimo nuotekų valykloje sąnaudos ir nauda <i>Costs and benefits of introducing the AirPrex process in the wastewater treatment plant</i>	-314.180,00

3 lentelė. Kriterijai, jų matavimo vienetai ir reikšmės**Table 3.** Criteria, their units of measurement and values

	Pavadinimas <i>Name</i>	Reikšmė <i>Value</i>	Balai <i>Scores</i>
1	Investicinės išlaidos <i>Investments costs</i>	-	0.4
2	Techninė priežiūra ir remontas <i>Maintenance and repairs</i>	-	0.2
3	Išlaidos reagentams <i>Reagents costs</i>	-	0.2
4	Elektros energijos išlaidos <i>Electricity costs</i>	-	0.2

Naudota daugiakriterinė analizės programa TOPSIS, kaip vienas iš analitinių metodų, kuri atsižvelgia į kiekvienos alternatyvos atstumą iki teigiamo geriausio rezultato, ir į kiekvienos alternatyvos atstumą iki neigiamo blogiausio rezultato. Šioje analizėje pasirinkti keturi kriterijai ir trys alternatyvos, kurios reitinguojamos, remiantis TOPSIS metodu (žr. 3 lentelę). Pirminiai duomenys – kriterijams priskiriami matavimo vienetai, + arba - reikšmės ir balai.

7 paveiksle pateikti alternatyvų reitingavimo rezultatai.



7 pav. Fosforo išgavimo alternatyvų palyginimas
Fig. 7. Comparison of phosphorus recovery alternatives

Vertinant fosforo įrenginių investicines, techninės priežiūros ir remonto bei elektros energijos išlaidas, taip pat išlaidas reagentams programos TOPSIS gautų rezultatų analizė parodė, kad patraukliausia alternatyva – Struvia™ technologija. Antroje vietoje yra Ostara Pearl®, o mažiausiai tinkanti alternatyva – AirPrex®.

Išvados

1. Plungės nuotekų valyklos išplėtimo galimybių ir numatomos pramonės plėtros regione perspektyvos analizė nustatė bendrą papildomų nuotekų debitą – 3078 m³/parą, kuris kartu su teršalų kiekių didėjimu diktuoja Plungės NV modernizavimo būtinybę didinant jos našumą nuo esamo 5890 m³/parą iki perspektyvinio – 9226 m³/parą.

2. Atlikus keturių Plungės NV rekonstravimo variantų palyginimą nustatyta, kad patraukliausia yra alternatyva Nr. 4. – InDense technologija, vertinant valyklos išvalymo efektyvumą, investicijų poreikį, eksploatacijos patikimumą, priežiūros ir kontrolės poreikį bei užimamą teritoriją.

3. Fosforo išgavimo iš nuotekų technologinių galimybių vertinimas parodė, kad visos trys siūlomos alternatyvos neperspektyvios, nes investicinės išlaidos fosforo regeneravimui iš nuotekų yra didelės, o šios veiklos pajamos nepadengia sąnaudų poreikio. Vertinant fosforo įrenginių investicines, techninės priežiūros ir remonto bei elektros energijos išlaidas, taip pat išlaidas reagentams iš trijų lygintų technologijų patraukliausia alternatyva yra Struvia™.

4. Atliktu tyrimu nustatyta, kad apskaičiuota bendra aplinkosauginė nauda, gaunama iš fosforo regeneravimo (valymo proceso metu pašalintų teršalų kiekis (kg/metus), išvalytų nuotekų kiekis (m³/metus) ir kiekvieno teršalo daromas neigiamas poveikis aplinkai), Plungės NV atveju būtų didesnė, naudojant fosforo išgavimo iš nuotekų valymo įrenginius, nei vykdant veiklą be šio proceso įdiegimo.

Literatūra

1. Nuotekų tvarkymo reglamentas. 2006. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.276576/asr> (žiūrėta 2024 03 06).
2. Estahbanati, M., Kumar, S., Khajvand, M., Drogui, P., Dayal, R. 2021. *Environmental Impacts of Recovery of Resources From Industrial Wastewater*. In *Biomass, biofuels, biochemicals* (pp. 121-162). Elsevier.
3. Obaideen, K., Shehata, N., Taha Sayed, N., Abdelkareem, M., Mohamed ir kt. 2022. The role of wastewater treatment in achieving sustainable development goals (SDGs) and sustainability guideline. *Energy Nexus*, Vol. 7, 100112.
4. Wardi, M., Slimini N., Alla A. A., Belmouden A. 2023. First study of the effect of wastewater treatment on microbial biodiversity at three wastewater treatment plants in Agadir, Morocco, using 16S rRNA sequencing. *Environmental Pollution*, Vol. 337, 122528.

FEASIBILITY ANALYSIS OF RECONSTRUCTION OF PLUNGĖ WASTEWATER TREATMENT PLANT

Summary

The analysis the feasibility of the Plungė wastewater treatment plant reconstruction, data on possible technological solutions were evaluated, changes in wastewater flows before and after reconstruction were determined, and possible upgrades were compared. The analysis of the expansion possibilities of the Plunge WWTP and the prospects for industrial development in the region identified the need to increase the capacity of the WWTP. A comparison of four options for the reconstruction of the Plunge WWTP identified the most attractive alternative in terms of treatment efficiency, investment needs, operational reliability, maintenance and control needs and land area.

The assessment of the technological feasibility of phosphorus recovery from wastewater showed that all three proposed alternatives are not viable, as the investment costs for phosphorus recovery from wastewater are high and the revenue from this activity does not cover the cost requirements. However, the overall environmental benefits of phosphorus recovery (the amount of pollutants removed in the treatment process (kg/year), the amount of wastewater treated (m³/year), and the negative environmental impacts of each pollutant) would be higher in the case of the Plungė WWTP with the use of a phosphorus recovery plant than without the implementation of the process. A comparison of the three options for the installation of the phosphate plant has identified the most attractive alternative in terms of investment costs for the phosphate plant, maintenance and repair costs, reagent costs and electricity costs.

Keywords: wastewater treatment plant, reconstruction, phosphorus recovery.