

Environmental engineering Aplinkos inžinerija

IŠVALYTŲ NUOTEKŲ ŠILUMOS ATGAVIMO NUOTEKŲ VALYKLOJE IR PANAUDOJIMO GRETIMAME OBJEKTE GALIMYBIŲ ANALIZĖ

Darjuš BOGDAN, Kęstutis ČIUPRINSKAS *

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva

Gauta 2022 m. birželio 27 d.; priimta 2022 m. liepos 4 d.

Santrauka. Straipsnyje analizuojamos šilumos atgavimo iš Vilniaus nuotekų valykloje išvalytų nuotekų bei jos panaudojimo netoliese esančio stambaus objekto šilumos poreikiams tenkinti galimybės. Darbe nustatomi valykloje išvalytų nuotekų temperatūros ir debito svyravimai ir teorinis atliekinės šilumos potencialas. Apskaičiuojami prekybos paskirties pastato šilumos poreikiai. Remiantis šiais duomenimis nustatomi šilumos siurblio, naudojančio išvalytas nuotekas, šiluminiai parametrai ir sudaromas sistemos skaitmeninis modelis kompiuterinėje programoje bei įvertinamas pastato aprūpinimas šiluma.

Reikšminiai žodžiai: atsinaujinantys energijos ištekliai, nuotekų valykla, šilumos siurblys, šilumos energija, prekybos paskirties pastatas, *EnergyPRO*.

Įvadas

Apie 40 % miestuose pagamintos šilumos yra išleidžiama į nuotakyną kartu su panaudotu vandeniu (Hepbasli et al., 2014). Priklausomai nuo vandens panaudojimo, nuotekų temperatūra svyruoja nuo 10 °C iki 40 °C (Somogyi et al., 2018), todėl nuotekos, atitekančios į nuotekų valyklą, turi reikšmingą energinį potencialą, tačiau yra išvalomos ir išleidžiamos į gamtinį priimtuvą be papildomo apdorojimo. Šio straipsnio tikslas yra atlikti Vilniaus nuotekų valykloje išvalytų nuotekų šilumos panaudojimo galimybių analizę ir įvertinti, ar panaudojus išvalytų nuotekų šilumą šilumos siurblyje galima užtikrinti prekybos paskirties pastato šilumos energijos poreikį.

1. Tyrimo objektai

Darbo tyrimui atlikti pasirinkta didžiausia Lietuvoje – Vilniaus miesto nuotekų valykla. Visos Vilniaus mieste susidaranti nuotekos surenkamos ir transportuojamos iki nuotekų valyklos, kur yra išvalomos mechaniniu ir biologiniu būdu. Nuotekų valykla yra Vilniaus m., Titnago g. 74. Šalia nuotekų valyklos nėra gyvenamosios paskirties teritorijų, šiaurės, rytų kryptimis aplink nuotekų valyklą yra miškai ir Neries upė, o vakarų ir pietų kryptimis ribojasi su Panerių girininkijos mišku. Aprūpinimo šiluma objektu pasirinktas artimiausias šilumos vartotojas –

prekybos paskirties pastatas – parduotuvė „DEPO“, kurios sklypas nutolęs apie 2 km pietryčių kryptimi. Pastato šildomasis plotas – 19087 m², tūris – 190105 m³. Pastatas yra 2018 metų statybos, B energinio naudingumo klasės. Pastatas šiluma aprūpinamas iš miesto centralizuoto šilumos tiekimo tinklų, kurių magistralė nutiesta Oslo gatvės infrastruktūros koridoriuje. Parduotuvė darbo dienomis dirba nuo 8 val. iki 21 val., šeštadienį – nuo 8 val. iki 20 val., o sekmadieniais nuo 9 val. iki 18 val.

2. Tyrimo metodika

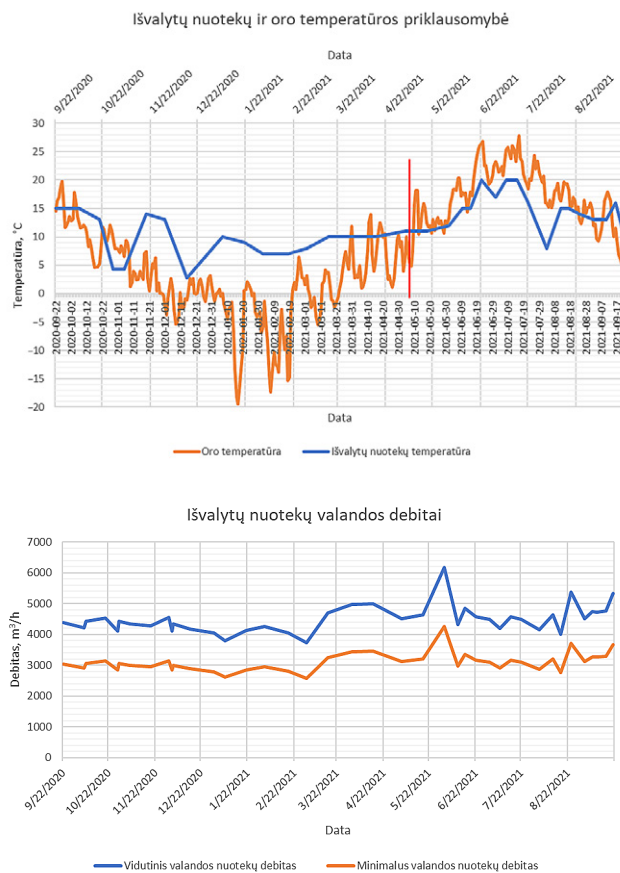
Tyrimas grindžiamas UAB „Vilniaus vandenys“ parengtų ataskaitų duomenimis apie išvalytų nuotekų debitą ir temperatūrą Vilniaus nuotekų valykloje bei apskaičiuotais „DEPO“ parduotuvės šilumos poreikiais. Išvalytų nuotekų šilumos potencialas nustatomas esant skirtingiems temperatūrų skirtumams. Kiekvienu atveju atliekami šilumos siurblio darbo ciklo skaičiavimai, kurių rezultatai naudojami sudarytame programinės įrangos *EnergyPRO* modelyje. Šiuo modeliu patikrinama, ar šilumos siurblys sugebės užtikrinti nagrinėjamo pastato šilumos poreikį, kokia bus jo veikimo trukmė bei elektros energijos poreikis. Norminiai šilumos poreikiai „DEPO“ pastatui šildyti apskaičiuojami remiantis 2018-02-28 išduotu pastato energinio naudingumo sertifikatu. Nustatytas pastato šildymo energijos

*Autorius susirašinėti. El. paštas kestutis.ciuprinskas@vilniustech.lt

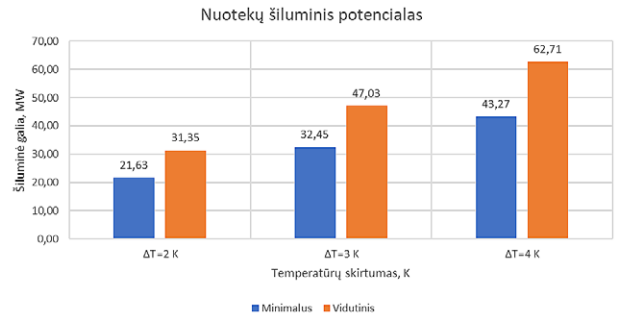
3. Rezultatai

Pastato aprūpinimas šiluma modeliuojamas laikotarpiu nuo 2020 metų rugsėjo 22 d. iki 2021 metų rugsėjo 21 d. Išvalytų nuotekų ir lauko oro temperatūros pokytis bei debitas nagrinėjamoju laikotarpiu pateikiamas 2 pav.

Iš 2 pav. grafiko matyti, kad išvalytų nuotekų temperatūra nagrinėjamoju laikotarpiu svyravo nuo ~3 °C iki ~20 °C. Grafike matyti, kad nuotekų temperatūra šiek tiek priklauso nuo lauko oro temperatūros, tačiau ji nenukrenta žemiau nei 7 °C. Kaip matome 2 pav. apatiniame grafike, priklausomai nuo paros debito svyruoja ir vidutinis bei minimalus valandos išvalytų nuotekų debitas. Pastarasis nagrinėjamoju laikotarpiu išsilaiko apie 3000 m³/h. Mažiausias išvalytų nuotekų debitas, nustatytas kovo 2 d., siekė 2577 m³/h.



2 paveikslas. Išvalytų nuotekų ir lauko oro temperatūros priklausomybė ir išvalytų nuotekų valandos debitas
Figure 2. Treated wastewater temperature dependence from outdoor temperature



3 paveikslas. Nuotekų šiluminio potencialo priklausomybė nuo nuotekų temperatūros sumažėjimo šilumos siurblyje
Figure 3. Dependence of treated wastewater heat potential from temperature drop of wastewater

Remiantis šiais duomenimis nustatytas Vilniaus nuotekų valykloje išvalomų nuotekų šiluminis potencialas, esant skirtingiems temperatūrų skirtumams ir minimaliam bei vidutiniam debitui. Šie rezultatai pateikiami 3 pav.

3 pav. matyti, kad didėjant nuotekų temperatūrų skirtumui prieš šilumos atgavimo procesą ir po jo, proporcingai didėja ir šiluminis nuotekų potencialas. Esant minimaliam valandos nuotekų debitui ~2577 m³/h ir ΔT = 2 °C, šilumos potencialas lygus 21,63 MW, o padidinus temperatūrų skirtumą dvigubai padvigubėja ir teorinis šiluminis potencialas iki 43,27 MW.

Nustatyti metiniai parduotuvės „DEPO“ šilumos poreikiai:

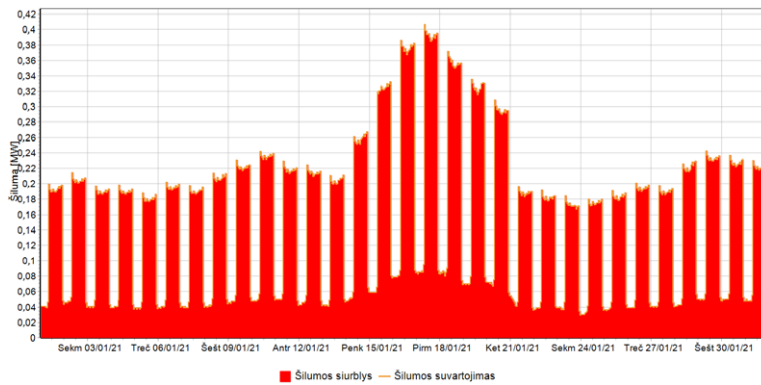
- Patalpų šildymui – 180 MWh/metus.
- Vėdinimo sistemai – 386 MWh/metus.
- Karštam vandeniui ruošti – 34 MWh/metus.

Pastato šildymo šiluminė galia nustatyta naudojant EnergyPRO programą, ji yra lygi ~400 kW. Remiantis turimais duomenimis, apskaičiuoti šilumos siurblio, kuris galėtų pastatą aprūpinti šilumos energija, parametrai. Tokio šilumos siurblio techniniai parametrai pateikiami 1 lentelėje.

Apskaičiuoto šilumos siurblio šiluminė galia – 400 kW, kompresoriui reikalinga elektros energijos galia – 140,11 kW. Šilumos siurblio naudingumo koeficientas (COP) šiuo atveju lygus 2,85. Šie parametrai suvedami į EnergyPRO programoje sudaryto modelio šilumos siurblio lentelę ir tikrinami, ar tikrai toks šilumos siurblys užtikrins pastato šilumos poreikius. Nustatytas minimalus reikalingas išvalytų nuotekų debitas yra lygus 55,66 m³/h. Minimalus valandos nuotekų debitas, nustatytas matavimais, yra 2577 m³/h, ir jis viršija minimalų poreikį 46 kartus.

1 lentelė. Reikiami šilumos siurblio techniniai parametrai
Table 1. Required technical parameters of heat pump

Šilumos srautas kondensatoriuje, kW	Šilumos srautas garintuve, kW	Kompresoriui reikalinga galia, kW	Refrižeranto debitas, kg/s	Išvalytų nuotekų debitas, kg/s	Šilumnešio (vandens) debitas, kg/s	COP
400,00	259,89	140,11	2,93	15,46	4,79	2,85



4 paveikslas. Sausio mėnesio šilumos poreikių ir gamybos kreivė
Figure 4. Heat needs and production in January

2 lentelė. Mėnesinis energijos transformavimas
Table 2. Monthly energy transformation

	Iš viso	Sau	Vas	Kov	Bal	Geg	Bir	Lie	Rugp	Rug	Spal	Lap	Grd
Šilumos poreikis [MWh]	599,7	115,8	113,6	88,1	62	11,5	2,8	2,9	2,9	2,8	30,1	71	96,3
Šilumos siurblio šilumos gamyba [MWh]	599,7	115,8	113,6	88,1	62	11,5	2,8	2,9	2,9	2,8	30,1	71	96,3
Šilumos siurblio suvartota elektra [MWh]	210,4	40,6	39,8	30,9	21,8	4,1	1	1	1	1	10,5	24,9	33,8
Įsijungimai	163	0	0	0	0	26	30	31	31	30	15	0	0
Veikimo valandos	7464	744	672	744	720	536	480	496	496	480	632	720	744
Visu apkrovimu veikimo valandos	1503	290	285	221	156	29	7	7	7	7	75	178	241

EnergyPRO programa sudarytas metinis pastato šilumos gamybos ir vartojimo grafikas, o 4 pav. pateikiamas didžiausio šilumos suvartojimo mėnesio šilumos poreikių ir gamybos grafikas.

Kaip matome iš 4 pav., didžiausias sausio mėnesio šilumos suvartojimas yra mėnesio viduryje ir siekia ~400 kW, bendras šilumos poreikis sausio mėnesį siekia ~116 MWh. Šilumos poreikis svyruoja priklausomai nuo lauko oro temperatūros, šildymo ir vėdinimo sistemų darbo režimo bei karšto vandens vartojimo. 4 pav. taip pat matome, kad visą šilumos poreikį padengia apskaičiuotas šilumos siurblys, kurio visų metų mėnesiniai veikimo duomenys pateikti 2 lentelėje.

Kaip matyti iš 2 lentelės, bendras pastato metinis šilumos poreikis lygus ~600 MWh, mėnesinis maksimalus poreikis pastebimas sausį ir yra lygus 115,8 MWh. Mažiausi šilumos poreikiai yra vasaros sezono metu, kai šiluma naudojama tik karštam vandeniui ruošti, šis poreikis lygus ~3 MWh. Sprendžiant iš šios suvestinės, bendras šilumos siurblio suvartotas elektros energijos kiekis yra 210,4 MWh. Nulinis šilumos siurblio įsijungimų skaičius parodo, kad šildymo sezono metu šilumos siurblys dirba pastoviai, daline arba visa apkrova. Iš viso per metus šilumos siurblys veikia 7464 valandas, o visu apkrovimu veikia apytiksliai 20 proc. šio laiko, t. y. 1503 val.

Išvados

1. Laikotarpiu nuo 2020 metų rugsėjo 22 d. iki 2021 metų rugsėjo 21 d. Vilniaus miesto nuotekų valykloje išvalytų nuotekų temperatūra siekė 7–20 °C, o minimalus išvalytų nuotekų valandos debitas lygus 2577 m³/h. Teorinis išvalytų nuotekų šilumos potencialas lygus 43,27 MW.
2. Nustatytas šilumos siurblio, naudojančio išvalytas nuotekas kaip šilumos šaltinį tiriamo pastato šilumai aprūpinti, COP lygus 2,85.
3. Atlikus modeliavimą naudojant *EnergyPRO* kompiuterinę įrangą nustatyta, kad 400 kW šiluminės galios šilumos siurblys visiškai aprūpintų pastatą šilumos energija, t. y. šilumos siurblys per metus pagamintų 600 MWh šilumos ir suvartotų 210 MWh elektros.

Literatūra

- EMD International. (2022). *EnergyPRO software*.
<https://www.emd-international.com/energypro/>
- Hepbasli, A., Biyik, E., Ekren, O., Gunerhan, H., & Araz, M. (2014). A key review of wastewater source heat pump (WWSHP) systems. *Energy Conversion and Management*, 88, 700–722. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.08.065>
- Lietuvos Respublikos ūkio ministerija. (2017). *Įsakymas „Dėl Pastatų karšto vandens sistemų įrengimo taisyklių patvirtinimo“* (2017, liepos 19, Nr. 1-196). <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/e678baa26cbd11e7aefae747e4b63286?jfwid=bkaxkxli>

- Popiel, C. O., & Wojtkowiak, J. (1998). Simple formulas for thermophysical properties of liquid water for heat transfer calculations (from 0°C to 150°C). *Heat Transfer Engineering*, 19(3), 87–101. <https://doi.org/10.1080/01457639808939929>
- Rogoža, A., Šiupšinskas, G., & Bielskus, J. (2021). Case analysis of heat pump integration in district heating system. *Mokslas – Lietuvos ateitis / Science – Future of Lithuania*, 13, 1–6. <https://doi.org/10.3846/mla.2021.15272>
- Somogyi, V., Sebestyén, V., & Domokos, E. (2018). Assessment of wastewater heat potential for district heating in Hungary. *Energy*, 163, 712–721. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.07.157>

FEASIBILITY STUDY OF HEAT RECOVERY FORM TREATED WASTEWATER IN WASTEWATER TREATMENT PLANT AND USE IT IN NEARBY OBJECT

D. Bogdan, K. Čiuprinskas

Abstract

Nowadays, the supply of energy from renewable energy sources is important in the energy sector of every country, so it is necessary to pay attention to alternative sources with thermal potential. The aim of this article is to perform an analysis of the possibilities of using heat from the wastewater treated at the Vilnius wastewater treatment plant. The work determines the temperature and flow fluctuations of the wastewater treated in the treatment plant, the theoretical heat potential. The heat demand of a commercial building is calculated. Based on these data, the parameters of a heat pump using treated wastewater are determined and a system model is created in a energy simulation software and the heat supply of the building is estimated.

Keywords: renewable energy sources, wastewater treatment plant, heat pump, thermal energy, commercial building, EnergyPRO.