

Environmental engineering Aplinkos inžinerija

GAMTINIŲ DUJŲ MAGISTRALINIO DUJOTIEKIO SKIRSTYMO STOTIES ENERGIJOS EFEKTYVUMO DIDINIMO BEI IŠMETAMŲJŲ TERŠALŲ MAŽINIMO BŪDŲ TYRIMAS

Rapolas TUČKUS, Artur ROGOŽA*

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva

Gauta 2023 m. birželio 26 d.; priimta 2023 m. liepos 3 d.

Santrauka. Pasaulinė energetikos krizė, didėjantis energijos poreikis bei klimato atšilimas įpareigoja ieškoti būdų, kaip atgauti naudingai nepanaudojamą energiją, sumažinti pirminės ir galutinės energijos suvartojimą bei sumažinti išmetamųjų teršalų kiekį. Svarbi Lietuvos energetikos sektoriaus dalis yra gamtinių dujų sektorius ir jo perdavimo tinklas, įskaitant ir dujų skirstymo stotis (DSS). DSS yra neišnaudojamas energijos atgavimo galimybių potencialas, nes dujų slėgis yra mažinamas naudojant dujų slėgio reguliatorius, kai potenciali energija, esanti aukšto slėgio dujose, nėra naudingai panaudojama, o būtinas gamtinių dujų pašildymas vykdomas panaudojant gamtinių dujų katilus, kurie papildomai teršia aplinką. Remiantis atlikta literatūros apžvalga, yra pasirenkami alternatyvūs technologiniai sprendiniai: turbina-ekspanderis, dujų pašildymo sistemos keitimas iš dujinių katilų į geoterminį šilumos siurblių, saulės kolektorių, fotovoltinių saulės elementų panaudojimas. Siekiant įvertinti DSS efektyvumo didinimo bei išmetamųjų teršalų mažinimo technologinių sprendinių potencialą, yra atliekama pasiūlytų sprendinių daugiakriterė analizė, kai vertinamos priemonės yra analizuojamos energiniu, ekonominiu ir aplinkosauginiu būdais. Energinio vertinimo metu yra atliekama energijos suvartojimo analizė, ekonominio vertinimo metu kiekvienam sprendimui skaičiuojama investicijų grynoji dabartinė vertė (GDV), o aplinkosauginio vertinimo metu tiriamas pasiūlytų priemonių poveikis aplinkai per savo gyvavimo ciklą. Pagal daugiakriterės analizės metu gautus rezultatus yra rekomenduojamos geriausiai tiriamajam objektui – DSS tinkamos sistemos.

Reikšminiai žodžiai: daugiakriterė analizė, dujų skirstymo stotis, dujų slėgio reguliatorius, fotovoltiniai saulės elementai, gamtinės dujos, perdavimo tinklas, saulės kolektoriai, šilumos siurblys, turbina-ekspanderis.

Įvadas

Pastaraisiais metais energijos vartojimo efektyvumo didinimas Europoje tapo vis svarbesnis dėl įvairių veiksnių, įskaitant didėjančias energijos kainas, susirūpinimą dėl energetinio saugumo ir vis labiau pripažįstamą būtinybę skubiai spręsti klimato kaitos problemas. Reaguojant į šias tendencijas, įvykdyta nemažai institucinių reformų, kuriomis siekiama skatinti energijos vartojimo efektyvumą, įskaitant ES Energijos vartojimo efektyvumo direktyvą (European Parliament and the Council, 2012), kurioje nustatyti privalomi energijos vartojimo mažinimo tikslai, ir įvairias nacionalines bei privačias iniciatyvas (Amber Grid, 2023; Lietuvos Respublikos Seimas, 2018, 2020), kuriomis siekiama skatinti efektyvaus energijos vartojimo praktiką pastatuose, transporte ir pramonėje. Svarbi Lietuvos energetikos sektoriaus dalis yra gamtinių dujų sektorius ir jo perdavimo tinklas, įskaitant ir dujų skirstymo stotis (DSS). DSS yra neišnaudojamas energijos atgavimo ga-

limybių potencialas, nes dujų slėgis yra mažinamas naudojant dujų slėgio reguliatorius, kai potenciali energija, esanti aukšto slėgio dujose, nėra naudingai panaudojama, o būtinas gamtinių dujų pašildymas vykdomas panaudojant gamtinių dujų katilus, kurie papildomai teršia aplinką.

Apie DSS slėgio mažinimo proceso metu galimybę atgauti energiją, naudojant turboekspanderius (TE), atlikta gana daug tyrimų (Jedlikowski et al., 2020; Khanmohammedi & Saadat-Targhi, 2019). Taip pat šie prietaisai yra naudojami ir analizuojami kitų šalių DSS, tiriami jų ir izentalpiškai veikiančių slėgio reguliatorių skirtumai. Atlikę šiuos tyrimus, autoriai pastebėjo, kad DSS slėgio mažinimo mazgai su įrengtu TE yra jautrūs ir netinkami daug kintančių sezoninių stoties savybių (pvz., srauto, slėgio) stotyse. Taip pat dauguma autorių pažymi didesnę temperatūros kritimą naudojant sistemas su įrengtais TE (0,45–0,6 °C/bar naudojant įprastus slėgio reguliatorius, o naudojant TE gali siekti 1,5–2 °C/bar) (Poživil, 2004).

*Autorius susirašinėti. El. paštas artur.rogoza@vilniustech.lt

Naudojant įprastus slėgio mažinimo būdus (slėgio reguliatorius) bei alternatyvas (turbina-ekspanderį), dujas reikia papildomai pašildyti, kad būtų išvengta hidratų kristalų susidarymo, bei užtikrinti tinkamą įrangos veikimą. Dauguma DSS yra panašūs savo sandara ir veikimo principu, jose yra naudojami dujiniai katilai, kurie pašildo dujas, prieš joms patenkant į slėgio mažinimo įrenginius ir dėl Džaulio–Tompsono efekto mažėjant dujų temperatūrai iki 3 °C.

Dalyje publikuotų tyrimų nagrinėjamos kelios įprasto dujų šaltinio alternatyvos. Ghezlbash et al. (2015) nagrinėjo grūntinį šilumos siurblių (kai elektra tiekama iš tinklo / iš ekspanderio) kaip vieną alternatyvų modernizuojant DSS. Viename iš tyrimų, siekiant pakeisti šilumos šaltinį (gamtinių dujų katilą) ir sumažinti dujoms pašildyti sunaudojamą dujų kiekį, buvo pasiūlyta lygiagrečių saulės kolektorių sistema su akumuliacine šilumos talpa ir turbina-ekspanderiu kaip energijos atgavimo sistema (Farzaneh-Gord et al., 2014; Arabkoohsar et al., 2015). Kitame tyrime buvo atliktas fotovoltinės saulės elektrinės (angl. *photovoltaic* – PV) ir suspausto oro energijos saugyklos vertinimas energiniu ir ekonominiu požiūriais (Arabkoohsar et al., 2016) bei koncentruotos saulės elektrinės panaudojimo DSS dujoms pašildyti sistemos energinis ir aplinkosauginis tyrimas.

Remiantis (Arabkoohsar et al., 2015; Danieli et al., 2020; Farzaneh-Gord et al., 2014; Ghezlbash et al., 2015; Kostowski, 2010; Osiadacz, 2018; Poživil, 2004; Prieskienis, 2015; Rahman, 2010, 2011; Taheri Seresht et al., 2010; Ipieca, 2013) tyrimų rezultatais, pastebėta, kad DSS yra nepanaudoto energijos atgavimo potencialo, o dujų pašildymas gali būti vykdomas kitais, alternatyviais šaltiniais. Anksčiau cituojamuose tyrimuose buvo nagrinėjamos pavienės arba tik kelios technologijos, jos nebuvo lyginamos tarpusavyje, sprendimai nagrinėjami tik vienu arba dvejais iš trijų (energinio, ekonominio, ekologinio) kriterijų, be to, tyrimai atlikti ne Lietuvos DSS. Šiame tyrime yra atliekama daugiakriterė DSS dujų pašildymo ir slėgio mažinimo būdų analizė, kai priemonės yra lyginamos tarpusavyje vertinant visus 3E kriterijus.

Darbo tikslas – išnagrinėti DSS struktūrą ir jos funkcionavimą, nustatyti procesus, kuriuose nėra išnaudojama potenciali (atliekinė) energija ir teršiama aplinka, bei pasiūlyti efektyvumo didinimo sprendimus, pagrįstus energiniais, ekonominiais ir ekologiniais kriterijais.

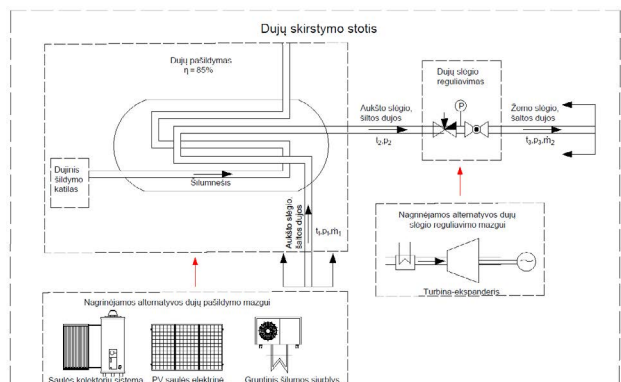
1. Nagrinėjamas objektas, jo funkcijos ir surinkti duomenys

Lietuvos dujų perdavimo sistemoje veikia 64 DSS. Pagrindinė DSS paskirtis – dujų apskaita bei dujų slėgio mažinimas iki slėgio, reikalingo sistemos naudotojui (Gamtinių dujų perdavimo sistemos operatorius, 2023). Dauguma Lietuvos perdavimo tinkle esančių DSS yra naujos statybos arba jau rekonstruotos, o jų sandara yra panaši arba vienoda. Todėl tyrimo metu buvo surinkti naujos statybos

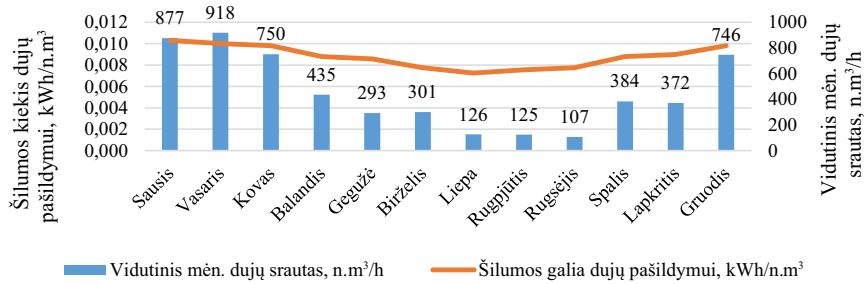
DSS duomenys, kurie buvo naudojami tolesniems skaičiavimams:

- Vidutinis dujų srautas (n.m³/h): projektinis 10÷5000 n.m³/h; realus 107÷918 n.m³/h.
- Dujų temperatūra įėjime į DSS: projektinė +2 °C ÷ +10 °C; reali +5 °C ÷ +11 °C.
- Dujų slėgis įėjime į DSS: projektinis 20÷55 bar; realus 39÷41 bar.
- Dujų temperatūra išėjime iš DSS: projektinė +3 °C ÷ +7 °C; reali +3 °C.
- Dujų slėgis išėjime iš DSS: projektinis 3÷16 bar; realus 3 bar.
- Plotas (stogo plotas): ≈ 50 m².

Tyrimo metu pastebėta, kad dujų filtravimo vietoje dujų slėgio sumažėjimas viso objekto mastu yra nedidelis (tiek šioje, tiek kitose DSS įprastas slėgio perkrytis švairiuose filtruose neviršija 0,5 bar). Kitoje sistemos dalyje, apskaitos mazge, tokio dydžio stotyse dažniausiai naudojami turbininiai arba rotaciniai dujų skaitikliai, tačiau šių apskaitos prietaisų reikšmė energijos kitimui yra palyginti nedidelė (pagal vieną populiariausių gamintojų, turbininio skaitiklio dujų slėgio nuostoliai neviršija 17,3 mbar (Natural Gas Solutions North America, 2022b), o rotacinio skaitiklio – neviršija 4,97 mbar (Natural Gas Solutions North America, 2022a). Taip pat ir DSS sistemos pabaigoje, esančioje odoravimo sistemoje, kai į tekančias dujas yra dozuojaama speciali, kvapą suteikianti medžiaga-odorantas, masės ir energijos pokytis dujose yra nežymus (odoravimo norma yra 16 g odoranto 1000 m³ dujų (Lietuvos Respublikos ūkio ministerija, 2014). Dėl šių priežasčių daroma prielaida, kad dujų filtravimo, apskaitos ir odoravimo sistemų poveikis DSS masės ir energijos balansui yra nežymus, todėl tyrimo metu objekto ribos yra perkeliamos ir nagrinėjamos tik dujų pašildymo ir slėgio reguliavimo sistemose. Tyrimui atlikti naudojama supaprastinta DSS schema, kartu su pagrindiniais rodikliais ir siūlomomis alternatyvomis pavaizduota 1 pav.



1 paveikslas. Supaprastinta DSS schema, pagrindiniai jos veikimo rodikliai ir siūlomos alternatyvos
Figure 1. A simplified scheme of the gas distribution station (GDS), its main performance indicators and proposed alternatives



2 paveikslas. Mėnesiniai DSS dujų srautai ir apskaičiuotos šilumos sąnaudos dujų pašildymui
Figure 2. Monthly GDS gas flows and estimated heat consumption for gas heating

Nagrinėjami trys alternatyvūs dujų pašildymo šaltiniai: saulės kolektorių sistema (SK), PV saulės elektrinė su elektriniu šildytuvu (PV), gruntinis šilumos siurblys (GŠS) ir viena alternatyva dujų slėgiui reguliuoti – dujų turbina-ekspanderis (TE). Skaičiavimai atlikti šių alternatyvų deriniams: TE+GŠS; TE+PV; GŠS+PV; TE+GŠS+PV; TE+SK; TE+GŠS+SK.

2. Šilumos poreikio dujų pašildymui skaičiavimas

Pagal surinktus duomenis (dujų srautą, dujų slėgius prieš reguliatorių ir po jo) yra skaičiuojamas šilumos kiekis (1), reikalingas dujoms pašildyti:

$$G = \frac{B \cdot \Delta t \cdot C_p \cdot \rho \cdot k}{3,6}, W, \quad (1)$$

čia B – dujų srautas, $n.m^3/h$; $C_p = 2,25 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ – dujų savitoji šiluma; $\rho = 0,73 \text{ kg/m}^3$ – dujų tankis; $k = 1,05$ koeficientas, įvertinantis šildytuvo užteršimą; Δt – skirtuminė dujų temperatūra šildytuve (2), $^{\circ}\text{C}$.

$$\Delta t = (p_1 - p_2) \cdot \mu + (t_{i\ddot{s}} - t_{min}), ^{\circ}\text{C}, \quad (2)$$

čia p_1 – dujų slėgis prieš reguliatorių, bar; p_2 – dujų slėgis po reguliatoriaus, bar; $\mu = 0,6 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{bar}$ Džaulio–Tomsono koeficientas; $t_{i\ddot{s}}$ – dujų temperatūra išėjime iš DSS, $^{\circ}\text{C}$; t_{min} – minimali dujų temperatūra įėjime į DSS, $^{\circ}\text{C}$.

Tiriamąjį objekto dujų srautai bei apskaičiuotas šilumos poreikis dujų pašildymui pavaizduoti (2 pav.).

Gauti mėnesiniai šilumos kiekiai, reikalingi DSS dujoms pašildyti be įrengtų alternatyvų. Įrengus alternatyvą dujų slėgio reguliatoriui (TE), šilumos kiekiai turi būti perskaiciuojami.

3. Daugiakriteris alternatyvų vertinimas

Atliekant daugiakriterę DSS alternatyvų analizę atsižvelgiama į energetinius, ekologinius ir ekonominius rodi-

klius. Energetinis kriterijus vertina tiriamojo objekto energijos suvartojimą / gamybą, ekologinis kriterijus apima poveikį aplinkai pagal gyvavimo ciklo analizę (GCA), ekonominis kriterijus apima sąnaudų rodiklius (kapitalo investicijas, veiklos sąnaudas, galimas pajamas, išreiškiamas grynosios dabartinės vertės (GDV) dydžiu). Visi šie kriterijai daugiakriterėje analizėje pateikiami 1 n.m^3 per DSS tekančių dujų (3 pav.).

Nustačius atskirų sprendinių visus minėtus kriterijus bei suteikus jiems svarbos koeficientus, galima įvertinti įvairių DSS alternatyvų įgyvendinamumą ir tvarumą bei pasirinkti numatytus tikslus geriausiai atitinkantį variantą. Šio vertinimo metu nuspręsta, kad visi trys kriterijai yra lygiaverčiai, t. y. jiems suteikiamas vienodas svarbos koeficientas 0,3. Taip pat atsižvelgta, kad du kriterijai (energinis ir ekologinis) yra geriausi, kai yra mažiausi, o trečias (GDV) – didžiausias, todėl daugiakriterio vertinimo santykinis rodiklis skaičiuojamas pagal (3) formulę:

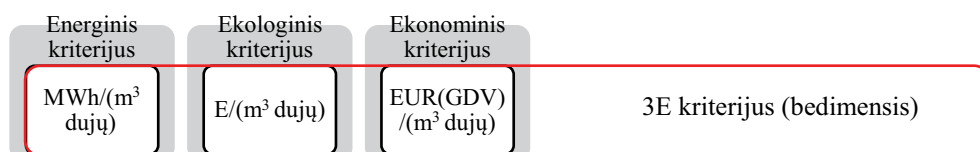
$$3E \text{ kriterijus (bedimensis)} = 0,3(EUR(GDV)/(m^3 \text{ dujų})) - 0,3(MWh/(m^3 \text{ dujų})) - 0,3(E/(m^3 \text{ dujų})), \quad (3)$$

čia $EUR(GDV)/(m^3 \text{ dujų})$ – ekonominio vertinimo kriterijaus santykinis dydis; $MWh/(m^3 \text{ dujų})$ – energinio vertinimo kriterijaus santykinis dydis; $E/(m^3 \text{ dujų})$ – ekologinio vertinimo kriterijaus santykinis dydis.

Pagal šią skaičiavimo metodiką sprendimai, kurių bedimensis 3E kriterijus yra didžiausias, yra geriausi, bendrai vertinant juos pagal visus tris vertinimo kriterijus.

3.1. Energinio kriterijaus skaičiavimas

Energinis kriterijus vertina tiriamojo objekto energijos (elektros, dujų) suvartojimą, kai stotyje yra įrengiamos siūlomos alternatyvos. Šiam kriterijui išreikšti yra pasirinktas energijos suvartojimas DSS dujoms pašildyti ($\text{kWh}/\text{n.m}^3$). Kai kurių sprendimų skaičiavimo atveju tyrime taikoma



3 paveikslas. Daugiakriterio vertinimo principas
Figure 3. The principle of multi-criteria evaluation

sistema tampa nebe energiją naudojančiu, bet energiją gaminančiu objektu, todėl funkcinis dydis gaunamas neigiamas. Visų siūlomų įrenginių energinio kriterijaus skaičiavimo metodika pateikta toliau (3.1.1 poskyris).

3.1.1. Siūlomų alternatyvų energinio skaičiavimo metodika

Pagal (Danieli et al., 2020) pateiktą (4) formulę yra atliekami pirmos alternatyvos – dujų ekspanderio energiniai skaičiavimai:

$$E_{el,exp} = \dot{m}_{step} \cdot \Delta h_{is,step} \cdot \eta_{is,step} \cdot \Delta t_{step} \cdot \eta_{el}, \text{ kWh}, \quad (4)$$

čia $E_{el,exp}$ – ekspanderio pagaminamas elektros kiekis, kWh; \dot{m}_{step} – masinis dujų srautas, kg/s; $\Delta h_{is,step}$ – izentropinis entalpijos skirtumas prieš ekspanderį ir po jo, kJ/kg; $\eta_{is,step}$ – izentropinis turbinos efektyvumas, vieneto dalys; $\eta_{el} = 0,9$ – elektros generatoriaus efektyvumas, vieneto dalys; Δt_{step} – ekspanderio veikimo laikas, h.

TE gamtinių dujų temperatūrą sumažina daug labiau nei dujų slėgio reguliatorius (droselinis vožtuvas), nes TE slėgio mažinimo proceso metu vyksta adiabatinis plėtimasis, kuris sumažina dujų temperatūrą dėl šiluminės energijos pavertimo kinetine energija, o įprastai naudojamuose slėgio reguliatoriuose vyksta izoentalpinis procesas, dėl kurio temperatūra taip smarkiai nepasikeičia. Dėl šios priežasties ekspanderio veikimo metu dujos atšąla labiau negu naudojant slėgio reguliatorių, todėl jas reikia papildomai pašildyti, kad jų temperatūra išėjime nebūtų žemesnė nei 3 °C. Todėl atliekant skaičiavimus su įrengtu TE, šilumos kiekis, reikalingas dujoms pašildyti, perskaičiuojamas pagal (1) formulę, tačiau Džaulio–Tomsono koeficientą pasirenkant $\mu = 1,5$ °C/bar vietoje slėgio reguliatoriams įprasto $\mu = 0,6$ °C/bar (Prieskienis, 2015).

Priimta, kad skaičiavimai atliekami su vienos pakopos, radialinio tipo TE, kurio projektinis efektyvumas yra lygus 0,85. Verta pažymėti, kad TE efektyvumas kinta priklausomai nuo išsiplėtimo santykio (r_{dp}) bei nuo srauto. Šio tyrimo atveju, pagal statistinius duomenis, išsiplėtimo santykis yra beveik pastovus ($r_{dp} \approx 13,0 \div 13,7$), todėl efektyvumas dėl išsiplėtimo slėgio santykio pokyčio nevertinamas. Ekspanderio efektyvumas dėl srauto pokyčio vertinamas pagal (Danieli et al., 2020) tyrime pateiktą priklausomybę ir laikoma, kad maksimalus efektyvumas (0,85) yra esant 500 n.m³/h, jis svyruoja nuo 0,51 iki 0,85 (1 lentelė).

Dujų pašildymo alternatyvų (GŠS, PV ir SK) modeliavimas atliekamas naudojant „EnergyPro“ programinę

1 lentelė. TE efektyvumo priklausomybės nuo srauto ir slėgio santykio r_{dp}
Table 1. Turbo expander efficiency dependence on flow and pressure ratio r_{dp}

Mėnuo	Vidutinis mėn. dujų srautas, n.m ³ /h	r_{dp}	m/m_{dp}	η_{is}	η_{el}
Sausis	877	13,3	1,75	0,85	0,9
Vasaris	918	13,0	1,84	0,85	0,9
Kovas	750	13,3	1,50	0,85	0,9
Balandis	435	13,3	0,87	0,84	0,9
Gegužė	293	13,7	0,59	0,82	0,9
Birželis	301	13,3	0,60	0,83	0,9
Liepa	126	13,3	0,25	0,51	0,9
Rugpjūtis	125	13,7	0,25	0,51	0,9
Rugsėjis	107	13,3	0,21	0,51	0,9
Spalis	384	13,3	0,77	0,83	0,9
Lapkritis	372	13,0	0,74	0,83	0,9
Gruodis	746	13,3	1,49	0,85	0,9

įrangą (EMD International, 2017), kur įvedami baziniai aplinkos duomenys (metinis saulės spinduliuotės intensyvumas, lauko oro temperatūra, grunto temperatūra), pagal turimus techninius duomenis sudaroma sistemos schema ir suskaičiuojamas pagamintas šilumos kiekis bei elektros sąnaudos. Atlikus analizę paaiškėjo, kad šilumos poreikis gamtinėms dujoms, tiekiamoms per DSS naudojant TE technologiją, šildyti yra 106,34 MWh per metus. Tačiau šilumos poreikis alternatyvoms, kuriose nenaudojama TE technologija, yra tik 37,01 MWh per metus tam pačiam dujų kiekiui pašildyti. Taigi TE technologija gerokai padidina šilumos poreikį, reikalingą per DSS tekančioms gamtinėms dujoms šildyti, o šie suskaičiuoti poreikiai yra naudojami kaip įvesties duomenys vertinant energinį kriterijų. Visų alternatyvų įvesties duomenys ir veikimo apibūdinimai pateikti 2 lentelėje.

Skaičiavimų metu numatoma, kad pirmenybė teikiama visai vietoje gaminamai ir suvartojamai energijai ar šilumai. Esant elektros energijos pertekliui – numatoma, kad energija tiekama į elektros tinklą pasaugojimui, esant elektros trūkumui – elektra tiekama iš elektros tiekimo tinklų. Kiekvienos priemonės energinio kriterijaus (kWh/n.m³) skaičiavimo rezultatai naudojami daugiakriterėje analizėje.

2 lentelė. Energinio kriterijaus vertinimo siūlomose alternatyvose aprašymas ir įvesties duomenys
Table 2. Description and input data of the energy criterion evaluation in the proposed alternatives

Siūlomos alternatyvos pavadinimas	Aprašymas	Įvesties duomenys į „EnergyPro“ programinę įrangą
TE	TE generuojama elektra pirmiausia naudojama dujoms pašildyti naudojant elektrinius šildytuvus.	Šilumos poreikis DSS dujoms pašildyti: 106,34 MWh per metus. Šios alternatyvos pagaminamos energijos skaičiavimai atliekami pagal (3) formulę. El. pašildytuvo efektyvumas – 98,5 %.

Siūlomos alternatyvos pavadinimas	Aprašymas	Įvesties duomenys į „EnergyPro“ programinę įrangą
GŠS	Padengia visą šilumos poreikį gamtinėms dujoms pašildyti (galia 70 kW). Elektra tiekama iš elektros tiekimo tinklų.	Šilumos poreikis DSS dujoms pašildyti: 37,01 MWh per metus. GŠS galia: 70 kW. COP = 4,09 (Ground Source Heat Pump NIBE F1345, n.d.). Įvedamas metinis grunto temperatūros svyravimas, grunto temperatūros mažėjimas dėl ŠS veikimo (-4 °C). Kartu su GŠS yra įrengiama 1 m ³ talpos akumuliacinė talpa, kurios apačioje numatyta 40 °C ir viršuje 45 °C temperatūros. Į dujų pašildytuvą (šilumokaitį) tiekiamo šilumnešio temperatūra yra 45 °C, grįžtamo šilumnešio – 40 °C. GŠS šilumos šaltinis: 15 vnt. vertikalių, 120 m gylio gręžinių (jei ŠS COP ≈ 4, tai galima teigti, kad ¾ šilumos bus paimama iš lauko gręžinių, o grunto šilumos emisija 60 W/m).
TE+GŠS	TE pagaminama el. energija yra naudojama GŠS.	Šilumos poreikis DSS dujoms pašildyti: 106,34 MWh per metus. Kiti įvesties duomenys tokie pat, kaip GŠS.
PV	PV generuojama elektra visų pirma panaudojama dujoms pašildyti, naudojant elektrinius pašildytuvus.	Šilumos poreikis DSS dujoms pašildyti: 37,01 MWh per metus. Įrengiama ant DSS pastato stogo (plotas ≈ 50 m ²). Priimta, kad tokiu atveju ant stogo gali būti įrengta 5,7 kW galios elektrinė (16 vnt. 355 W galios modulių, kurių dydis yra 1×2 m, o posvyrio kampas – 35°(AS-6P POLYCRYSTALLINE MODULE, 2021). El. pašildytuvo efektyvumas – 98,5 %.
TE+PV	TE ir PV generuojama elektra visų pirma panaudojama dujoms pašildyti, naudojant elektrinius pašildytuvus.	Šilumos poreikis DSS dujoms pašildyti: 106,34 MWh per metus. Kiti įvesties duomenys tokie pat, kaip TE ir PV.
GŠS+PV	PV pagaminama el. energija yra naudojama GŠS.	Šilumos poreikis DSS dujoms pašildyti: 37,01 MWh per metus. Kiti įvesties duomenys tokie pat, kaip GŠS ir PV.
TE+GŠS+PV	TE ir PV pagaminama el. energija yra naudojama GŠS.	Šilumos poreikis DSS dujoms pašildyti: 106,34 MWh per metus. Kiti įvesties duomenys tokie pat, kaip TE, GŠS ir PV.
SK	SK pagaminama šiluma naudojama gamtinėms dujoms pašildyti. Esant šilumos trūkumui, dujoms pašildyti naudojamas el. šildytuvas, elektra tiekama iš elektros tiekimo tinklų.	Šilumos poreikis DSS dujoms pašildyti: 37,01 MWh per metus. Įrengiama ant DSS pastato stogo (plotas ≈ 50 m ²). Priimta, kad tokiu atveju ant stogo gali būti įrengta 32 m ² ploto plokščiųjų saulės kolektorių sistema (Viesmann, 2022). Taip pat skaičiuojama didesnė, 3 m ³ talpos akumuliacinė talpa, kurioje numatyta 40 °C temperatūra talpos apačioje ir 55 °C temperatūra talpos viršuje. El. pašildytuvo efektyvumas – 98,5 %.
TE+SK	SK pagaminama šiluma ir TE pagaminama elektra naudojama gamtinėms dujoms pašildyti.	Šilumos poreikis DSS dujoms pašildyti: 106,34 MWh per metus. Kiti įvesties duomenys tokie pat, kaip TE ir SK.
TE+GŠS+SK	SK ir GŠS yra naudojama gamtinėms dujoms pašildyti. TE pagaminama el. energija yra naudojama GŠS.	Šilumos poreikis DSS dujoms pašildyti: 106,34 MWh per metus. Kiti įvesties duomenys tokie pat, kaip TE, GŠS ir SK.

3.2. Ekologinio kriterijaus skaičiavimo metodika

Šios analizės metu buvo vertinami DSS ir kiekvienos iš pasiūlytų efektyvumo ir taršos mažinimo alternatyvų (TE įrengimas, dujų pašildymo sistemos keitimas iš dujinių katilų į GŠS (vertikalių gręžinių), SK sistemos įrengimas, PV saulės elektrinės su elektriniu šildytuvu (PV) įrengimas bei šių alternatyvų deriniai: TE+GŠS; TE+PV; GŠS+PV; TE+GŠS+PV; TE+SK; TE+GŠS+SK) suvartojamos pirminės energijos kiekiai bei kokie CO₂, SO₂, PO₄ P-lim, CFC-11 išmetalų kiekiai patenka į aplinką medžiagų gamybos, naudojimo ir sunaikinimo fazėse. Visų pirma, yra atliekama alternatyvų medžiagų inventorizacija, kai siūlomos sistemos yra išskaidomos į elementus ir vėliau į me-

džiagas bei jų kiekius, kurie vėliau vertinami pagal įtakos kategorijas. Šiai analizei atlikti buvo naudojama „SimaPro“ programinės įrangos „Ecoinvent v3.7“ duomenų bazė, kur medžiagos yra vertinamos Europos rinkai. Gamybos fazėje buvo vertinami išmetalų kiekiai tik gaminant medžiagas, sudarančias elementus ir sistemas. Naudojimo fazėje nėra vertinamas elementų pakeitimas, nes visų siūlomų alternatyvų gyvavimo trukmė yra laikoma 25 metai. Šioje fazėje yra vertinamas tik poveikis aplinkai dėl siūlomų sistemų sunaudojamos energijos (dujų ir / arba elektros sąnaudos gautos atliekant energinį vertinimą) jų naudojimo metu. Sunaikinimo fazėje yra vertinami išmetalų kiekiai, susidarantys perdirbant, sudeginant arba laidojant medžiagas pasibaigus jų gyvavimo trukmei. Taip pat yra vertinamas

3 lentelė. Ekologinio kriterijaus skaičiavimo metodika
Table 3. Methodology for calculating the ecological criterion

Ekologinio vertinimo gyvavimo ciklo vertinimo fazė	kg CFC-11 eq	kg SO2 eq	kg PO4 P-lim	kg CO2 eq	MJ
Rodiklio svoris	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Elemento gamybos fazė	$X_{1,1}$	$X_{2,1}$	$X_{3,1}$	$X_{4,1}$	$X_{5,1}$
Elemento naudojimo fazė	$X_{1,2}$	$X_{2,2}$	$X_{3,2}$	$X_{4,2}$	$X_{5,2}$
Elemento sunaikinimo fazė	$X_{1,3}$	$X_{2,3}$	$X_{3,3}$	$X_{4,3}$	$X_{5,3}$
Elemento transportavimo fazė	$X_{1,4}$	$X_{2,4}$	$X_{3,4}$	$X_{4,4}$	$X_{5,4}$
Tarpinis ekologinis rodiklis	$E = 0.2 \times (X_{1,1} + X_{1,2} + X_{1,3} + X_{1,4}) + 0.2 \times (X_{2,1} + X_{2,2} + X_{2,3} + X_{2,4}) +$ $0.2 \times (X_{3,1} + X_{3,2} + X_{3,3} + X_{3,4}) + 0.2 \times (X_{4,1} + X_{4,2} + X_{4,3} + X_{4,4}) +$ $0.2 \times (X_{5,1} + X_{5,2} + X_{5,3} + X_{5,4})$				
Pagrindinis ekologinis rodiklis	$ECO = E/n.m^3$				

visų elementų transportavimas iš gamybos vietos Europoje į tiriamąjį objektą Lietuvoje bei poveikis aplinkai transportavimo metu į sunaikinimo vietą. Suskaičiavus visų siūlomų sistemų poveikio aplinkai rodiklius visose gyvavimo fazėse, jie yra susumuojami pagal išmetalų tipą ir paverčiami į bedimensius dydžius suteikiant kiekvienam rodikliui svorį (3 lentelė). Vėliau gautas suminis dydis yra dalinamas iš metinio DSS dujų srauto ir gaunamas bedimensis funkcinis vienetas $E/n.m^3$, vertinantis siūlomos sistemos poveikį aplinkai per jos gyvavimo ciklą.

Kiekvienos priemonės ekologinio kriterijaus ($E/n.m^3$) skaičiavimo rezultatai naudojami daugiakriterijėje analizėje.

3.3. Ekonominio kriterijaus skaičiavimo metodika

Šio kriterijaus vertinimo metu visoms siūlomoms alternatyvoms buvo skaičiuojamas vienas rodiklis – grynoji dabartinė vertė (GDV). Ji apskaičiuojama diskontuojant visus laukiamus iš šio investicinio projekto pinigų srautus. Šis vertinimas yra tikslingas, nes parodo, ar priemonių sutaupymai yra pakankami ir ar įvertinus pinigų nuvertėjimą projektas per savo gyvavimo laikotarpį bus pelningas.

GDV skaičiuojama pagal (5) formulę:

$$GDV_t = -I_0 + \sum_{i=1}^n \frac{CF_t}{(1+k)^t}, \quad (5)$$

čia GDV_t – grynoji dabartinė vertė po tam tikro laiko t , €; I_0 – pradinė investicija, €; CF_t – pinigų srautai per metus, €; k – diskonto norma; t – praėjęs laikas, metais.

Šiuo atveju metiniai sutaupymai yra vidutiniai pinigų srautai per metus, t. y. metinių pajamų, išlaidų bei investicijų balansai, galiausiai turintys duoti teigiamą pinigines sumos reikšmę (6):

$$\overline{CF}_t = P - C - I, \quad (6)$$

čia P – metinės pajamos arba atnešama ekonominė nauda, €; C – metinės išlaidos, €; I – investicijos, €.

Skaičiuojant GDV, yra vertinama diskonto norma. Diskonto norma nagrinėjamu momentu apskaičiuota pagal (7) formulę:

$$d = \frac{1 + i_{pal}}{1 + i_{infliac}} - 1 = \frac{1 + 0,048}{1 + 0,046} - 1 = 0,0019, \quad (7)$$

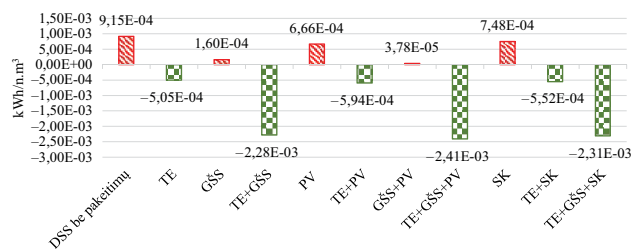
čia d – diskonto norma; $i_{pal} = 4,61\%$ – 2022 m. gruodžio mėn. rinkoje vyraujanti patikimų bankų siūlomų paskolų palūkanų norma; $i_{infliac} = 4,6\%$ – infliacijos lygis šalyje, prognozuojamas 2023 m.

Prieš skaičiuojant GDV, kiekvienai siūlomai alternatyvai yra skaičiuojama pradinė investicija bei metinės išlaidos, kurioms priklauso siūlomų sistemų kasmetiniai aptarnavimo kaštai, išlaidos už dujų (1,91 Eur/ m^3 (Ignitis, n. d.-a), elektros (0,28 Eur/kWh (Ignitis, n. d.-b) suvartojimą bei elektros energijos saugojimą tinkle (0,045 Eur/kWh (Energijos skirstymo operatorius, n. d.)). Vėliau kiekvienos vertinamos priemonės GDV yra dalinamas iš viso vertinamojo laikotarpio (25 metai) DSS dujų srauto ir gaunamas santykinis rodiklis $EUR(GDV)/n.m^3$, vertinantis siūlomos investicijos pelningumą per savo gyvavimo laikotarpį.

4. Tyrimo rezultatai

Pirmiausia siūlomos alternatyvos palyginamos pagal vertinamas kategorijas (energinis, ekologinis, ekonominis vertinimai). Energinio vertinimo rezultatai pateikti 4 pav.

Visų pasiūlytų alternatyvų įrengimo atveju dujos pašildymui nenaudojamos. Jei sistema nepagamina pakankamai elektros energijos arba joje iš viso nėra elektrą gaminančių įrenginių (PV ir TE), elektros energijos poreikis padengiamas tiekiant elektrą iš tinklo. Teigiami stulpeliai, pažymėti



4 paveikslas. Energinio kriterijaus vertinimo rezultatai
Figure 4. Results of energy criterion assessment

raudona spalva, nurodo, kad tai yra šilumos poreikis dujų pašildymui, kad yra atiduodamas į tinklą elektros kiekis, likęs po dujų pašildymo elektra. Pagal energinio skaičiavimo rezultatus, visos siūlomos priemonės sumažino DSS energijos sąnaudas, reikalingas dujų tūrio vienetui pašildyti. Ant DSS stogo sumontuotos PV arba SK sistemos energijos sąnaudas atitinkamai sumažintų 27 % ir 18 %. Panaudojant GŠS, energijos sąnaudos sumažėtų 83 %, o prie GŠS papildomai įrengus PV sistemą sąnaudos sumažėtų 96 %. Apskaičiuota, kad visuose sprendimuose, kuriuose naudojamas TE, nagrinėjamas objektas jau tampa ne tik energiją vartojančia, bet ir energiją tiekiančia sistema. Įrengiant tik TE ir dujas pašildant elektriniu šildytuvu, po visiško dujų paruošimo (pašildymo) lieka 0,5 Wh elektros/n.m³ dujų, įrengiant TE+SK sistemą liktų 0,552 Wh elektros/n.m³ dujų, įrengiant TE+PV liktų 0,594 Wh elektros/n.m³ dujų, o daugiausiai energijos būtų sutaupyta ir pagaminta naudojant TE+GŠS sistemą – 2,3 Wh elektros/n.m³ dujų, naudojant TE+GŠS+PV sistemą – 2,4 Wh elektros/n.m³ dujų, o naudojant TE+GŠS+SK sistemą – 2,31 Wh elektros/n.m³ dujų (4 pav.).

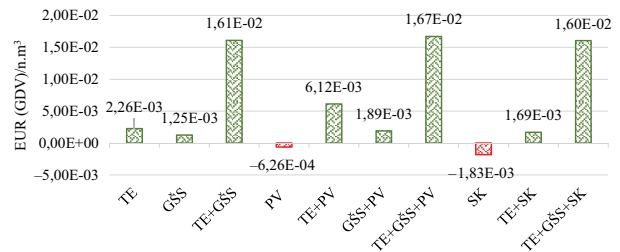
Kitas vertinimo kriterijus yra ekonominis, išreiškiamas EUR (GDV)/n.m³. Kuo šis rodiklis yra didesnis, tuo ekonomiškai siūloma priemonė yra patrauklesnė (5 pav.).

Rezultatai (5 pav.) rodo, kad įrengiant vien tik PV ir SK alternatyvas jos per gyvavimo laikotarpį neapsimokės (neigiamas EUR (GDV)/n.m³). Kitų siūlomų priemonių gautas rodiklis EUR (GDV)/n.m³ yra: tik TE – 0,0023, tik GŠS – 0,0012, TE+PV – 0,0061, GŠS+PV – 0,0019, TE+SK – 0,0017. Labiausiai ekonomiškai patrauklios gautos alternatyvos, kuriuose yra TE su GŠS: TE+GŠS ir TE+GŠS+SK gauti rodikliai yra 0,016 EUR (GDV)/n.m³, o TE+GŠS+PV gautas rodiklis yra 0,017 EUR (GDV)/n.m³.

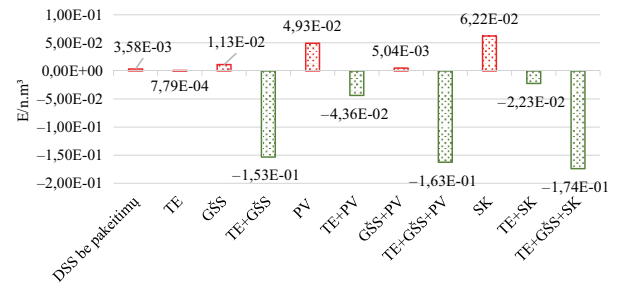
Alternatyvos taip pat įvertintos pagal ekologinį kriterijų (6 pav.) vienu, bedimensiu dydžiu (E/n.m³), įvertinančiu alternatyvų sunaudojamą pirminės energijos kiekį bei kokie CO₂, SO₂, PO₄ P-lim, CFC-11 išmetalų kiekiai patenka į aplinką medžiagų gamybos, naudojimo ir sunaikinimo fazėse. Kuo gautas dydis yra mažesnis, tuo siūlomas sprendimas ekologiniu požiūriu yra priimtinesnis.

Kelios gautos alternatyvos, GŠS, PV, GŠS+PV ir SK per savo gyvavimo ciklą turėtų didesnę neigiamą įtaką aplinkai, nei nenaudojant jokių alternatyvų. Naudojant tik TE, poveikis aplinkai sumažėtų apie 78 %. Kitų siūlomų priemonių poveikis aplinkai gali būti laikomas teigiamu (gautos neigiamos blogo poveikio aplinkai rezultatų vertės), kadangi jų naudojimo metu pagamintos „žalios“ energijos, kurią galima eksportuoti už objekto ribų, kiekis yra didesnis nei padengiami dujų pašildymo poreikiai. Didžiausią teigiamą poveikį aplinkai turi alternatyvos, kuriuose yra įrengti TE ir GŠS: TE+GŠS+PV (–0,163 E/n.m³) ir TE+GŠS+SK (–0,174 E/n.m³).

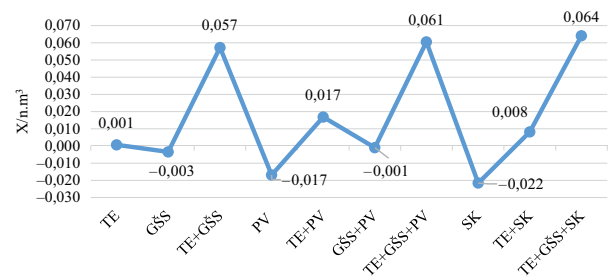
Kadangi alternatyvos vertinamos bendrai, joms atliekama daugiakriterė analizė ir kiekvienas vertinimo kriterijus (ekonominis, ekologinis ir energinis) yra dauginamas iš svorio koeficiento (0,3). Gauti alternatyvų daugiakriterės analizės rezultatai pateikti (7 pav.).



5 paveikslas. Ekonominio kriterijaus vertinimo rezultatai
Figure 5. Results of economic criterion evaluation



6 paveikslas. Ekologinio kriterijaus vertinimo rezultatai
Figure 6. Results of ecological criterion assessment



7 paveikslas. Daugiakriterės analizės rezultatai
Figure 7. Results of multicriteria analysis

Vertinant bendrai, GŠS, PV, GŠS+PV ir SK alternatyvos yra netinkamos numatyta paskirčiai ir tiriamajam objektui, kadangi jos turi neigiamą poveikį, nagrinėjant daugiakriteriu būdu. To priežastis yra pernelyg didelis elektros energijos iš tinklo poreikis, nepakankama energijos gamyba, tai lemia didelį poveikį aplinkai naudojimo fazėje ir dideles išlaidas alternatyvų naudojimo metu. Tačiau įrengus papildomą energiją generuojantį įrenginį (TE), alternatyvų įvertinimas pasikeičia: tik TE gautas dydis yra 0,001, naudojant TE+PV gautas dydis yra 0,017, o naudojant TE+SK gautas dydis yra 0,008. Gauti rezultatai parodė, kad geriausios alternatyvos yra TE+GŠS (0,057), TE+GŠS+PV (0,061) ir TE+GŠS+SK (0,064).

Išvados

1. Atlikti skaičiavimai parodė, kad DSS yra neišnaudojamas energijos gamybos potencialas dujų slėgio mažinimo mazge. Šią energiją galima panaudoti elektros gamybai, įrengiant TE, tačiau reikia atsižvelgti, kad tokiu atveju apie 3 kartus padidėja šilumos poreikis dujų pašildymui.

2. DSS, esančiose Lietuvoje, saulės spinduliuotės energiją naudojančios įrenginiai (PV ir SK) energiniu požiūriu sutaupytų tik nedidelį kiekį DSS energijos ir vertinant bendrai, daugiakriteriu būdu, šios priemonės, įrengiant jas atskirai nuo kitų, nėra naudingos. PV ir SK alternatyvų ekonominiai rodikliai per visą eksploataavimo laikotarpį buvo neigiami, o kitų alternatyvų – teigiami.
3. TE+GŠS+PV ir TE+GŠS+SK sistemos pagamino daugiausia elektros energijos, pratekant 1 n.m³ dujų, ir išmetė mažiausiai CO₂, SO₂, PO₄ P-lim, CFC-11 išmetalų.
4. TE+GŠS, TE+GŠS+SK ir TE+GŠS+PV alternatyvos buvo ekonomiškai patraukliausios, jų rodikliai svyravo nuo 0,016 iki 0,017 EUR (GDV)/n.m³.
5. Vertinant tiek pagal visus kriterijus atskirai, tiek daugiakriteriu būdu, geriausių rezultatų parodė alternatyvų paketai, kuriuose yra GŠS ir TE: TE+GŠS; TE+GŠS+PV ir TE+GŠS+SK. To priežastis yra tai, kad GŠS yra efektyvus ir aplinkai draugiškas šildymo būdas, jeigu elektros energijos šaltinis yra taip pat aplinkai draugiškas. Būtent įrengiant TE, pagamintos „žalios“ elektros energijos visiškai užtektų GŠS veikti, o jos perteklius galėtų būti tiekiamas į bendrą elektros tinklą.
6. Atliekant alternatyvų vertinimą, buvo nagrinėtos tik šiluminės akumuliacinės talpos, o pagaminta elektros energija nebuvo akumuliuojama vietoje, bet tiekama į elektros tinklą „pasaugojimui“ pagal šiuo metu esančias gaminančių vartotojų taisykles. Panaudojant vietinius elektros energijos akumuliacijos būdus, nagrinėjamų alternatyvų rezultatai gali pasikeisti ir pagerėti.

Literatūra

- Amber Grid. (2023). *Strategija*. <https://www.ambergrid.lt/mes/amber-grid/strategija/14>
- Arabkoohsar, A., Farzaneh-Gord, M., Deymi-Dashtebayaz, M., Machado, L., & Koury, R. N. N. (2015). A new design for natural gas pressure reduction points by employing a turbo expander and a solar heating set. *Renewable Energy*, 81, 239–250. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.03.043>
- Arabkoohsar, A., Machado, L., & Koury, R. N. N. (2016). Operation analysis of a photovoltaic plant integrated with a compressed air energy storage system and a city gate station. *Energy*, 98, 78–91. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.01.023>
- Danieli, P., Carraro, G., & Lazzaretto, A. (2020). Thermodynamic and economic feasibility of energy recovery from pressure reduction stations in natural gas distribution networks. *Energies*, 13(17), 4453. <https://doi.org/10.3390/en13174453>
- EMD International. (2017). *energyPRO - Software for modelling and analysis of complex energy projects*. <https://www.emd-international.com/energypro/>
- Energijos skirstymo operatorius. (n. d.). *Gaminančių vartotojų atsiskaitymo būdai*. <https://www.eso.lt/lt/namams/elektra/tarifai-kainos-atsiskaitymas-ir-skolos/gaminanciu-vartotoju-kainos.html#!topic751>
- European Parliament and the Council. (2012). *EUR-Lex - 02012L0027-20210101 - EN - EUR-Lex*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02012L0027-20210101>
- Farzaneh-Gord, M., Arabkoohsar, A., Deymi Dasht-bayaz, M., Machado, L., & Koury, R. N. N. (2014). Energy and exergy analysis of natural gas pressure reduction points equipped with solar heat and controllable heaters. *Renewable Energy*, 72, 258–270. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.07.019>
- Gamtinių dujų perdavimo sistemos operatorius. (2023). <https://www.ambergrid.lt/amber-grid-modernizavo-dvi-duju-skirstymo-stotis-planuosenaunu-objektu-rekonstrukcija>
- Ghezelbash, R., Farzaneh-Gord, M., Behi, H., Sadi, M., & Khorramabady, H. S. (2015). Performance assessment of a natural gas expansion plant integrated with a vertical ground-coupled heat pump. *Energy*, 93, 2503–2517. <https://doi.org/10.1016/j.ENERGY.2015.10.101>
- Ignitis. (n. d.-a). *Dujų kainos*. <https://ignitis.lt/lt/duju-kainos>
- Ignitis. (n. d.-b). *Elektros kainos*. <https://ignitis.lt/lt/elektros-kainos>
- Ipieca. (2013). *Turbo-expanders (2013)*. <https://www.ipieca.org/resources/energy-efficiency-solutions/turbo-expanders-2013>
- Jedlikowski, A., Englart, S., Cepiński, W., Badura, M., & Ara Sayegh, M. (2020). Reducing energy consumption for electrical gas preheating processes. *Thermal Science and Engineering Progress*, 19, 100600. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2020.100600>
- Khanmohammadi, S., & Saadat-Targhi, M. (2019). Thermodynamic modeling and analysis of a novel heat recovery system in a natural gas city gate station. *Journal of Cleaner Production*, 224, 346–360. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.167>
- Kostowski, W. (2010). The possibility of energy generation. *Strojstvo*, 52(4), 429.
- Lietuvos Respublikos Seimas. (2018). *Nutarimas „Dėl Nacionalinės energetinės nepriklausomybės strategijos patvirtinimo“* (Nr. XI-2133). <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.E151BC09AE62/asr>
- Lietuvos Respublikos Seimas. (2020). *Lietuvos Respublikos energijos vartojimo efektyvumo didinimo įstatymas* (Nr. XII-2702). <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalActEditions/946da260a-67b11e69ad4c8713b612d0f>
- Lietuvos Respublikos ūkio ministerija. (2014). *Įsakymas „Dėl magistralinių dujotiekių eksploataavimo taisyklių patvirtinimo“*. <https://e-seimas.lrs.lt/rs/legalact/TAD/TAIS.211960/>
- Natural Gas Solutions North America. (2022a). *Gas measurement*. <https://dresserutility.com/wp-content/uploads/Actaris-GasMeasurementDeltaBrochure.pdf>
- Natural Gas Solutions North America. (2022b). *C&I Gas meters Fluxi 2000/TZ*. <https://dresserutility.com/wp-content/uploads/ActarisGasMeasurementFluxi2000TZTurbineMeterBrochure.pdf>
- Osiadacz, A. (2018). Koncepcja zero-energetycznej stacji gazowej dla przemysłu gazowniczego. *Gaz, woda i technika sanitarna*, 1(4), 4–8. <https://doi.org/10.15199/17.2018.4.1>
- Poživil, J. (2004). Use of expansion turbines in natural gas pressure reduction stations. *Acta Montanistica Slovaca*, 9, 258–260.
- Prieskienis, Š. (2015). *Dujų infrastruktūros energijos vartojimo efektyvumo potencialo, ypač susijusio su perdavimu, skirstymu, apkrovos valdymu ir tarpusavio sąveika, taip pat prijungimu prie energijos gamybos įrenginių, be kita ko, prieigos galimybės labai mažos galios energijos generatorių atveju, įvertinimas*. <https://enmin.lrv.lt/uploads/enmin/documents/files/Veikla/Veiklos%20sritys/energijos-naudojimo-efektyvumas/EVE-priemoniu-diegimas-Ekoterminija-2015.pdf>
- Rahman, M. M. (2010). Power generation from pressure reduction in the natural gas supply chain in Bangladesh. *Journal of Mechanical Engineering*, 41(2), 89–95.
- Rahman, M. M. (2011). Power generation from pressure reduction in the natural. *Journal of Mechanical Engineering*, 41(2), 89–95. <https://doi.org/10.3329/jme.v41i2.7472>
- Taheri Seresht, R., Khodaei Jalalabadi, H., & Rashidian, B. (2010). Retrofit of Tehran City Gate Station (C.G.S.No.2)

by using turboexpander. In *ASME 2010 Power Conference* (pp. 207–212), Chicago, Illinois, USA.

<https://doi.org/10.1115/POWER2010-27087>

Viesmann. (2022). *Vitosol 100-F*. https://www.viessmann.lt/content/dam/vi-brands/LT/Saules%20Sistemas/Vitosol200F_Projektavimo%20instr.%202013.pdf/_jcr_content/renditions/original./Vitosol200F_Projektavimo%20instr.%202013.pdf

RESEARCH OF METHODS FOR IMPROVING ENERGY EFFICIENCY AND EMISSIONS REDUCTION IN DISTRIBUTION STATION OF NATURAL GAS TRANSMISSION NETWORK

R. Tučkus, A. Rogoža

Abstract

The global energy crisis, rising energy demand and climate warming make it imperative to find ways to recover energy that is not being put to beneficial use, to reduce primary and final energy consumption, and to reduce emissions. An important part of Lithuania's energy sector is the natural gas sector and its transmission network, including the gas distribution stations (GDS). It is the GDS that has an unexploited potential for energy recovery, as the gas pressure is reduced through the use of gas pressure regulators, where the potential energy in the high-pressure gas is not utilized in a useful way, and the necessary heating of natural gas is carried out through the use of natural gas boilers, with additional environmental pollution. The aim of the study is to analyse the gas distribution station, to find the areas of the station where potential energy is not being used and the environment is being polluted, and to propose reasonable solutions. Following a literature review, alternative technical solutions are selected: turbine-expander, conversion of the gas preheating system from gas boilers to a geothermal heat pump, use of solar collectors, photovoltaic solar cells. In order to assess the potential of technological solutions to improve the efficiency of the DSS and reduce emissions, a multi-criteria analysis of the proposed solutions is carried out, where the measures under evaluation are analysed in energy, economic and environmental terms. The energy assessment analyses the energy consumption, the economic assessment calculates the net present value (NPV) of the investment for each solution and the environmental assessment examines the environmental impact of the proposed measures over their life cycle. Based on the results of the multi-criteria analysis, the systems best suited to the object of study (GDS) are recommended.

Keywords: multi-criteria analysis, gas distribution station, gas pressure regulator, photovoltaic solar cells, natural gas, transmission network, solar heat collectors, heat pump, turbine-expander.