

## PASVALIO MIESTO APRŪPINIMO ENERGIJA DAUGIAKRITERĖ ANALIZĖ

Natalija Siniak<sup>1</sup>, Artur Rogoža<sup>2</sup>

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: <sup>2</sup>artur.rogoza@vgtu.lt

**Santrauka.** Straipsnyje nagrinėjama Pasvalio miesto aprūpinimo šiluma sistema. Siekiant didinti jos efektyvumą tiriami trys alternatyvūs variantai. Pateikiami Pasvalio miesto šilumos vartotojų šildymo poreikio skaičiavimo rezultatai, taip pat, remiantis sistemų elementų turimais duomenimis, – gyvavimo ciklo ir daugiakriterės analizės rezultatai. Šiuo metu aplinkosauga yra glaudžiai susijusi su energetikos sritimi, todėl sistema analizuojama energiniu ir ekologiniu, taip pat ekonominiu aspektais.

**Reikšminiai žodžiai:** centralizuotas šilumos tiekimas, gyvavimo ciklo analizė, daugiakriterė analizė.

**Įvadas**

Energetika yra vienas iš svarbiausių kiekvienos pasaulio šalies ūkio sektorių. Ji apima tarpusavyje susijusias energetikos sritis (elektros, centralizuoto šilumos tiekimo, naftos, gamtinių dujų, anglių ir vietinio kuro bei atsinaujinančiųjų energijos išteklių), kuriuos sudaro įmonių ir įrenginių, skirtų įvairių energijos išteklių gavybai, gamybai, transportavimui, perdavimui, skirstymui ir vartojimui, visuma. Ypatingą dėmesį energetikos sektoriui lemia didėjančios energijos sąnaudos, mažinančios iškastinio kuro atsargas, didinančios aplinkos užterštumą, pirminės ir antrinės energijos kainas ir pan.

Siekiant mažinti iškastinio kuro naudojimą ir aplinkos užterštumą pasaulyje, taip pat ir Lietuvoje, daug dėmesio skiriama naujų energijos rūšių ir technologijų plėtrai ir esamoms energijos tiekimo sistemoms tobulinti. Centralizuoto šilumos tiekimo sistemos (CŠT) pirmąją aprūpinant Lietuvos miestus šiluma. 2007 m. jomis miestams buvo tiekama 72 % šilumos (Lietuvos šilumos tiekėjų asociacija 2010), tačiau sistemos yra nusidėvėjusios ir dažniausiai nepasižymi dideliu efektyvumu. Dėl šių priežasčių tokių sistemų įvairiapusis vertinimas yra ypač aktualus ir tikslingas, todėl jų tyrimams skirtas ne vienas mokslinis darbas, kuris remiasi daugiakriterės analizės principais (Rogoža *et al.* 2003, 2006; Čiuprinskas *et al.* 2004; Šiupšinskas *et al.* 2004).

Šio tyrimo tikslas – įvertinti Pasvalio miesto aprūpinimo energija esamą situaciją ir, atliekant daugiakriterę pasirinktų variantų analizę, kriterijais laikyti energinį, ekologinį ir ekonominį rodiklius, pasiūlyti efektyviausią energijos tiekimo Pasvalio miestui variantą.

**Analizuojamasis objektas**

Pasvalys – miestas, esantis Šiaurės Lietuvoje. Pasvalio mieste ir priemiestyje veikia dvi centralizuoto šilumos tiekimo sistemos. Pagrindinė sistema šilumą tiekia didžiąjai daliai Pasvalio miesto šilumos vartotojų, o mažesnioji sistema centralizuotai šilumą tiekia tik dviem daugiabučiams namams Pasvalio priemiestyje. Pasvalio mieste ir priemiestyje veikiančioms centralizuoto aprūpinimo sistemoms šiluma gaminama 2 katilinėse: Pasvalio rajoninėje ir Ažuolyno katilinėje. Analizė atliekama tik rajoninės katilinės sistemoje, kadangi Ažuolyno katilinė šilumą aprūpina tik du pastatus, esančius priemiestyje.

Pasvalio rajoninės katilinės pagrindinis kuras – gamtinės dujos, kurios šiuo metu sudaro 100 % viso deginamojo kuro. Gamtinės dujos deginamos keturiuose katiluose, kurių bendra galia siekia 34,01 MW.

Miesto CŠT sistemoje šiluma tiekama 159 pastatams, iš kurių: 26 individualūs gyvenamieji namai, 99 daugiabučiai namai ir 36 visuomeninės paskirties pastatai (Pasvalio rajono šilumos ūkio specialusis planas 2009).

Pasvalio šilumos vartotojų metiniai šilumos šildymo poreikiai buvo nustatyti atsižvelgiant į faktinį pastatų šilumos suvartojimą ir klimatinis duomenis, perskaičiuojant juos į norminius metus (Statybinė klimatologija 1995):

$$Q_{s.n.} = Q_s \frac{\theta_i - \theta_e}{\theta_i - \theta_{sk.e}}, \quad (1)$$

čia  $Q_s$  – šilumos suvartojimas pastatams šildyti, MWh;  $\theta_i$  – vidutinė patalpų oro temperatūra (laikoma 18 °C);  $\theta_e$  – vidutinė skaičiuojamoji šildymo sezono temperatūra Pasvalyje (0,4 °C);  $\theta_{sk.e}$  – vidutinė skaičiuojamoji analizuojamojo šildymo sezono temperatūra (0,95 °C).

Vadovaujantis Pasvalio miesto duomenimis, 2007 metais vartotojų šilumos suvartojimas sudarė 26 604 MWh ir buvo nustatyta, kad Pasvalio miesto šilumos poreikis norminiais metais yra 27 462 MWh, o įvertinus ir karštam vandeniui ruošti reikalingą šilumos kiekį – 29 560 MWh.

Pasvalio miesto šilumos vartotojams šiluma tiekiamą šiluminėmis trasomis, kurių bendras ilgis viršija 15 km. Vyraujantis trasų įrengimo būdas – nepereinami kanalai. Šilumos tiekimo sistema – keturvamzdė (Pasvalio rajono šilumos ūkio specialusis planas 2009).

Analizuojami šie aprūpinimo šiluma variantai:

- Esama centralizuoto šilumos tiekimo sistema;
- Esama centralizuoto šilumos tiekimo sistema su prijungtu vamzdynu, kuriuo planuojama tiekti biudujas;
- Esama centralizuoto šilumos tiekimo sistema su naujai įrengtais šiaudais kūrenamais katilais.

### Tyrimo metodologija ir jos taikymas

Pasirinktų aprūpinimo šiluma variantų analizei ir tinkamiausiam variantui nustatyti buvo taikomi du pagrindiniai metodai: sistemų gyvavimo ciklo ir daugiakriterė analizė.

Sistemos gyvavimo ciklo analizė (GCA) – tai metodas, apimantis veiksnių etapus, įvertinant galimus veiksnius ir interpretuojant rezultatus, kurie susiję su produkto ar proceso įtaka žaliavoms, energijai ir aplinkai nuo jų atsiradimo iki sunaikinimo. Pasirinktų variantų GCA buvo atlikta trimis požūriais: energiniu, ekologiniu ir ekonominiu apimant visas sistemų gyvavimo ciklo fazes – gamybą, naudojimą ir sunaikinimą.

Sistemų GCA skirstoma į keturis etapus: tikslo ir apimties nustatymas, inventorinė analizė, poveikio įvertinimas, gyvavimo ciklo interpretavimas. Pirmajame – tikslo ir apimties nustatymo etape nustatomos sistemos ribos, analizės prielaidos, apribojimai ir eiga, kurios pagrindu atliekamas tolesnis tyrimas. Inventorinės analizės metu kiekybiškai ir kokybiškai nustatomi elementarūs srutai, susiję su tiriamosios sistemos gyvavimo ciklu. Poveikio įvertinimo etape siekiama nustatyti tiriamosios sistemos galimo poveikio aplinkai reikšmę ir svarbą. Gyvavimo ciklo interpretavimas – etapas, kurio metu studijos rezultatai, pasirinkti variantai ir padarytos prielaidos vertinamos atsižvelgiant į jų patikimumą (LST EN ISO 14044:2007).

Toliau pateikiami svarbiausi duomenys ir prielaidos, taikytos GCA atlikti. Funkciniu vienetu – bendrąja lyginamąja funkcija – laikoma 1 MWh šilumos. Analizė atlikta 30 metų laikotarpiu. Analizuojant nagrinėtos tik

pagrindinės sistemų sudedamosios dalys, o mažiau svarbios nevertintos, darant prielaidą, kad jos įtakos sistemoms nedaro. Analizės metu įvertinti energijos kiekiai sistemų gamybos, naudojimo ir perdirdimo / naikinimo metu. Gamybos fazėje nustatomi pirminės energijos kiekiai, reikalingi sistemų elementams pagaminti, taip pat kurui išgauti, jam transportuoti. Naudojimo fazė apima šilumos gamybą, katilų priežiūrą (dalių keitimą, apžiūrą), vamzdynų priežiūrą (keitimą, remontą, praplovimą), taip pat visų elementų transportavimą. Perdirdimo / naikinimo fazėje analizuojami pirminės energijos poreikiai sistemos ir jų dalims perdirdinti ar sunaikinti. Nustatyti klimato atšilimui įtakos turintys CO<sub>2</sub> dujų išsiskyrimai į aplinką sistemų gamybos, naudojimo ir perdirdimo / sunaikinimo fazėse. Šiam tikslui pasirinkta įtakos kategorija – klimato kaita, apibūdinimo modelis – IPCC, kuris apibrėžia visuotinio atšilimo potencialą dėl skirtingų dujų emisijos. Apibūdinantis rodiklis šiuo atveju yra visuotinio atšilimo potencialas 100 metų laikotarpiu GWP<sub>100</sub>. Sistemoms įvertinti ekonominiu požūriu taikyti tokie rodikliai: kuro kaina, šilumos kaina, išlaidos vamzdynų priežiūrai, išlaidos katilų priežiūrai, naujų katilų kaina, išlaidos šilumos punktams modernizuoti. Sistemos gyvavimo ciklo analizė atlikta naudojantis programine įranga *SimaPro 7.1*.

Gauti gyvavimo ciklo analizės rezultatai buvo panaudoti daugiakriteriam uždaviniui spręsti. Daugiakriterė analizė – tai metodas, kuriuo nustatomas optimalus variantas pagal pasirinktus kriterijus. Esminis šio metodo principas – nebūna geriausio varianto pagal visus kriterijus, todėl svarbu rasti kompromisą ir nustatyti optimalų variantą.

GCA metu gauti rezultatai pagal dimensines reikšmes yra skirtingi, todėl iš pradžių rezultatai perskaičiuoti į nedimensinius dydžius, kurie vėliau palyginti tarpusavyje. Rezultatams perskaičiuoti taikytos (2), (3) ir (4) formulės (Sasnauskaitė *et al.* 2007).

$$e_n = 1 - \frac{E_{\max} - E_n}{E_{\max} - E_{\min}}, \quad (2)$$

čia  $e_n$  – energinis  $n$ -ojo skaičiavimo varianto rodiklis;  $E_{\max}$  – didžiausias variantų energijos poreikis;  $E_{\min}$  – mažiausias variantų energijos poreikis;  $E_n$  –  $n$ -ojo varianto energijos poreikis.

Energijos poreikiai pagal sistemų variantus pateikti 1 lentelėje. Šie duomenys naudoti energiniams variantų rodikliams nustatyti.

Įrašius ankščiau pateiktus skaičius į (2) formulę, gauti tokie rezultatai:  $e_{esama} = 1$ ,  $e_{biudujos} = 0,204$ ,  $e_{šiaudai} = 0$ .

**1 lentelė.** Sistemų pirminės energijos poreikiai

**Table 1.** Primary energy demand for the systems

Palyginimas energiniu požiūriu	1 variantas	2 variantas	3 variantas
	MJ/MWh		
	3788	2799	2546

Šie rezultatai rodo variantų – esamos CŠT sistemos, sistemos su biodujomis ir sistemos su šiaudais nedimensinius energinius rodiklius.

$$c_n = 1 - \frac{C_{\max} - C_n}{C_{\max} - C_{\min}}, \quad (3)$$

čia  $c_n$  – ekologinis  $n$ -ojo skaičiavimo varianto rodiklis;  $C_{\max}$  – didžiausia variantų teršalų emisija;  $C_{\min}$  – mažiausia variantų teršalų emisija;  $C_n$  –  $n$ -ojo varianto teršalų emisija.

Teršalų emisijos pagal sistemų variantus pateiktos 2 lentelėje. Šie duomenys taikomi ekologiniams rodikliams nustatyti.

**2 lentelė.** Sistemų teršalų emisijos

**Table 2.** Pollution emissions of the systems

Palyginimas ekologiniu požiūriu	1 variantas	2 variantas	3 variantas
	kg CO <sub>2</sub> ekv./MWh		
	239	104	146

Irašius ankščiau pateiktus skaičius į (3) formulę gauti tokie rezultatai:  $c_{esama} = 1$ ;  $c_{biodujos} = 0$ ;  $c_{šiaudai} = 0,307$ .

Šie rezultatai rodo esamos CŠT sistemos, sistemos naudojant biodujas ir sistemos naudojant šiaudus ekologinius rodiklius.

$$k_n = 1 - \frac{K_{\max} - K_n}{K_{\max} - K_{\min}}, \quad (4)$$

čia  $k_n$  – ekonominis  $n$ -ojo skaičiavimo varianto rodiklis;  $K_{\max}$  – didžiausios variantų išlaidos;  $K_{\min}$  – mažiausios variantų išlaidos;  $K_n$  –  $n$ -ojo varianto išlaidos.

Sistemų variantų išlaidos pateiktos 3 lentelėje. Šie duomenys taikomi ekonominiams variantų rodikliams nustatyti.

Irašius ankščiau pateiktus skaičius į (4) formulę gauti tokie rezultatai:  $k_{esama} = 1$ ;  $k_{biodujos} = 0,993$ ;  $k_{šiaudai} = 0$ .

Šie rezultatai rodo variantų – esamos CŠT sistemos, sistemos naudojant biodujas ir sistemos naudojant šiaudus ekonominius rodiklius.

**3 lentelė.** Sistemų išlaidos

**Table 3.** Expenses of the systems

Palyginimas ekonominiu požiūriu	1 variantas	2 variantas	3 variantas
	Lt/MWh		
	191,21	191,05	167,13

Bendram visų trijų rodiklių įvertinimui buvo nustatytas vieningas energinis–ekonominis–ekologinis (3E) rodiklis, kuriam skaičiuoti taikyta (5) formulė:

$$3E = e_n \cdot s_e + c_n \cdot s_c + k_n \cdot s_k, \quad (5)$$

čia  $s_e$  – energinio rodiklio svarbos koeficientas;  $s_c$  – ekologinio rodiklio svarbos koeficientas;  $s_k$  – ekonominio rodiklio svarbos koeficientas.

Šių koeficientų reikšmės gali būti pasirenkamos, atsižvelgiant į analizės paskirtį. Didėsnė reikšmė priskiriama tam koeficientui (koeficientų suma turi būti lygi vienetui), kuris svarbesnis atliekamai analizei. Jei visi rodikliai yra vienodai svarbūs, jų svorio koeficientai lygūs. Geriausiu variantu laikomas tas, kurio yra mažiausias 3E rodiklis.

### Rezultatų interpretavimas

Palyginus tris pasirinktas sistemas *energiniau požiūriu* patraukliausias variantas yra sistemos, kurioje, be gamtinių dujų, dar numatoma deginti ir šiaudus. Šio varianto santykiniai pirminės energijos poreikiai, lyginant su blogiausia – esama CŠT sistema, yra 33 % mažesni.

Tokį rezultatą galima paaiškinti tuo, kad nemažai energijos sutaupoma sistemos perdirbimo fazėje, kadangi didelė dalis sistemos elementų pagaminta iš plieno, o jis turi būti perdirbamas. Taip pat naudojimo fazėje sistema, kurioje yra galimybė deginti šiaudus, energiniu požiūriu efektyvesnė, nes transportuojant šiaudus sunaudojama mažiau energijos – jie pervežami mažesniais atstumais.

*Aplinkosaugos požiūriu* geriausias iš pasirinktų variantų yra sistema su biodujomis. Ir energiniu, ir aplinkosaugos požiūriu sistemos lyginamos pagal bendrą lyginamąją funkciją, pateikiant rezultatus 1 MWh pagamintos šilumos. Variantu naudojant biodujas šiltnamio dujų emisija lyginant su blogiausia – esama CŠT sistema, yra net 56 % mažesni.

Sistema, kai deginamos biodujos, yra geriausia, kadangi laikoma, kad gaminant biodujas į aplinką neišmetama šiltnamio efektą sukeliančių dujų, t. y. biodujos išgaunamos pūdam tam tikras atliekas ir proceso metu susidarancias dujas surenkant. Todėl į aplinką nepatenka klimato kaitai įtakos turinčių dujų.

Sistemos buvo lyginamos dar vienu svarbiu *požiūriu* – *ekonominiu*. Ekonomiškai efektyviausiu variantu, atsižvelgiant į visas padarytas prielaidas, tapo sistema, kurioje deginami šiaudai. Šiam rezultatui didelės įtakos turėjo šiaudų kaina, kuri yra 5,5 karto mažesnė už gamtinių dujų ir 2,5 karto mažesnė už biodujų santykinę kainą. Taigi, variantu, kai deginami šiaudai, šilumos kaina, ly-

ginant su blogiausia – esama CŠT sistema, yra apie 13 % mažesnė.

Apibendrinus rezultatus, galima daryti išvadą, kad vienareikšmio atsakymo, kuri iš pasirinktų aprūpinimo šiluma sistemų yra geriausia Pasvalio miestui, nėra, kadangi energiniu ir ekonominiu požiūriu efektyvesnė yra sistema, kurioje numatomas šiaudų deginimas, o aplinkosaugos požiūriu optimaliausias variantas – sistema, kurioje naudojamos biodujos. Bet kokiu atveju esama CŠT sistema yra nusidėvėjusi ir neefektyvi, todėl ją tikslinga atnaujinti. Iš pateiktų rezultatų sudėtinga spręsti, kuris iš variantų yra geriausias, dėl šios priežasties buvo atlikta daugiakriterė aprūpinimo šiluma sistemų variantų analizė.

Daugiakriterė analizė nemaža dalimi priklauso nuo asmens, priimančio sprendimus. Sprendimų priėmėjas gali nuspręsti, kas jam svarbiau, o dėl to gali pasikeisti galutinis rezultatas. Šio tyrimo atveju didžiausi svorio koeficientai buvo priskirti ekologiniam (0,4) ir ekonominiam (0,4) rodikliams. Šį pasirinkimą lėmė sunki šalies ekonominė situacija, skatinanti imtis ekonomiškai optimalių sprendimų, ir ypač aktuali šiuo metu klimato kaitos problema. Suteikus svarbos koeficientams tokias reikšmes:  $e = 0,2$ ;  $c = 0,4$ ;  $k = 0,4$  ir atlikus skaičiavimus,  $3E$  rodikliai pasiskirstė taip:  $3E_{esama} = 1$ ;  $3E_{biodujos} = 0,438$ ;  $3E_{šiaudai} = 0,123$ .

Pasirinkus atitinkamą svarbos koeficientų tvarką, kai svarbiausiais laikomi ekonominis ir ekologinis faktoriai, optimalus energijos gamybos ir tiekimo variantas Pasvalio miestui yra sistema su šiaudais kūrenamais katilais, kadangi jos  $3E$  rodiklis mažiausias. Šiuo atveju sistemos gyvavimo ciklo metu bus sunaudojama 2546 MJ/MWh energijos, į aplinką išmetama 146 kg CO<sub>2</sub> ekv./MWh, o išlaidos sieks 167,13 Lt/MWh.

### Apibendrinimas ir išvados

Straipsnyje nebuvo detalai nagrinėjami procesai, susiję su kuro gavyba, šilumos ar sistemų elementų gamyba, tačiau darant prielaidas buvo įvertinti pagrindiniai sistemų elementai ir procesai, todėl analizės rezultatai gali būti panaudoti detalesniam panašaus pobūdžio tyrimui. Buvo analizuojami trys aprūpinimo šiluma variantai: esama CŠT sistema, esama CŠT sistema, kurioje deginamos biodujos, ir esama CŠT sistema, kūrenant katilus šiaudais:

- įvertinus šias sistemas per 30 metų gyvavimo ciklą, buvo nustatyta, kad didžiausios energijos sąnaudos, daugiausia teršalų ir išlaidų bus esamoje CŠT sistemoje;

- sprendžiant daugiakriterį uždavinį laikant, kad ekonominis ir aplinkosauginis kriterijai yra svarbiausi, nustatyta, kad mažiausias  $3E$  rodiklis atitinka CŠT sistemą, kurioje kūrenami katilai šiaudais.

### Literatūra

- Čiuprinskas, K.; Rogoža, A. 2004. The application of 3E factor as sustainability expression for multi-criteria optimisation of energy systems, in *6th International Conference "Energy for Buildings" proceedings*. Vilnius: Technika, 48–57.
- Lietuvos šilumos tiekėjų asociacija [interaktyvus] 2010. *CŠT istorija* [žiūrėta 2010 m. birželio 23 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.lsta.lt/lt/pages/cstistorija>>.
- LST EN ISO 14044:2007. *Aplinkos vadyba. Būvio ciklo įvertinimas. Reikalavimai ir nurodymai (tapatus ISO 14044:2006)*. Vilnius, 2007. 48 p.
- Pasvalio rajono šilumos ūkio specialusis planas. Pasvalys, 2009. 111 p.
- Rogoža, A.; Čiuprinskas, K.; Šiupšinskas, G. 2006. The optimisation of energy systems by using 3E factor: the case studies, *Journal of Civil Engineering and Management* 12(1): 63–68.
- Rogoža, A. 2003. Estimation of existing district heating distribution network from the standpoint of life cycle analysis, *Journal of Civil Engineering and Management* 9(2): 104–109.
- RSN 156-94 *Statybinė klimatologija*. Vilnius, 1995. 136 p.
- Sasnauskaitė, V.; Užšilaitytė, L.; Rogoža, A. 2007. A sustainable analysis of a detached house heating system throughout its life cycle. A case study, *International Journal of Strategic Property Management* 11(3): 143–155.
- Šiupšinskas, G.; Rogoža, A. 2004. Planning of the modernisation of district heating system by evaluating the renovation of end users and the depreciation of heat supply network, in *6th International Conference "Energy for Buildings" proceedings*. Vilnius: Technika, 180–189.

### MULTI-CRITERIA ANALYSIS OF ENERGY SUPPLY FOR PASVALYS TOWN

N. Siniak, A. Rogoža

Abstract

The article examines the current heating system in Pasvalys. To improve the efficiency of the system, three alternatives are investigated. The paper presents the calculations of the need for annual heat demand in the town. Based on the available information and data about the systems and their elements, life cycle analysis and multi-criteria analysis were made displaying the obtained results in the article. Currently, environmental protection is closely related to the energy field, and therefore the system is analyzed in respect of energy and ecological aspects, including an economic point of view.

**Keywords:** central heating life cycle analysis, multi-criteria analysis.