

## Environmental engineering Aplinkos inžinerija

# ATLIEKINĖS ŠILUMOS NAUDOJIMO GALIMYBĖS MEDICINOS PRIEMONIŲ GAMYBOS PASKIRTIES PASTATE

Giedrius ŠIUPŠINSKAS \*, Martynas BLINSTRUBIS

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva*

Gauta 2020 m. liepos 2 d.; priimta 2020 m. rugpjūčio 18 d.

**Santrauka.** Straipsnyje nagrinėjamos atliekinės šilumos naudojimo galimybės medicinos priemonių gamybos pastate. Gamybos metu šeši kompresoriai veikia nuolatos, o jų generuojamas šilumos perteklius šalinamas per aušykles arba iš dalies naudojamas pastato mikroklimatui palaikyti sistemose. Straipsnio tikslas – atlikus visų inžinerinių sistemų šilumos srautų poreikio analizę, sumodeliuoti ir įvertinti atliekinės šilumos naudojimo galimybes. Tikslui pasiekti taikomas „Pinch“ metodas. Šiluminės energijos srautai ir šilumokaičių tinklas modeliuojamas naudojant „PinCH 3.0“ programinę įrangą. Atliktas vertinimas parodė, kad pasitelkus „Pinch“ analizę, analizuojamame objekte įmanoma atgauti ir panaudoti net iki 20 % daugiau šiluminės energijos, lyginant su pirminių projekto variantu.

**Reikšminiai žodžiai:** atliekinė šiluma, kompresorių aušinimas, procesų ir sistemų integravimas, „Pinch“ metodas, „PinCH 3.0“ modeliavimo programa.

## Įvadas

Pasaulyje net 65 % galutinės energijos pagaminama naudojant iškastinį kurą, todėl globaliu mastu kyla susirūpinimas dėl energijos išteklių mažėjimo, CO<sub>2</sub> ir kitų šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) išmetimo į aplinką sprendimo. „Eurostat“ duomenimis, 2018 m. Europos Sąjungos šalyse (EU28) pramonėje suvartota 25 % galutinės energijos, o tai rodo didelį taupymo potencialą (European Energy Agency, 2020). Vienas pagrindinių tikslų šiame sektoriuje – nemažinant gamybos apimčių ir nepakenkiant produkto kokybei, kuo labiau sumažinti energinių išteklių sąnaudas. Net 30–50 % pramonėje suvartojamos energijos tenka technologinių srautų ir įrenginių aušinimui bei šios energijos pertekliaus šalinimui per aušykles (European Energy Agency, 2020). Tokiu būdu prarandama pakartotiniam naudojimui tinkama energija (PinCH - saves energy and costs, n.d.; Jouhara et al., 2018). Procesų integravimas („Pinch“ analizė) yra vienas iš galimų metodų, kuris leidžia metodiškai tiksliau įvertinti atliekinės energijos suvartojimą siekiant padidinti energijos efektyvumą gamyboje bei sumažinti poveikį aplinkai (Klemeš ir Kravanja, 2013; Fu et al., 2018). Kartais „Pinch“ metodas derinamas kartu su eksergine analize (Hamsani et al., 2018; Li et al., 2019).

Atliekinė šiluma pagal temperatūrą gali būti skirstoma į tris lygius: aukšto (temperatūra aukštesnė nei 400 °C), vidutinio (temperatūra svyruoja tarp 100–400 °C) ir žemo (temperatūra žemesnė negu 100 °C) potencialo (Jouhara et al., 2018). Šiame straipsnyje analizuojama žemo potencialo atliekinės šilumos naudojimo pramonės įmonėje galimybės. Darbo tikslas – pagal „Pinch“ metodą nustatyti techniniu ir ekonominiu požiūriu priimtinausias žemo potencialo atliekinės šilumos panaudojimo galimybes gamybinės paskirties pastate. „Pinch“ analizė – tai pasaulyje plačiai paplitusi metodika, taikoma pramonės sektoriaus įmonių energinio efektyvumo problemoms spręsti. Ji skirta procesams projektuoti, siekiant mažinti vartojamos energijos ir didinti atgaunamos šilumos kiekį (Šiupšinskas ir Misevičiūtė, 2012). Šiame darbe analizuojamas gamybinės paskirties pastatas, kuriame pagrindiniai atliekinės šilumos generatoriai yra vandeniu aušinami kompresoriai, tiekiantys gamybai būtiną suslėgtąjį orą. Naudojant „PinCH 3“ modeliavimo programą, analizuojami esamų sistemų technologiniai srautai, apskaičiuojamas atgaunamos energijos kiekis ir nustatomos preliminarios investicijos į atliekinei šilumai atgauti skirtus sprendinius.

\*Autorius susirašinėti. El. paštas [giedrius.siuapsinskas@vgtu.lt](mailto:giedrius.siuapsinskas@vgtu.lt)

## 1. Tyrimo objektas

Straipsnyje analizuojama Sergeičikų kaime esanti medicinos pagalbos priemonių gamykla. Nagrinėjamas pastatas skiriamas į dvi dalis: gamybinę ir administracinę zonas. Bendrasis pastato plotas – 32 000 m<sup>2</sup>. Gamybinėje dalyje vyksta nepertraukiamas darbas trimis pamainomis. Čia įrengtos švarios patalpos, atitinkančios ISO 8 klasę. Statinio šildymo sistema yra kombinuotoji – ją sudaro grindinio, radiatorinio, recirkuliacinių oro šildytuvų ir vėdinimo sistemos. Šiluma ruošama dujinėje katilinėje. Vėsinti pasitelktos aktyvios šalčio sijos, ventiliatoriniai konvektoriai, vėdinimo sistemos. Pastatas atitinka A energinės klasės reikalavimus.

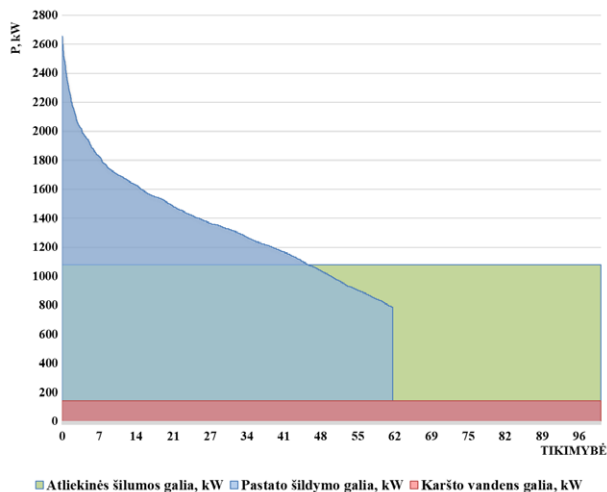
Atliekinę šilumą gamykloje generuoja du srautai, skirti kompresoriams aušinti. Pirmasis srautas aušina įrenginius nuo 90 °C iki 45 °C, antrasis – nuo 40 °C iki 30 °C ribos. Srautų duomenys pateikiami 1 lentelėje.

Raide K 1 lentelėje žymimi kompresoriai, skaičius nurodo įrenginio numerį. Visi nurodyti kompresoriai aušinami vandeniu nuo pradinės (T1) iki tikslo temperatūros (T2). Atliekinės šilumos galia žymima Q, kW.

Bendra kompresorių aušinimo srauto galia – 1083 kW. Analizuojamos įmonės gamybinėje zonoje dirbama trimis pamainomis, todėl toks šilumos srautas yra pastovus. Administracinės zonos šilumos poreikis šildyti ir vėdinti priklauso nuo klimato sąlygų.

Pastato šilumos poreikio šildyti, vėdinti ir ruošti karštą vandenį trukmės kreivė kartu su kompresorių išskiriamu šilumos kiekiu pateikiama 1 paveiksle.

1 paveikslo apačioje matomas rausva spalva nuspaltintas plotas nurodo karšto vandens poreikį, kuris išlieka pastovus visus metus. Mėlyna spalva žymimas plotas rodo pastato šildymo galios kitimą šildymo sezono laikotarpiu. Žalia spalva iliustruoja kompresorių didžiausią pastovų



1 paveikslas. Kumuliacinė šilumos poreikio ir kompresorių aušinimo kreivės  
Figure 1. Cumulative heat demand and compressor cooling curves

aušinimo poreikį. Ši galia visus metus yra pastovi. Galima pastebėti, kad teoriškai plotai, dengiantys vienas kitą, rodo didelį šilumos atgavimo potencialą. Daugiau nei pusė šilumos poreikio šildyti ir vėdinti bei visas karšto buitinio vandens poreikis gali būti dengiama vien tik atliekine šiluma. Tik esant žemesnėms lauko temperatūroms ir tuomet, kai nėra pakankamos šilumnešio temperatūros, prireiktų papildomo šilumos šaltinio, kuris pagal projektą kūrenamas gamtinėmis dujomis.

Pirminiame baziniame projekto variante nustatyta, kad maksimali atgaunama šilumos galia yra 620 kW iš galimų 1083 kW. Likusi dalis išmetama į lauką per aušykles.

1 lentelė. Pirminio ir antrinio kompresorių aušinimo srauto duomenys  
Table 1. Primary and secondary compressor cooling flow data

90/45 °C	Aušinančio srauto galia Q, kW	Aušinančio srauto debitas q, m <sup>3</sup> /h	Pradinė temperatūra T1, °C	Tikslo temperatūra T2, °C	40/30 °C	Aušinančio srauto galia Q, kW	Aušinančio srauto debitas q, m <sup>3</sup> /h	Pradinė temperatūra T1, °C	Tikslo temperatūra T2, °C
K1	63,0	1,2	90,0	45,0	K1	23,3	2,0	40,0	30,0
K2	63,0	1,2	90,0	45,0	K2	23,3	2,0	40,0	30,0
K3	194,3	3,7	90,0	45,0	K3	42,0	3,6	40,0	30,0
K4	183,8	3,5	90,0	45,0	K4	40,8	3,5	40,0	30,0
K5	183,8	3,5	90,0	45,0	K5	40,8	3,5	40,0	30,0
K6	183,8	3,5	90,0	45,0	K6	40,8	3,5	40,0	30,0
Suminis	<b>871,5</b>	<b>16,6</b>				<b>211,2</b>	<b>18,1</b>		

## 2. „Pinch“ analizės metodas

Vertinant atliekinės energijos naudojimo galimybes, reikia atsižvelgti į šiuos dalykus (Bendig et al., 2013):

- suskirstyti atliekinę šilumą į išvengiamus ir neišvengiamus nuostolius;
- nustatyti, kiek atliekinės šilumos gali būti atgaunama;
- aiškiai ir suprantamai pateikti informaciją inžinieriams, statistikams ir politikos formuotojams atliekinės šilumos naudojimo potencialui.

Šiems punkтамs įvertinti pasaulyje plačiai taikomas „Pinch“ analizės metodas. „Pinch“ atsiradimą paskatino 1970 m. įvykusi pasaulinė energijos krizė. Ši metodika iki šių dienų vis dažniau ir plačiau taikoma chemijos, naftos, maisto, plieno pramonėje, kur atliekinės šilumos potencialas yra didelis (Klemeš ir Kravanja, 2013). „Pinch“ pagrįsta gana praktišku antrojo termodinamikos dėsnio aiškinimu, todėl vartotojui priskiriama nemaža atsakomybė, kad jis suprastų procesą, kurį bando optimizuoti. Atsižvelgiant į optimalų ekonominį ir energinį kompromisą, galima apskaičiuoti energijos tikslus, apimančius tik išvengiamus nuostolius (PinCH, 2020). „Pinch“ analizę galima suskirstyti į atskirus etapus. Pirmasis etapas apima reikalingų duomenų apie tiriamą objektą surinkimą, gamybos reikalavimų nustatymą ir energijos bei masės balanso sudarymą. Surinkus visus duomenis apie esamus potencialius srautus atgauti energiją pereinama prie antrojo etapo. Šiame etape nustatomi energijos atgavimo tikslai, t. y. nustatoma investicijų priklausomybė nuo atgaunamos energijos kiekio. Jeigu pirminiai ekonominiai skaičiavimai atitinka iškeltus tikslus, pereinama prie trečiojo etapo. Jame projektuojamas šilumokaičių tinklas, jis gali būti kartu ir optimizuojamas. Galutiniam etape nustatomos suminės investicijos į šilumokaičių tinklą, jo eksploatavimo išlaidos. Pagrindiniai šios metodikos privalumai yra tokie: galimybė aiškiai, pagal nustatytus tikslus įvertinti didžiausią įmanomą atgauti energijos kiekį; suprojektuoti ir optimizuoti galimą šilumokaičių tinklą (Fu et al., 2018). Detaliai „Pinch“ analizės metodas aprašomas 2006 m. išleistame vadovėlyje (Kemp, 2006).

## „Pinch“ modeliavimas su „PinCH 3.0“ programa

Sudėtingiems uždaviniams spręsti ir dideliems informacijos kiekiams apdoroti dažnai naudojamos kompiuterinės programos. Šiam tyrimui vidinio šilumokaičių tinklui projektuoti naudojama Šveicarijoje sukurta modeliavimo programa „PinCH 3.0“, leidžianti efektyviau ir greičiau rasti praktiniu ir ekonominiu požiūriu pagrįstus sprendimus atgaunant šilumą.

Ši programa analizę skiria į tris pagrindinius etapus:

- srautų surinkimą ir aprašymą;
- energijos ir lėšų taupymo galimybių skaičiavimus;
- šilumokaičių tinklo projektavimą.

Pirmajame etape atliekami suprojektuotų sistemų ir atliekinės šilumos srautų jungimas šilumokaičiais. Šiltieji srautai (2 lentelėje žymimi H raide) yra atliekinės šilumos srautai, šaltieji (2 lentelėje žymimi C raide) – pastato šilumos perdavimo sistemos. Šiltieji srautai pagal „Pinch“ metodiką yra tie srautai, kurie turi būti ataušinti, o šaltieji – pašildyti. Pradiniame analizės etape visų kompresorių atliekinės šilumos srautai vertinami bendrai, tačiau prirėikus jie gali būti skaidomi. 2 lentelėje pateikiami pasirinkti srautai.

Daroma prielaida, kad atliekinė šiluma bus generuojama ir gali būti naudojama nepertraukiamai visus metus, kompresoriai bus atjungiami tik įvykus gedimui. 2 lentelėje nurodomos šiluminės galios atspindi potencialią srauto galią. Ženklas prie konkrečių reikšmių rodo proceso kryptį, t. y. tuo atveju, kai ženklas teigiamas, šilumos srautas turi būti ataušintas t. y. atiduoti nurodytą šiluminę galią. Kai ženklas neigiamas, srautui norint pasiekti užsibrėžtą tikslo temperatūrą, reikia suteikti nurodytą šiluminę galią.

Projekto technologinių srautų naudojimo sprendimas priklauso nuo išorinių (šildymo / vėsinimo) įrenginių šilumos mainų įrangos kainos ir energijos išlaidų. Tai optimizacinis uždavinys, nes geriausias ekonominiu požiūriu rezultatas priklauso nuo mažiausio temperatūrų skirtumo tarp srautų ( $\Delta T_{\min}$ ). Šiam dydžiui didėjant, šilumokaičio paviršiaus plotas, galia ir investicijos į įrangą (dėl sumažėjusio ploto) mažėja, tačiau išlaidos išoriniam šildymui ir vėsinimui didėja. Mažiausiam temperatūrų skirtumui mažėjant, atvirkščiai, investicijos į įrangą didėja, o išlaidos papildomai energijai mažėja.

2 lentelė. Analizuojamo objekto karštieji ir šaltieji srautai  
Table 2. Hot and cold flows of analysed object

Srautas	Srauto santrumpa	Pradinė temperatūra, °C	Tikslo temperatūra, °C	Šiluminė talpa, kW/K	Šiluminė galia, kW
Kompresorių aušinimo srautas	H1	90	45	19,4	873
Kompresorių aušinimo srautas	H2	40	30	21,1	211
Šildymo sistema recirkuliaciniais oro šildytuvais	C1	40	50	14,8	-148
Šilumos tiekimas vėdinimo sistemoms	C2	50	70	28,5	-570
Šildymo sistema aktyvioms šalčio sijoms	C3	35	45	6,4	-64
Karštas vanduo	C4	10	55	3,1	-140

Atliktas objekto modeliavimas parodė, kad ekonomiškai priimtinausias mažiausias galimas temperatūrų tarp srautų skirtumas  $\Delta T_{\min}$  yra 9,18 °C, o „Pinch“ temperatūra – 44,6 °C. Esant tokiam minimaliam temperatūrų skirtumui tarp srautų, maksimali atgaunamos šilumos galia yra 917 kW. Išoriniam šildymui reikės papildomai 4,5 kW galios šilumos šaltinio, išoriniam aušinimui – 167,0 kW. Bendras šilumokaičių plotas bus 158,6 m<sup>2</sup>, pirminiame variante numatomi devyni atskiri šilumokaičiai. Pagal „PinCH 3.0“ programos rekomendacijas 100 m<sup>2</sup> šilumokaičio kaina – 112 932 eurai.

Programoje užpildžius visus duomenis apie turimus srautus, modeliuojamas šilumokaičių tinklas. „PinCH 3“ modeliavimo programa suprojektuotas šilumokaičių tinklas pateikiamas 2 paveiksle.

Pagal „Pinch“ metodą projektuojamas idealios didžiausios galimos atgauti šilumos sistemos vidinių šilumokaičių tinklas pradedamas nuo tinklo skaidymo į du atskirus posistemius ties „Pinch“ riba. Tokiu būdu siekiama, kad pagal „Pinch“ taisyklės nebūtų šilumos mainų per „Pinch“ ribą. 2 paveiksle horizontaliomis linijomis jungiami šilti srautai su šaltais, tai vidiniai šilumokaičiai. Norint vienu

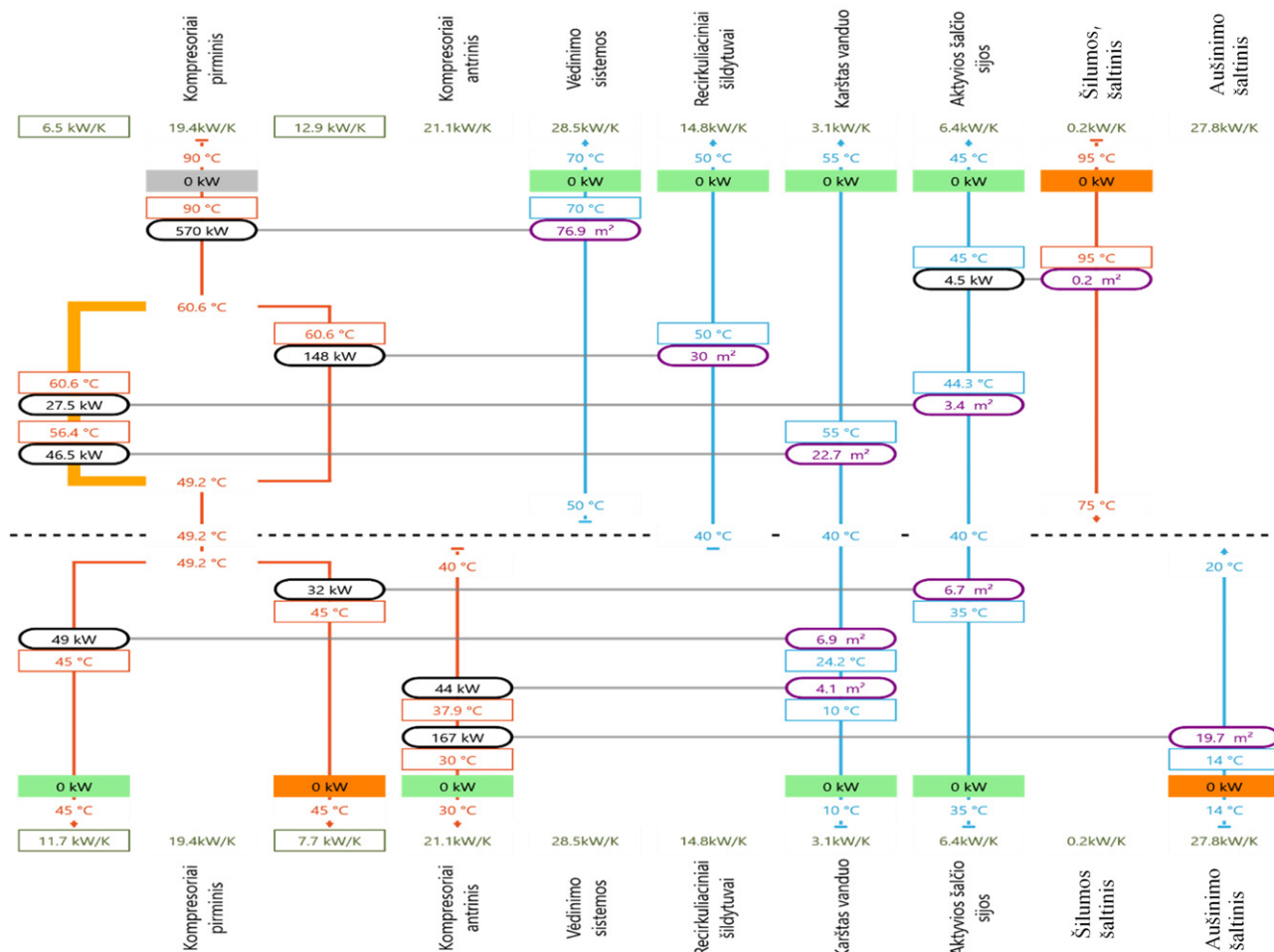
srautu perduoti šilumą keliems srautams, jis gali būti išskaidytas į atskirus.

Analizuojamoje sistemoje gali būti projektuojami septyni vidiniai ir du išoriniai šilumokaičiai. Investicijos į vidinius šilumokaičius yra mažesnės, negu buvo numatyta, – vietoj 258 704 Eur gaunama 227 091 Eur, tačiau padidėja išlaidos išoriniams įrenginiams, todėl padidėja ir eksploatacinės išlaidos.

### 3. Ekonominis vertinimas

Atliktas pirminis šilumokaičių tinklo projektavimas leidžia pasiekti didžiausią galimą atgaunamos atliekinės šilumos kiekį, esant pasirinktos mažiausios temperatūros skirtumui tarp srautų. Tačiau šis sprendimas nebūtinai yra geriausias ekonominiu požiūriu. Šiame darbe rezultatas lyginamas su įmonės pasirinktu sprendimo variantu.

Pramonėje dažniausiai investicijos numatomos trumpam laikotarpiui, todėl pasirinktas 5 metų ekonominės analizės laikotarpis. Vertinant daroma prielaida, kad bazinis variantas – kai atliekinė šiluma nėra atgaunama. Ki-



2 paveikslas. Šilumokaičių tinklo diagrama  
Figure 2. Heat exchanger network diagram

tas variantas atitinka gamyklos projekcinį sprendimą, kai, aušinant pirminį kompresoriaus srautą, numatytas vienas 620 kW vidinis šilumokaitis šilumai atgauti. Antrinio kompresoriaus srauto šiluma nėra naudojama ir išmeta per aušykles į aplinką. Investicijos į šį šilumokaitį yra 80,9 tūkst. eurų ir tai yra gerokai mažiau, negu lyginant su variantu (227 tūkst. eurų), atliktu pagal „Pinch“ metodiką, tačiau eksploatacinės išlaidos kompresoriaus srautams aušinti ir šildymo sistemoms yra gerokai didesnės.

Ekonominiame skaičiavime daromos pagrindinės prielaidos:

- Pramoninės 1 kW elektros (kuri suvartojama ventiliatoriuose) aušyklės leidžia „išmesti“ 20 kW šilumos srautą. Tuomet jos „efektyvumas“ yra 20.
- Technologinio aušinimo poreikis atitinka nuolatinį visų kompresorių aušinimą ištisus metus.
- Išorinės šilumos poreikis gamykloje nustatytas iš bendro šilumos poreikio šildyti, vėdinti ir karštam buitiniam vandeniui ruošti atmetus iš technologinių įrenginių naudingai atgautą šilumą. Esant baziniam variantui, šiluma neatgaunama.
- Elektros ir dujų kainos atitinka 2020 metų lygį (elektros kaina 0,113 EUR/kWh; gamtinių dujų – 0,35 EUR/m<sup>3</sup>). Dujų kaloringumas – 9,4 kWh/m<sup>3</sup>.

Išorinės šilumos gamybos kaina (tik kuro dalis) – 37,4 EUR/kWh.

– Diskonto norma – 5 %.

Skaičiavimų rezultatai ir kiti reikiami dydžiai pateikiami 3 lentelėje.

Atliktas ekonominis nagrinėtų atliekinės šilumos naudojimo variantų vertinimas rodo, kad variantas be šilumos atgavimo yra labai nuostolingas sprendimas. Pastato šilumos poreikis šildyti, vėdinti ir buitiniam karštam vandeniui ruošti užtikrinamas dujine katiline. Technologinė atliekinė šiluma yra šalinama per aušykles.

Įdiegus 680 kW galios šilumokaitį, kurio bendros investicijos sudaro 81 tūkst. eurų, sutaupoma daug išlaidų ir toks sprendimas atsiperka trumpiau nei per pusę metų. Įvertinus grynąją dabartinę vertę (su 5 % diskonto norma), per penkerius metus būtų pasiektas 869 tūkst. eurų lygis. Šis variantas numatytas projektuotojų pagal projektą, tačiau ar buvo remiamasi, kokia nors vertinimo metodika, duomenų nėra.

Pritaikius „Pinch“ metodą galima pastebėti, kad atgaunama gerokai daugiau atliekinės energijos, nes panaudojama kartais net 917 kW iš 1083 kW galios. Tačiau dėl mažesnio temperatūros tarp srautų skirtumo smarkiai padidėja investicijos į vidinius šilumokaičius. Bendra

3 lentelė. Ekonominiai atliekinės šilumos naudojimo vertinimo rezultatai  
Table 3. Economic results of waste heat utilization assessment

	Metai	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Bazinis be šilumos atgavimo	Investicijos, tūkst. Eur	0					
	Technologinio aušinimo poreikis, MWh	0	9484	9484	9484	9484	9484
	Išorinio aušinimo energijos kaina, EUR/MWh	0	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7
	Išorinės šilumos gamykloje poreikis, MWh	0	9037	9037	9037	9037	9037
	Išorinio šildymo energijos kaina, EUR/MWh	0	37,4	37,4	37,4	37,4	37,4
	Grynųjų pinigų srautai, tūkst. EUR	0	391	391	391	391	391
	Projektinis variantas	Investicijos, tūkst. Eur	80,9				
Technologinio aušinimo poreikis, MWh		0	4053	4053	4053	4053	4053
Išorinio aušinimo energijos kaina, Eur/MWh		0	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7
Išorinės šilumos gamykloje poreikis, MWh		0	3985	3985	3985	3985	3985
Išorinio šildymo energijos kaina, Eur/MWh		0	37,4	37,4	37,4	37,4	37,4
Grynųjų pinigų srautai, tūkst. Eur		0	171,8	171,8	171,8	171,8	171,8
Sutaupyta, tūkst. Eur		0	219	219	219	219	219
Grynoji dabartinė vertė (po 5 metų, tūkst. Eur)		869					
PAL		0,37					
Pagal „Pinch“ metodiką	Investicijos, tūkst. Eur	227					
	Technologinio aušinimo poreikis, MWh	0	1451,0	1451,0	1451,0	1451,0	1451,0
	Išorinio aušinimo energijos kaina, Eur/MWh	0	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7
	Išorinės šilumos gamykloje poreikis, MWh	0	2429,0	2429,0	2429,0	2429,0	2429,0
	Išorinio šildymo energijos kaina, Eur/MWh	0	37,4	37,4	37,4	37,4	37,4
	Grynųjų pinigų srautai, tūkst. Eur	0	98,9	98,9	98,9	98,9	98,9
	Sutaupyta, tūkst. Eur	0	292	292	292	292	292
	Grynoji dabartinė vertė (po 5 metų, tūkst. Eur)	1038					
	PAL	0,78					

investicijų suma padidėja beveik trigubai iki 227 tūkst. eurų. Bendras paprastas atsipirkimo laikas pailgėja dvigubai, nei numatyta projektiniame variante, tačiau pagal grynosios dabartinės vertės rodiklį per penkerius metus pasiekiamas apie 19 % didesnis lygis.

Ši preliminarinė analizė rodo, kad, pasitelkus mokslinius metodus, galima nustatyti didžiausias atliekinės šilumos naudojimo ribas bei įvertinti jas ne tik techniniu, bet ir ekonominiu požiūriais.

## Išvados

Kaip rodo statistika, atliekinė šiluma pramonėje sudaro didelę dalį neišnaudojamo potencialo. Projektuojant naujus objektus atlikti „Pinch“ analizės metodu grįsti vertinimai gali padėti pasiekti geresnius, nei įprasta, energijos vartojimo rezultatus.

Projektinio varianto įdiegimas leistų sutaupyti kasmet 219 tūkst. eurų ir, įvertinus tik 80,9 tūkst. eurų investicijas, atsipirkimų per trumpesnę nei pusės metų laikotarpį.

Atlikta „Pinch“ analizė parodė, kad ekonominiu požiūriu optimalus temperatūrų skirtumas ( $\Delta T_{\min}$ ) tarp analizuojamų srautų yra 9,18 °C. Esant šiam mažesniai temperatūros skirtumui, reikalingos beveik tris kartus didesnės investicijos – 227 tūkst. eurų, kurį lemia didesnis šilumokaičių plotas. Tačiau kasmet sutaupoma 292 tūkst. eurų. Jei vertintume tai „Pinch“ analizės atveju, atsipirkimo laikas pailgėja beveik dvigubai, tačiau nesiekia vienerių metų. Pagal grynosios esamosios vertės rodiklį per penkerius metus „Pinch“ analizės generuojama vertė beveik 20 % viršija pasirinktą projektinį sprendimą.

## Literatūra

- Bendig, M., Maréchal, F., & Favrat, D. (2013). Defining “Waste Heat” for industrial processes. *Applied Thermal Engineering*, 61(1), 134–142. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2013.03.020>
- European Energy Agency. (2020). *Final energy consumption by sector and fuel in Europe*. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/final-energy-consumption-by-sector-10/assessment>
- Fu, C., Vikse, M., & Gundersen, T. (2018). Work and heat integration: an emerging research area. *Energy*, 158, 796–806. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.06.030>

- Hamsani, M. N., Walmsley, T. G., Liew, P. Y., & Wan Alwi, S. R. (2018). Combined Pinch and exergy numerical analysis for low temperature heat exchanger network. *Energy*, 153, 100–112. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.04.023>
- Jouhara, H., Khordehghah, N., Almahmoud, S., Delpéch, B., Chauhan, A., & Tassou, S. A. (2018). Waste heat recovery technologies and applications. *Thermal Science and Engineering Progress*, 6, 268–289. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2018.04.017>
- Kemp, I. C. (2006). *Pinch analysis and process integration a user guide on process integration for the efficient use of energy*. Butterworth-Heinemann.
- Klemeš, J. J., & Kravanja, Z. (2013). Forty years of Heat Integration: Pinch Analysis (PA) and Mathematical Programming (MP). *Current Opinion in Chemical Engineering*, 2(4), 461–474. <https://doi.org/10.1016/j.coche.2013.10.003>
- Li, B. H., Chota Castillo, Y. E., & Chang, C. T. (2019). An improved design method for retrofitting industrial heat exchanger networks based on Pinch Analysis. *Chemical Engineering Research and Design*, 148, 260–270. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2019.06.008>
- PinCH - saves energy and costs. (n.d.). *PinCH - a new engineering software tool to increase energy efficiency and profitability in the process industries*. <http://pinch-analyse.ch/>
- Šiupšinskas, G. ir Misevičiūtė, V. (2012). *Šiluminių procesų integravimo uždavinynas*. VGTU leidykla „Technika“. <https://doi.org/10.3846/1301-S>

## THE OPTIONS OF WASTE HEAT UTILIZATION IN A BUILDING OF MEDICAL PRODUCT'S MANUFACTURE

G. Šiupšinskas, M. Blinstrubis

### Abstract

This article examines the possibilities of using waste heat in a building for the production of medical products. During the production, 6 compressors operate continuously, and the generated excess heat is removed through coolers or partially used in building heating, ventilation and domestic hot water production systems. The aim of this article is to model and evaluate the possibilities of using waste heat after performing the analysis of heat flow demand of all the engineering systems. The pinch method is used to achieve this goal. Heat flows and heat exchanger network are modelled using PinCH 3.0 software. The performed assessment shows that with the help of pinch analysis, in the analysed object it is possible to recover and use more than 20% of waste heat as compared to the initial design variant.

**Keywords:** waste heat, compressor cooling, process and system integration, pinch method, PinCH 3.0 modelling program.