

SEZONINĖS ŠILUMOS AKUMULIACINĖS TALPYKLOS TŪRIO MODELIAVIMAS
CENTRALIZUOTOJE SAULĖS ŠILDYMO SISTEMOJEGiedrė Streckienė¹, Salomėja Bagdonaitė²*Vilniaus Gedimino technikos universitetas**El. paštas: ¹giedre.streckiene@vgtu.lt; ²salomeja.bagdonaitė@gmail.com*

Santrauka. Šilumos akumuliacinio sistemos integracija į saulės šildymo sistemą suteikia galimybę padidinti Saulės šiluminės energijos panaudojimą pastatuose, nes tai leidžia išvengti vartotojų poreikio ir šilumos gamybos nesutapimo laike. Šiame darbe modeliuojama sezoninė šilumos akumuliacinė talpykla, analizuojami įvairūs jos dydžiai centralizuotoje saulės šildymo sistemoje. Nagrinėjama sistema galėtų užtikrinti dalį individualių namų mikrorajono, esančio Vilniuje, šilumos poreikių. Kaip papildomas šilumos šaltinis modeliuojama biokuro katilinė, kuri leistų užtikrinti likusią šilumos poreikių dalį. Modeliavimas atliekamas *energyPRO* programa įvertinant pastatų poreikius, klimatinės sąlygas ir technologines įrenginių charakteristikas.

Reikšminiai žodžiai: sezoninis akumuliacinimas, akumuliacinė talpykla, saulės šildymo sistema, modeliavimas.

Įvadas

Šiuo metu didžioji dalis Lietuvoje suvartojamo kuro ir energijos yra importuojama. Siekiant sumažinti priklausomybę nuo importuojamo kuro ir organinio kuro įtaką aplinkai, svarbu kuo plačiau naudoti atsinaujinančiuosius energijos išteklius (AEI). Lietuvos nacionalinėje atsinaujinančių energijos išteklių plėtros strategijoje yra iškeltas tikslas – užtikrinti, kad AEI dalis pagal bendrą šalies galutinį suvartojimą 2020 metais sudarytų ne mažiau nei 23 procentus.

Viena iš galimybių siekti darnios plėtros ir energetinės nepriklausomybės tikslų – AEI integravimas į esamas ir būsimas technologines sistemas. Atsižvelgiant į tai, kad viena iš AEI naudojimo kliūčių yra jų nepastovumas laike, pvz., vėjo, saulės, potvynių ir bangų energijos negalime tiesiogiai sukaupti. Šiam trūkumui panaikinti reikia papildomai išnagrinėti energijos kaupimo sistemos įrengimo galimybę. Kintantys laike AEI gali būti paverčiami kita energijos forma (elektra ar šiluma), kuri yra sukaupiama, o vėliau prireikus ši energija panaudojama (Evans *et al.* 2012).

Remiantis Lietuvos energetikos instituto statistiniais duomenimis 2010 m. Lietuvoje vienam gyventojui teko 4125 kWh šilumos gamybos ir 1749 kWh elektros gamybos, elektros sąnaudos sudarė 3270 kWh (Miškinis 2011). Šių dviejų energijos formų reikia įvairioms gyventojų paslaugoms pateikti ir užtikrinti. Nagrinėjant šilumos sektorių, namų ūkiui 2010 m. tenka net 57,3 % visų galutinių šilumos sąnaudų (Miškinis 2011). Skirtingais metais namų ūkio šilumos sąnaudos gali nereikšmingai svyruoti, tačiau iki šiol visą laiką viršijo 50 %.

Atsižvelgiant į tai, kad Lietuvos gyventojai daug moka už šilumą, viena iš galimybių yra mažinti šilumos poreikį pastatuose, o kita – alternatyvių energijos šaltinių naudojimas. Didėjant iškastinio kuro, naudojamo šilumai gaminti, kainoms, vis dažniau apsvairstoma ir įgyvendinama galimybė naudoti saulės energiją. Pastebimas didėjantis dėmesys saulės šildymo sistemoms ir jų galimybėms.

Viena iš sudėtinių saulės šildymo sistemos dalių yra šilumos akumulatorius. Šilumos akumuliacinio sistemos gali būti taikomos trumpalaikiam (vienos ar kelių parų) ir ilgalaikiam šilumos kaupimui. Šio tyrimo tikslas yra išanalizuoti pastatų kvartalo galimybę apsirūpinti šiluma įrengus centralizuotą saulės kolektorių sistemą su sezonine šilumos akumuliacine talpykla. Sezoninių saulės energijos akumuliacinio talpyklų pagrindinė idėja – tai kompensuoti sezoninius nesutapimus tarp gaunamos šilumos iš saulės ir vartotojo šilumos poreikio. Taip pat modeliuojamas kolektorių plotas ir sezoninės akumuliacinės talpyklos dydis. Parenkant šiuos saulės šildymo sistemos pagrindinių įrenginių dydžius, įvertinamos ir klimatinės sąlygos, ir vartotojų poreikių ypatybės. Saulės kolektorių ploto ir šilumos akumuliacinės talpyklos tūrio nustatymas turi būti vertinamas kiekvienu atveju, nes šių dviejų komponentų dydžiai turi didžiausią poveikį pradinėms investicijoms.

Sezoninės akumuliacinės talpyklos saulės šildymo sistemose

Patenkantis saulės spindulių kiekis į tipinio mažaukščio pastato stogą paprastai viršija šio namo energijos

poreikius per metus. Tačiau Europoje pastatams šildyti ir karštam vandeniui ruošti, lyginant su kitais pastato energijos poreikiais, tenka 82 %. Tai rodo didelį saulės šilumos technologijų potencialą norint panaudoti saulės spinduliuotę kaip naudingą šilumą (Pinel *et al.* 2011).

Šaltesnio klimato šalyse šilumos suvartojimas išauga žiemą, ypač rytais ir vakarais, kai vartotojai daugiau naudoja karšto vandens. Šiluminiams paros netolygumams išlyginti dažnai naudojamos akumuliacinės talpyklos, užpildytos vandeniu. Tačiau galimas ir sezoninis šilumos kaupimas. Sezoninės akumuliacinio sistemos paprastai yra gerokai (100–1000 kartų) didesnės negu trumpalaikio akumuliacinio. Be to, tokios sistemos padėtų padengti ne tik dalį karšto vandens poreikių, bet ir patalpų šildymo (Pinel *et al.* 2011).

Vienos iš pirmųjų demonstracinių centralizuotų saulės šildymo sistemų su sezoninio kaupimo talpyklomis pradėjo veikti dar 1996 m. Hamburge ir Friedrichshafene (Vokietijoje). Čia įrengtos saulės šildymo sistemos su 3000 m² ir 5600 m² saulės kolektoriais, 4500 m³ ir 12 000 m³ karšto vandens talpyklomis, o per metus šios sistemos atitinkamai tiekėdavo 789 MWh ir 1915 MWh šilumos. Saulės šildymo sistemos gali būti apytiksliai parenkamos remiantis Centrinei ir Šiaurės rytų Europai skirtomis rekomendacijomis, kurios pateikiamos 1 lentelėje (Schmidt *et al.* 2004).

Saulės šildymo sistemoms su sezoninio akumuliacinio saugyklos gali būti kartu taikoma kogeneracija ir šilumos siurbliai (Lindenberger *et al.* 2000; Wang *et al.* 2010). Sezoninio akumuliacinio technologijos taip pat sėkmingai gali būti naudojamos vėsinimo poreikiams užtikrinti (Paksoy *et al.* 2000; Skrinska *et al.* 2005; Yumrutaş, Ünsal 2005).

Dažniausi yra keturi sezoninių šilumos akumuliacinio saugyklų tipai (Bauer *et al.* 2010):

- karšto vandens talpykla;
- žvyro ir vandens saugykla;
- gręžinių šilumos saugykla;
- vandeningojo sluoksnio saugykla.

Karšto vandens akumuliacinėse talpyklose ir žvyro bei vandens saugyklose paprastai galima akumuliuoti nuo 60 iki 80 kWh/m³, gręžinių šilumos saugyklose – 15–30 kWh/m³, o vandeningojo sluoksnio saugyklose – 30–40 kWh/m³ (Mangold 2007).

Nordell ir Hellström (2000) modeliuodami saulės šildymo sistemą su gręžinių šilumos saugykla 90 pastatų šilumos poreikiams (1080 MWh per metus) užtikrinti nustatė, kad ant jų stogų gali būti sumontuota 3000 m² saulės kolektorių, o požeminės saugyklos tūris sudarytų 60 000 m³. Švedijoje (Anenbergo mieste) įrengta požeminė 60 000 m³ saugykla

1 lentelė. Centralizuotų saulės šildymo sistemų projektavimo rekomendacijos

Table 1. Design guidelines for solar district heating systems

Sistemos tipas	Mažos saulės sistemos karštam vandeniui ruošti	Centralizuota saulės šildymo sistema su paros akumuliacinio saugykla	Centralizuota saulės šildymo sistema su sezoninio akumuliacinio saugykla
Minimalus sistemos dydis	–	Daugiau negu 30 butų arba daugiau negu 60 asmenų	Daugiau negu 100 butų (buto plotas 70 m ²)
Plokščiojo kolektoriaus plotas	1–1,5 m ² asmeniui	0,8–1,25 m ² asmeniui	1,4–2,4 m ² MWh metinio šilumos poreikio
Vandens talpyklos tūris	50–80 l/m _{pk} ²	50–100 l/m _{pk} ²	1,4–2,1 m ³ /m _{pk} ²
Saulės energijos kiekis	350–380 kWh/m _{pk} ² per metus	350–500 kWh/m _{pk} ² per metus	230–350 kWh/m _{pk} ² per metus

čia: pk – plokščiasis kolektorius

su 100 gręžinių kartu su 2400 m² saulės kolektorių plotu iš dalies padeda užtikrinti 50 gyvenamųjų pastatų šildymo poreikius. Šios saugyklos nustatyti šilumos nuostoliai sudaro apie 40 % (Lundh, Dalenbäck 2008). Šveicarijoje atliktais tyrimais nustatyta, kad naudojant gręžinių saugyklas optimalus kolektorių plotas yra 2–4 m²/MWh metinio šilumos poreikio, o gręžinių tūris šiuo atveju sudaro 4–13 m³/m² kolektoriaus (Pahud 2000).

Be pagrindinių išvardintų sezoninių šilumos akumuliacinio koncepcijų, atliekami tyrimai su įvairiais tirpalais (pvz., LiBr/H₂O, H₂O/NH₃, CaCl₂/H₂O ir kt.), kurie gali būti naudojami sezoniniam saulės šilumos kaupimui taikant absorbcijos procesus, tačiau tokios sistemos yra brangios, sudėtingos ir reikalauja papildomų bandymų (Hui *et al.* 2011).

Priklausomai nuo sistemos dydžio ir paskirties, karšto vandens akumuliacinių talpyklų tūris gali svyruoti nuo kelių šimtų litrų iki kelių tūkstančių kubinių metrų. Vanduo, kaip akumuliacinio medžiaga, patraukli lyginant su kitomis medžiagomis, skirtomis juntamajai šilumai kaupti, nes turi palyginti didelę savitąją šilumą (apie 4,2 kJ/kg K). Vienas kubinis metras vandens, jei šiluma akumuliuojama 20–80 °C temperatūrų intervale, gali sukaupti 70 kWh šilumos, o tiek šilumos gali pagaminti apie 20 m² plokščiųjų kolektorių saulėtą dieną. Vanduo yra pigus, plačiai paplitęs, naudojamas įvairiose inžinerinėse sistemose ir nenuodingas (Hadorn 2008). Požeminės akumuliacinės sistemos gali būti užpildytos ir įvairaus tipo uolienomis ar smėliu. Šios medžiagos naudojamos, nes yra pigios ir universalios (Terziotti *et al.* 2012).

Tyrimo objektas ir skaičiavimo metodika

Tyrimo objektas

Tyrimo objektas – 20,2 ha teritorijos gyvenamasis kvartalas prie Smalinės ir Geležių gatvių sankirtos Vilniaus mieste, patvirtintas 2008 m. Vilniaus miesto detalizajame plane. Planuojamas žemės naudojimo pobūdis – mažaaukščių gyvenamųjų namų statybos bei prekybos, paslaugų ir pramogų objektų statybos. Analizuojamame kvartale numatyta 28 sklypai, kurių plotai yra nuo 826 m² iki 1458 m², užstatymo tankis – 25 % ir 70 %. Analizuojant tariama, kad šiame kvartale bus pastatyti 26 gyvenamieji namai ir du administraciniai pastatai. Pastatų užimamas plotas turėtų sudaryti 7432 m², tūris – 59 456 m³.

Pagal normatyvinius dokumentus (Pastatų karšto vandens įrengimo taisyklės 2005; STR 2.09.04:2008) nustatyta, kad gyvenamiesiems mažaaukščiams pastatams šildyti reikės 229 MWh per metus. Administraciniams pastatams šildyti reikės 66 MWh šilumos per metus. Naujai statomose pastatuose turėtų būti siekiama, kad jų šilumos poreikis šildymui atitiktų A klasės pastatams keliamus reikalavimus. Nagrinėjamu atveju gyvenamiesiems namams gauta apie 47,4 kWh/m² metus, administracinės paskirties pastatams – apie 26,5 kWh/m² metus. Karšto vandens poreikis gyvenamuosiuose namuose sudaro 152 MWh, visuomeniniuose – 44 MWh. Bendras metinis visų pastatų šilumos poreikis šildymui ir karštam vandeniui ruošti sudaro 491 MWh. Taip pat įvertinti šilumos nuostoliai vamzdynuose šiuo atveju laikant, kad jie sudarys apie 10 %, o tai būtų 49,1 MWh. Įvertinus šilumos poreikius ir nuostolius vamzdynuose, apskaičiuotas metinis šilumos kiekis yra 540,1 MWh.

Parenkant saulės šildymo sistemą su šilumos akumuliacine talpykla, svarbu įvertinti šilumos poreikio ir gaunamos šilumos iš Saulės nesutapimą laike. Nagrinėjamu atveju bendras šilumos poreikis patalpoms šildyti ir vėdinti priklauso tik nuo šildymo sezono pradžios ir pabaigos datų bei lauko oro temperatūros. Laikoma, kad šilumos nuostoliai vamzdynuose yra pastovūs laike. Karšto vandens poreikio kitimas vertinamas paros laikotarpiu. Šiuo atveju išskiriama gyvenamųjų pastatų grupė ir administracinės paskirties pastatų grupė. Sudaromas tipinis padidintų šių grupių karšto vandens poreikių grafikas remiantis kitų tyrėjų darbais (Widén *et al.* 2009). Nagrinėjamu administracinių pastatų atveju daroma prielaida, kad didesnis karšto vandens poreikis tęsiasi nuo 6 val. iki 21 val., kitu paros laiku karšto vandens poreikis sudaro 60 % maksimalaus karšto vandens poreikio. Gyvenamųjų pastatų atveju buvo išskirti du karšto vandens poreikių pikai: nuo 6 val. iki 10 val. ir nuo 17 val. iki 22 val., kai karšto vandens suvarto-

jama maksimaliai. Nuo 10 val. iki 17 val. gyventojų karšto vandens poreikis sudaro 60 % maksimalaus šilumos poreikio, likusią paros dalį karšto vandens poreikis yra 25 %.

EnergyPRO programa

Šiame darbe saulės šildymo sistema modeliuojama *energyPRO* programa, kuri leidžia atlikti ekonominę ir technologinę energijos sistemų analizę (EMD 2012). Modeliuojant sezoninę šilumos akumuliacinę talpyklą sistemoje, talpykloje sukaupiamas šilumos kiekis (kWh) nustatomas tokia lygtimi:

$$Q = \frac{V \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta T}{3600} \cdot \varepsilon, \quad (3)$$

čia: V – talpyklos tūris, m³; c_p – savitoji vandens šiluma, atliekant visus skaičiavimus lygi 4,18 kJ/(kg·K); ρ – vandens tankis, lygus 998 kg/m³; ΔT – temperatūrų skirtumas, kuris gali būti pasiektas talpykloje, K; ε – talpos tūrio išnaudojimo koeficientas.

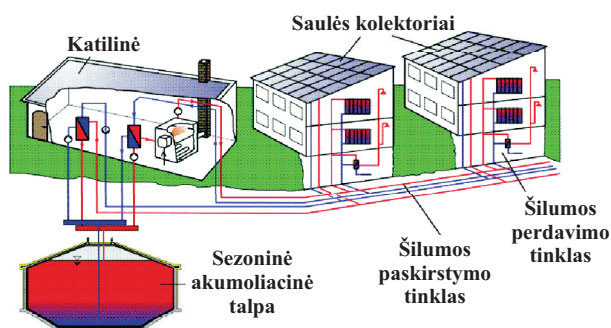
EnergyPRO programa apskaičiuojamas sukauptas šilumos kiekis talpoje kaip savitosios šilumos kaupimo atvejis. Kai mažesnio tankio karštesnis vanduo užima viršutinę talpyklos dalį, didesnio tankio šaltesnis vanduo nugrimzta į apatinę dalį.

Papildomai galima įvertinti metinius talpyklos neveikimo laikotarpius, pvz., talpyklos apžiūros, ir šilumos nuostolius. Šilumos nuostoliai apskaičiuojami įvertinant išorinės aplinkos, kurioje yra talpykla, temperatūrą, talpyklos matmenis, šiluminės izoliacijos storį ir jos laidumo koeficientą. Šios programos trūkumas yra tas, kad nėra galimybės pasirinkti kitos akumuliacinio medžiagos ir kitokios geometrinės akumuliacinės talpyklos formos negu cilindras.

Nagrinėjamos sistemos sudarymas ir prielaidos

Modeliuojamoje kvartalo aprūpinimo šiluma sistemoje surinkta saulės kolektorių šiluma yra perduodama per šiluminės trasas iki centralizuotos šilumos tiekimo katilinės ir vėliau paskirstoma pagal pastatų poreikį. Saulės kolektoriai yra montuojami ant stogų, kurie turi didelį paviršiaus plotą (Bagdonaitė, Streckienė 2012). Tokios sistemos principinė schema pavaizduota 1 paveiksle.

Tyrimo metu buvo naudojama VGTU Saulėtekio slėnio Civilinės inžinerijos mokslo centro Pastato energetinių ir mikroklimato sistemų (PEMS) laboratorijos infrastruktūra. Kas valandą saulės spinduliuotės ir išorės oro temperatūros duomenys gauti naudojantis *Meteororm Version 6.1* programa. Šie klimatologiniai duomenys tiesiogiai gali būti naudojami *energyPRO* programoje modeliuojant saulės kolektorių sistemą. Siekiant atlikti *Meteororm* programa gaunamų duomenų patikimumą, šie duomenys buvo pa-

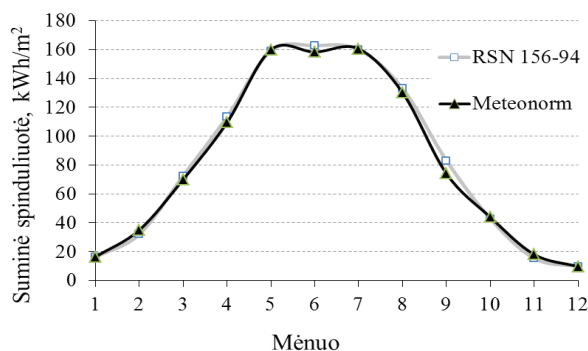


1 pav. Principinės centralizuotos saulės šildymo sistemos su sezonine akumoliacine talpykla schema (Bauer *et al.* 2010)

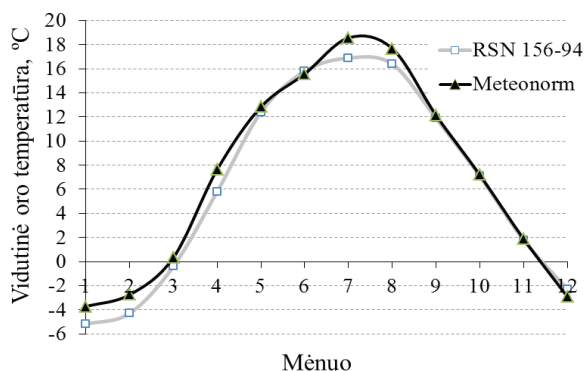
Fig. 1. Typical scheme for a solar district heating system with a seasonal storage tank (Bauer *et al.* 2010)

lyginti su Lietuvos klimatinėse normose RSN 156-94 pateiktais duomenimis, kuriuose galima patikrinti tik dviejų miestų – Kauno ir Šilutės – saulės spinduliuotės parametrus atskirais mėnesiais. *Meteonorm* programa išorės oro temperatūros kasvalandiniai duomenys generuojami remiantis 1996–2005 metais, o saulės spinduliuotės – 1991–2000 metais. Kauno miesto suminės saulės spinduliuotės ir išorės oro temperatūra remiantis RSN 156-94 ir *Meteonorm* palyginta 2 ir 3 paveiksluose.

Palyginus *Meteonorm* kasvalandinius programos duomenis su Lietuvos klimatinėmis normomis, nustatytas geras suminės saulės spinduliuotės sutapimas atskirais mėnesiais. Apskaičiuota vidutinė saulės spinduliuotė per parą Kauno mieste pagal *Meteonorm* sudaro 112,5 W/m², o pagal RSN 156-94 – 114,1 W/m². Palyginus vidutinius išorės oro temperatūros duomenis, gauta, kad pagal RSN 156-94 vidutinė metinė oro temperatūra yra 6,3 °C, o pagal *Meteonorm* – 7,1 °C, taip pat ir atskirais mėnesiais *Meteonorm* apskaičiuota temperatūra yra aukštesnė. Šis skirtumas gali būti paaiškinamas tuo, kad RSN 156-94 metų duomenys neatnaujinami jau beveik 20 metų, o *Meteonorm* skaičiavimams naudoja 1996–2005 metų duomenis.



2 pav. Kauno miesto suminės saulės spinduliuotės palyginimas
Fig. 2. Comparison of aggregated solar radiation in Kaunas

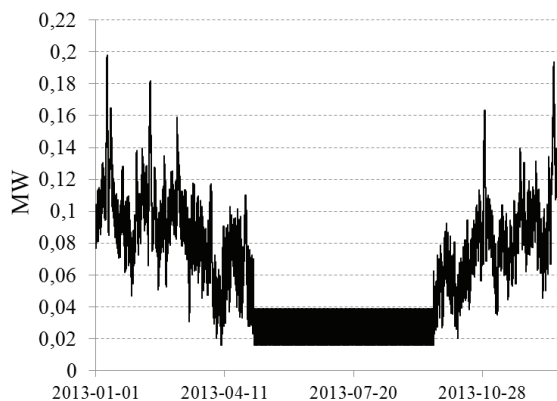


3 pav. Kauno miesto vidutinės oro temperatūros palyginimas
Fig. 3. Comparison of average ambient temperature in Kaunas

Taikant *Meteonorm* sugeneruotus kasvalandinius saulės spinduliuotės duomenis Vilniaus miestui, nustatyta, kad vidutinė saulės spinduliuotė į horizontalią plokštumą sudaro 112,3 W/m², o metinis saulės energijos kiekis – 983,6 kWh/m². Tai atitinka metinį Saulės energijos kiekį Lietuvoje, nes į vieną m² horizontalaus ploto paviršiaus jis sudaro apie 1000 kWh. Atskirais metais šis kiekis gali kiek svyruoti į vieną ar į kitą pusę (Kytra 2006). Vėliau sugeneruoti saulės spinduliuotės duomenys naudojami atliekant *energPRO* skaičiavimus.

EnergyPRO sudarytas pastatų kasvalandinio šilumos poreikio kitimas per metus, naudojamas saulės šildymo sistemai parinkti, pavaizduotas 4 paveiksle. Ne šildymo sezono metu šiluma reikalinga karštam vandeniui ruošti ir šilumos nuostoliams vamzdynuose padengti.

Atliekant analizę buvo modeliuojami vakuuminiai saulės kolektoriai, kurie pasižymi didesniu efektyvumu ir gali pasiekti aukštesnę temperatūrą nei plokštieji saulės kolektoriai, tačiau jie pasižymi sudėtingesne konstrukcija ir yra brangesni (Kytra 2006). Dėl aukštesnio energijos efektyvumo vakuuminiai saulės kolektoriai tinkamesni



4 pav. Pastatų šilumos poreikio kitimo grafikas per metus
Fig. 4. Annual heat demand for buildings

šiaurės šalių klimato zonai. Tirti parinkti tokių pačių techninių charakteristikų vakuuminiai kolektoriai (HEWALEX), kokie sumontuoti PEMS laboratorijoje. Saulės kolektoriaus techninės charakteristikos pateiktos 2 lentelėje.

2 lentelė. Modeliuojamų vakuuminių saulės kolektorių charakteristikos

Table 2. Characteristics of evacuated tube collectors

Parametras	Reikšmė
Ilgis×plotis, m	2,13×0,86
Bendras plotas, m ²	1,823
Absorberio plotas, m ²	0,93
Svoris, kg	30
Nominalus srauto greitis, l/h	60
Efektyvumas η_0 , %	0,78
Šilumos nuostolių koeficientas (linijinis) α_1 , W/(K m ²)	1,27
Šilumos nuostolių koeficientas (kvadratinis) α_2 , W/(K ² m ²)	0,0012

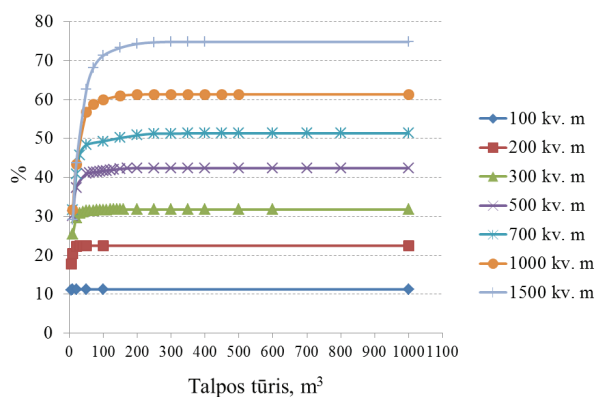
Modeliuojami kolektoriai nukreipiami į pietų pusę ir turi būti palinkę 35° kampu į horizontą. Toks saulės kolektorių orientavimas užtikrina, kad pateks optimalus saulės energijos kiekis per metus. Jei polinkio kampas bus 20° ir 45°, šilumai gaminti tai didelės įtakos neturės (LEI 2006).

Trūkstama šilumos dalis gaunama mediena kūrenamais katilais, kurių sezoninis efektyvumas 80 %. Sistemoje parenkami trys katilai: du katilai po 100 kW galios, trečiasis – 50 kW. Visiems katilams leidžiama veikti daline apkrova. Atliekant skaičiavimus laikoma, kad medienos malkų šiluminė vertė yra 1,5 MWh/erdm (Vares *et al.* 2007).

Parinkant įrenginių veikimo strategiją, pirmiausia prioritetas teikiamas saulės kolektoriams, o paskui medienos katilams. Saulės kolektorių šiluma kaupiama sezoninėje požeminėje talpykloje, kurios metinis efektyvumas nustatomas 65 %, remiantis kitų autorių, nagrinėjusių panašios paskirties sezoninių talpyklų veikimą, tyrimu (Schmidt *et al.* 2004). Užpildytos vandeniui talpyklos temperatūrų skirtumas yra 40 laipsnių.

Rezultatų aptarimas

Nagrinėjama pastatų kvartalui parenkamos skirtingo dydžio saulės kolektorių sistemos. Kiekvienai saulės šildymo sistemai atskirai parenkama šilumos akumuliacinė talpykla. Tyrimo metu nagrinėtos 100, 200, 300, 500, 700, 1000 ir 1500 m² vakuuminių saulės kolektorių sistemos. Modeliuojamų saulės kolektorių sistemų su skirtingo dydžio akumuliacinėmis talpyklomis rezultatai pateikti 5 paveiksle, kuris parodo, kokia visų kvartalo šilumos poreikių dalis gali būti padengiama iš saulės kolektorių sistemos su atitinkamo dydžio akumuliacine talpykla. Nagrinėjama



5 pav. Centralizuotos saulės šildymo sistemos užtikrinama šilumos poreikių dalis

Fig. 5. Part of heat demand covered by a solar district heating system

sistemų variantai palyginti remiantis *energyPRO* metinės optimizacijos rezultatais.

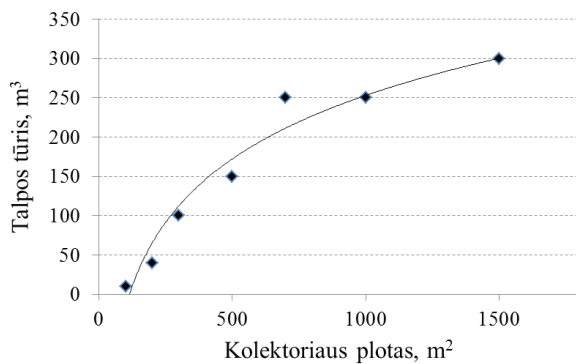
Įrengus mažiausią nagrinėtą 100 m² kolektorių sistemą visa kolektoriuose pagaminta šiluma būtų sunaudojama iš karto, todėl sezoninės akumuliacinės talpyklos poreikio nėra.

Jei planuojama, kad saulės kolektorių sistema turi užtikrinti daugiau negu 40 % visų metinių kvartalo šilumos poreikių, tokią sistemą turi sudaryti 500 ar daugiau m² saulės kolektorių. 500 m² saulės kolektorių sistemą tikslinga įrengti kartu su 150 m³ akumuliacine talpykla. Tokia sistema per metus tiekų 227,8 MWh šilumos, o tai sudaro 42,2 % viso metinio šilumos poreikio. Toliau didinant akumuliacinės talpyklos dydį, saulės kolektorių sistemos naudingai panaudojamas šilumos kiekis tik nereikšmingai didėja.

Jei būtų įrengiama 700 m² saulės kolektorių sistema, parenkamas akumuliacinės talpyklos dydis sudarytų 250 m³, o tokia sistema pagaminėtų 276,8 MWh šilumos arba užtikrintų 51,3 % šilumos poreikių. Toliau didinant talpyklos tūrį, saulės kolektorių pagaminamas metinis šilumos kiekis nedidėja. Tokiu būdu parinkus netinkamą saulės kolektorių kiekį ar akumuliacinės talpyklos dydį, sistema veiks neefektyviai. Parinkus per didelę talpyklą, atsiranda galimybė, kad saulės kolektoriai nesugebės jos įšildyti iki reikiamos temperatūros, todėl reikės šildyti papildomu šilumos šaltiniu.

Visų nagrinėtų centralizuotų saulės šildymo sistemų parinktų sezoninių akumuliacinių talpyklų tūrio priklausomybė nuo kolektorių ploto pavaizduota 6 paveiksle.

Kiekvienas 6 paveiksle pavaizduotas taškas rodo nustatytą atitinkamam saulės kolektorių plotui sezoninės akumuliacinės talpyklos dydį, kuris leistų iš saulės šildymo sistemos padengti kuo didesnius kvartalo metinius šilumos



6 pav. Akumuliacinės talpyklos tūrio priklausomybė nuo kolektorių ploto sistemoje

Fig. 6. Coherence between storage tank capacity and the area covered by collectors in the system

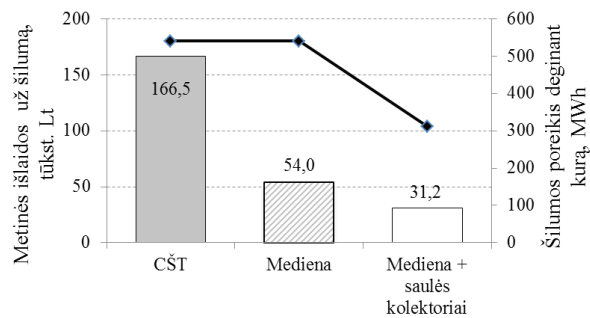
poreikius ir efektyviai išnaudotų visą akumuliacinės talpyklos tūrį. Nagrinėjamu pastatų kvartalo atveju tarp sezoninės akumuliacinės talpyklos dydžio ir kolektorių ploto nustatyta logaritminė priklausomybė.

Didesnis neišnaudojamas akumuliacinės talpyklos tūris didina visos sistemos pradinės investicijas. Karšto vandens akumuliacinių talpyklų kaina labai priklauso nuo jos tūrio, pvz., jei talpyklos tūris yra iki 200 m³, tai 1 m³ investicijos siekia apie 500 eurų, 200–1000 m³ talpyklų investicijos sudaro apie 450 eurų/m³, o jei talpykla didesnė negu 1000 m³, tai šios investicijos – 300 eurų/m³ (Bauer *et al.* 2010; Schmidt *et al.* 2004).

Siekiant padidinti sezoninio kaupimo talpyklų įrengimą, tyrimai dažniausiai atliekami grunto darbų, saugyklos konstrukcijos ir medžiagos optimizacijos kryptimis. Norint išsaugoti natūralų kraštovaizdį, didelio tūrio akumuliacinės talpyklos montuojamos po žeme. Akumuliacinės talpyklos viršutinioji dalis paliekama po žeme žemiau užšalimo ribos (Bauer *et al.* 2010; Schmidt *et al.* 2004).

Atsižvelgiant į galimas investicijas ir rizikingumą saulės kolektorių sistemai, rajonui parenkama 500 m² saulės kolektorių sistema su 150 m³ karšto vandens akumuliacine talpykla. Šiuo atveju vienam kvadratiniam metrui saulės kolektoriaus ploto tenka 300 l talpos tūrio. Esant tokiai sistemai, pasirinkta *energyPRO* programa apskaičiuota, kad papildomai per metus biokuro katilinėje dar reikėtų sudeginti 260 erdm medienos. Šį variantą palyginę su keliais atvejais, kai visa rajonui reikalinga šiluma tiekiamą naudojant centralizuotą šilumos tiekimą (CŠT) ir kai vartotojai turi rajoninę biokuro katilinę, gautume, kad metinės išlaidos už šilumą yra mažiausios papildomai įrengus saulės kolektorius su sezonine talpykla – tai parodyta 7 paveiksle.

Metinių šilumos poreikių užtikrinimo kainos palygintos įvertinant tik Vilniaus miesto CŠT kainą (308,3 Lt/MWh) ir medienos kainą 120 Lt/erdm (atvežamos malkos).



7 pav. Pastatų kvartalo šilumos poreikis deginant kurą ir metinės išlaidos už šilumą

Fig. 7. Heat demand for a district of houses burning fuel and annual expenses on heat

Nagrinėjamu atveju gauta, kad jei statomam rajonui šiluma būtų tiekiamą CŠT, tai metinės išlaidos už šilumą siektų 166,5 tūkst. Lt, naudojant biokuro katilinę, deginančią malkas, – 54,0 tūkst. Lt, o įrengus 500 m² saulės kolektorių sistemą su 150 m³ talpykla, išlaidos biokuroi sumažėtų iki 31,2 tūkst. Lt. Papildomi ekonominiai skaičiavimai turėtų būti atliekami tikslinant sistemos pagrindinių įrenginių dydžius ir įvertinant saulės sistemos ir katilinės investicijas bei reikalingą visos sistemos priežiūrą.

Tokios kombinuotos biokuro katilinės ir saulės šildymo sistemos su sezoninio kaupimo talpykla sistemos naudojimas taip pat teigiamai paveiktų aplinką, nes tai leistų mažinti išmetamų teršalų kiekius lyginant su tuo, kai visa šiluma būtų tiekiamą iš CŠT (Bagdonaitė, Streckienė 2012).

Išvados

1. Atlikta darbų apie šilumos kaupimą saulės šildymo sistemose analizė parodė, kad sezoninis šilumos kaupimas yra viena iš alternatyvų, leidžiančių efektyviai panaudoti kintamą laiką Saulės energiją. Saulės šildymo sistemų įrengimą kartu su sezonine šilumos akumuliacine talpykla dažniausiai riboja didelės pradinės investicijos, todėl šiuo metu yra populiareesnės sistemos su trumpo laikotarpio (vienos ar kelių parų) akumuliacinėmis talpomis.
2. Atlikta pastatų mikrorajono aprūpinimo šiluma, naudojant vakuuminių kolektorių sistemą su sezoninio kaupimo talpyklomis analizė parodė, kad sistema, kuri užtikrintų apie 10 % visų šilumos poreikių, nereikalauja sezoninės akumuliacinės talpyklos, nes visa pagaminta kolektoriuose šiluma yra sunaudojama.
3. Modeliavimo rezultatų analizė parodė, kad siekiant užtikrinti 40 % ir daugiau rajono šilumos poreikių, naudojant centralizuotą saulės šildymo sistemą, technologiškai tikslinga įrengti 500 m² saulės kolektorių sistemą su 150 m³ akumuliacine talpykla, o tai sudaro 300 l/m² vakuuminio

kolektoriaus ploto. Tokia sistema leistų padengti 42,2 % viso metinio šilumos poreikio. Kitą šilumos poreikių dalį galėtų užtikrinti biokuro katilai.

4. Atliktas modeliavimas, įvertinantis pastatų rajono poreikius ir jų kasvalandinį kitimą, saulės energijos spinduliuotę ir išorės oro temperatūrą konkrečioje vietovėje, biokuro katilų, saulės kolektorių ir sezoninės akumuliacinės talpos technologines savybes, parodė, kad kombinuota biokuro ir saulės šildymo sistema su sezoninio kaupimo talpykla prisidėtų prie AEI integravimo didinimo. Tokiai sistemai įgyvendinti papildomai reikia atlikti išsamius ekonominius skaičiavimus.

Padėka

Tyrimą finansavo Lietuvos mokslo taryba (sutarties Nr. ATE-03/2012). Autoriai dėkoja už pagalbą VGTU Civilinės inžinerijos mokslo centro Pastato energetikos ir mikroklimato sistemų laboratorijai.

Literatūra

- Bagdonaitė, S.; Streckienė, G. 2012. Sezoninės akumuliacinės talpyklos dydžio modeliavimas saulės kolektorių sistemoje aprūpinant šiluma individualių pastatų mikrorajoną, iš 15-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ 2012 metų teminės konferencijos „Pastatų inžinerinės sistemos“ straipsnių rinkinys. Vilnius: Technika, 21–24.
- Bauer, D. M.; Nußbicker-Lux, J.; Ochs, F.; Heidemann, W.; Müller-Steinhagen, H. 2010. German central solar heating plants with seasonal heat storage, *Solar Energy* 84: 612–623. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2009.05.013>
- EMD kompanija [interaktyvus]. *EnergyPRO atsisiuntimas*, [žiūrėta 2012 m. liepos 14 d.]. Prieiga per internetą: <http://emd.dk/energyPRO/Frontpage>
- Evans, A.; Strezov, V.; Evans, T. J. 2012. Assessment of utility energy storage options for increased renewable energy penetration, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16: 4141–4147. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.048>
- Hadorn, J. C. 2008. Advanced storage concepts for active solar energy. IEA-SHC Task 32 2003-2007, in *Eurosun 2008: 1st International Congress on Heating, Cooling and Buildings*, 7th to 10th October, Lisbon. 8 p.
- Hui, L.; Edem, N.T. K.; Nolwenn, L. P.; Lingai, L. 2011. Evaluation of seasonal storage system of solar energy for house heating using different absorption couples, *Energy Conversion and Management* 52: 2427–2436. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2010.12.049>
- Yumrutaş, R.; Ünsal, M. 2005. Modeling of space cooling system with underground storage, *Applied Thermal Engineering* 25: 227–239. <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2004.06.005>
- Kytra, S. 2006. *Atsinaujinantys energijos šaltiniai*. Kaunas: Technologija. 301 p.
- Lietuvos energetikos institutas (LEI). 2006. *Saulės šildymo sistemos*. Mokymo kursų medžiaga. 86 p.
- Lindenberger, D.; Bruckner, T.; Groscurth, H. M.; Kümmel, R. 2000. Optimization of solar district heating systems: seasonal storage, heat pumps, and cogeneration, *Energy* 25: 591–608. [http://dx.doi.org/10.1016/S0360-5442\(99\)00082-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0360-5442(99)00082-1)
- Lundh, M.; Dalenbäck, J.O. 2008. Swedish solar heated residential area with seasonal storage in rock: Initial evaluation, *Renewable Energy* 33: 703–711. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2007.03.024>
- Mangold, D. 2007. Seasonal storage – a German success story, *Sun & Wind Energy* 1: 48–58.
- Miškinis, V. 2011. *Lietuvos energetika 2010*. Lietuvos energetikos institutas. 20 p. ISSN 1822-5268.
- Nordell, B.; Hellström, G. 2000. High temperature solar heated seasonal storage system for low temperature heating of buildings, *Solar Energy* 69(6): 511–523. [http://dx.doi.org/10.1016/S0038-092X\(00\)00120-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0038-092X(00)00120-1)
- Pahud, D. 2000. Central solar heating plants with seasonal duck storage and short-term water storage: design guidelines obtained by dynamic system simulations, *Solar Energy* 69(6): 495–509. [http://dx.doi.org/10.1016/S0038-092X\(00\)00119-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0038-092X(00)00119-5)
- Paksoy, H. O.; Andersson, O.; Abaci, S.; Evliya, H. 2000. Heating and cooling of a hospital using solar energy coupled with seasonal thermal energy storage in a aquifer, *Renewable Energy* 19: 117–122. [http://dx.doi.org/10.1016/S0960-1481\(99\)00060-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0960-1481(99)00060-9)
- Pastatų karšto vandens sistemų įrengimo taisyklės*. Vilnius, 2005. 23 p.
- Pinel, P.; Cruickshank, C. A.; Beausoleil-Morrison, I.; Wills, A. 2011. A review of available methods for seasonal storage of solar thermal energy in residential applications, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15: 3341–3359. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2011.04.013>
- Schmidt, T.; Mangold, D.; Müller-Steinhagen, H. 2004. Central solar heating plants with seasonal storage in Germany, *Solar Energy* 76: 165–174. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2003.07.025>
- Skrinska, A.; Čiuprinskienė, J.; Paulauskaitė, S.; Valančius, K. 2005. Sezoninės žemės šaltinio saugyklos – didelis atsinaujinančios energijos šaltinis pastatams aušinti, *Energetika* 2: 53–60.
- STR 2.09.04:2008 Pastato šildymo sistemos galia. Šilumos poreikis šildymui*. Vilnius, 2008. 12 p.
- Terziotti, L. T.; Sweet, M. L.; McLeskey, J. T. 2012. Modeling seasonal solar thermal energy storage in a large urban residential building using TRNSYS 16, *Energy and Buildings* 45: 28–31. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.10.023>
- Vares, V.; Kask, Ü.; Muiste, P.; Pihu, T.; Soosaar, S. 2007. *Biokuro naudotojo žinynas*. Vilnius: Žara. 165 p. ISBN 978-9986-34-180-2.

Wang, X.; Zheng, M.; Zhang, W.; Zhang, S.; Yang, T. 2010. Experimental study of a solar-assisted ground-coupled heat pump system with solar seasonal thermal storage in severe cold areas, *Energy and Buildings* 42: 2104–2110. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.06.022>

Widén, J.; Lundh, M.; Vassileva, I.; Dahlquist, E.; Ellegård, K.; Wäckelgård, E. 2009. Constructing load profiles for household electricity and hot water from time-use data – Modelling approach and validation, *Energy and Buildings* 41(7): 753–768. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.02.013>

MODELLING THE SIZE OF SEASONAL THERMAL STORAGE IN THE SOLAR DISTRICT HEATING SYSTEM

G. Streckienė, S. Bagdonaitė

Abstract

The integration of a thermal storage system into the solar heating system enables to increase the use of solar thermal energy in buildings and allows avoiding the mismatch between consumers' demand and heat production in time. The paper presents modelling a seasonal thermal storage tank various sizes of which have been analyzed in the district solar heating system that could cover a part of heat demand for the district of individual houses in Vilnius. A biomass boiler house, as an additional heat source, should allow covering the remaining heat demand. *energyPRO* software is used for system modelling. The paper evaluates heat demand, climate conditions and technical characteristics.

Keywords: seasonal storage, storage tank, solar heating system, modelling.