

Grunto kolektoriaus ventiliuojamo oro šildymui konstrukcijos parametru skaičiavimo metodika

Rimvydas Ambrulevičius,

Stefa Lynikienė

*Aleksandro Stulginskio universiteto
Agroinžinerijos institutas,
Raudondvaris, LT-54132 Kauno rajonas
El. paštas: rimvydas.ambrulevicius@asu.lt,
stefa.lynikiene@asu.lt*

Komfortinio mikroklimato sudarymas mažesnėmis energijos sąnaudomis reikalauja ne tik keisti statinių konstrukciją, bet ir diegti tobulėnes technologijas bei panaudoti atsinaujinančiuosius energijos išteklius. Viena tokių priemonių yra oro šildymo grunto kolektoriai (GK), įgalinantys ženkliai sumažinti šilumos nuostolius priverstinio ventiliavimo sistemose ir panaudoti grunto šilumą. Pateikiama esamų grunto kolektorių skaičiavimo programų taikymo galimybės ir ypatumai. Mažos ir vidutinės galios GK, skirtiems individualių namų ir nedidelių pastatų šildymo–vėdinimo sistemoms, skaičiuoti siūlomas supaprastintas skaičiavimo metodas. Taikant jį galima nustatyti GK konstrukcinius parametrus, užtikrinančius reikiamą oro šildymą, kai yra žinomi grunto ir ortakių šiluminiai parametrai, esant numatytoms aplinkos temperatūroms. Pateiktos matematinės išraiškos lygiagrečių kanalų sąveikos zonos pločiui ir gruntinio vandens lygio įtakai nustatyti bei schemos pasirinkimo ir projektavimo rekomendacijos.

Raktažodžiai: geotermija, grunto kolektoriai, projektavimas

ĮVADAS

Komfortinių sąlygų gyvenamosiose patalpose užtikrinimas naujos statybos pastatuose neįmanomas be specialios ventiliacinės sistemos. Mažinant šilumos nuostolius sandarinama langai ir durys, atitvarinės konstrukcijos. Švaraus oro per pastato nesandarumus į patalpas tokiuose pastatuose praktiškai nepriteka. Jo tiekimui naudojama įvairių konstrukcijų priverstinio ventiliavimo sistemos, kuriose numatyta tiekiamo oro šildymas rekuperaciniuose šilumokaičiuose. Juose naudojama išmetamo iš patalpų oro šiluma. Šilumos nuostoliams sumažinti ir į patalpas tiekiamo oro temperatūrai pakelti gali būti naudojami grunto kolektoriai (GK). Kaip papildoma GK funkcija yra rekuperacinių šilumokaičių apsauga nuo užšalimo žiemos laikotarpiu. GK taip pat gali būti naudojami darbui su šilumos siurbliais „oras–vanduo–vanduo“ veikimo efektyvumui padidinti šaltuoju metų laiku. Grunto temperatūra 1,5–2,5 m gylyje šaltuoju periodu išlieka teigiama. Ši savybė ir panaudojama orui šildyti. Šiltuoju periodu, kai grunto temperatūra GR įrengimo zonoje mažėnė nei aplinkos oro temperatūra, jis gali būti naudojamas ventiliuojamo oro aušinimui. Pagal konstrukciją GK skirstomi į tris grupes – membraniniai (dar vadinami vamzdiniai), tiesioginio

veikimo (žvyro akmenų) ir su tarpiniu šilumos nešėju. Pirmuose šiluma iš grunto prapučiamam orui perduodama per ortakio sienelės ir gruntas tiesiogiai nesiliečia su oru. Tiesioginio veikimo GK oras prapučiamas per plautų akmenų–žvyro masę ir šildomas betarpiškai liečiantis su supilta mase. Kur kas sudėtingesnė ir retai įrengiama GK konstrukcija su tarpiniu šilumos nešėju „gruntas / žvyras–vanduo–oras“. Šiuose kolektoriuose grunto šiluma pernešama orui vandeniui. Pagal įrengiamų GK skaičių daugiausia yra diafragminių kolektorių. Tam turėjo įtakos ir įdiegta ortakių su antibakterine danga gamybos technologija. Todėl jų projektavimui ir skaičiavimo programų bei konstrukcijų tobulinimui skiriama daugiausia dėmesio.

KOMPIUTERINĖS PROGRAMOS GK SKAIČIUOTI

Yra sukurta daug metodų ir kompiuterinių programų GK skaičiuoti ir projektuoti. Paprasčiausias variantas yra pasinaudoti literatūros šaltiniuose pateikiama grafine aktyvios ortakio dalies ilgio priklausomybe nuo ventiliuojamo oro debito. Jinai sudaryta remiantis GK eksploataavimo patirtimi Vidurio Europos, kur gerokai švelnesnis klimatas, ir

įrengiant kolektorius drėgnoje mologoje žemėje. Lietuvos klimato sąlygomis šaltuoju periodu taip apskaičiuotas kolektorius neužtikrins oro šildymo iki teigiamos temperatūros. Universalesnė programa sukurta Pasyvaus namo institute Vokietijoje. Naudojantis instituto tinklalapyje (www.passiv.de) pateikiama programa PHLuft galima apskaičiuoti įvairius GK variantus. Joje yra pakankamai didelė grunto parametų biblioteka, kurios duomenis galima naudoti ir kituose skaičiavimuose. Labai artima sandara ir galimybėmis nemokama AVADUKT Thermo programa (www.REHAU.de). Minėtos programos įgalina gauti kur kas patikimesnius rezultatus nei jau minėta diagrama, bet turi ir keletą trūkumų. Pirmas jų tai, kad aplinkos parametų bibliotekoje nėra Lietuvoje vyraujančių klimato duomenų. Todėl apskaičiuota konstrukcija neužtikrins reikiamo oro šildymo, o prognozuojamas gauti šilumos energijos kiekis nesiekia apskaičiuotos teorinės vertės. Antras iš trūkumų yra tai, kad kolektoriaus veikimui neįvertintas gruntinio vandens lygis ir atstumas tarp lygiagrečių GK ortakių arfinės (Tichelmano) schemas kolektoriuose. Be to, AVADUKT Therm programoje yra fiksuoti ortakių parametrai, atitinkantys REHAU gaminius, ir apskaičiuoti GK parametrus naudojant kitų gamintojų su kitais techniniais parametrais ortakius nėra galimybės.

Be minėtų nemokamų programų, platinamos mokamos programos. Iš jų galima paminėti firmos HUBER Energietechnik AG programą WKM, sukurtą bendradarbiaujant su Fraunhoferio institutu ir kitais partneriais. Pagrindą sudaro talpuminis-rezistyvusis GK modelis [1, 2]. Pasirinktai GK konfigūracijai ir nustatytoms sąlygoms (aplinkos parametrai, ventiliuojamo oro kiekis, grunto temperatūra ir kt.) atliekamas matricos formos ekvivalentinės lygties sprendimas. Aplinkos parametrai skaičiavimams imami iš sudarytos meteorologinių duomenų bazės, apimančios Šveicariją, Prancūziją, Vokietiją. Programoje yra galimybė apskaičiuoti slėgio nuostolius įvertinant ortakių paviršių savybes, filtrų, fasoninių detalių ir šilumokaičių parametrus. Naujausia programos versija yra legalizuota.

Populiarsnė GK skaičiavimo programa sukurta Siegeno universitete [3, 4]. Programos pagrindu panaudotas plačiai taikomas šilumos–masės mainų modelis [5, 6]. Jo pagalba apskaičiuojamas transportuojamo oro temperatūros kitimas GK ortakyje. Skaičiavimuose įvertinama grunto temperatūros įvairiuose grunto sluoksniuose kitimas per metus. Šilumos perdavimo koeficientai, sąlygojantys šilumos srautus tarp prapučiama oro, ortakių ir grunto, apskaičiuojami remiantis medžiagų savitosiomis savybėmis, srauto pobūdžiu ir geometriniais sistemos matmenimis. Pagrindinis programos apribojimas skaičiavimuose yra sąlyga, kad grunto parametrai tiek laike, tiek nagrinėjamame tūryje išlieka pastovūs. Programoje taip pat įvertinama transportuojamo oro šildymas ventiliatoriuje bei ortakiuose dėl trinties į sienes. Programoje galima įvertinti grunto vandens ir arfinės schemas ortakių tarpusavio įtaką generuojamos šilumos kiekiui.

Nepaisant pasirinkto sudėtingo kvazistacionaraus matematinio modelio ir skaičiavimo algoritmo, išlieka keletas

taikymo apribojimų. Grunto temperatūros kitimas vykstant šilumos mainams tarp grunto ir ortakio yra pakankamai inertiškas. Temperatūrų stabilizavimosi laiko konstanta skirtingiems grunto tipams pradėjus pūsti orą per GK sudaro keletą valandų. Taip pat ir nepaveikto GK grunto temperatūra reaguoja į aplinkos oro temperatūrą su dar didesniu uždelsimu, siekiančiu nuo kelių dienų iki kelių savaičių [5]. Kadangi oro srauto tekėjimo greitis yra gerokai didesnis negu grunto temperatūros kitimo greitis GK zonoje, yra įmanomas tokio modelio taikymas. Nestacionariems procesams kaip GK įjungimas ir išjungimas bei temperatūros kitimams ilgame laiko intervale taikoma baigtinių skirtumų metodas [7]. GAEA programoje nestacionariems procesams naudojami valandinės aplinkos parametų vertės ir nevertinama paslėptosios šilumos įtaka oro šildymui. Kitas apribojimas – tai galimybė naudoti programą tik plonasiemiams GK ortakiams su maža šilumos talpa. Šis apribojimas nėra reikšmingas, nes GK su storasiemiais gelžbetoniniais ortakiais taikomi sistemose su gravitacine cirkuliacija ir įrengiami labai retai. Dar vienas apribojimas susijęs su grunto parametrais GK įrengimo zonoje. Grunto drėgmė, specifinis šilumos talpis, šilumos laidumas yra svarbūs pradiniai parametrai skaičiavimuose, bet tikslus jų nustatymas yra pakankamai komplikotas. Jie priklauso nuo aplinkos parametų per metus, grunto tankio ir struktūros, kuriai turi įtakos žemės darbai įrengiant kolektorius. Paprastai visuose skaičiavimuose priimama, kad gruntas homogeniškas, izotropinis ir su pastoviomis savybėmis.

Pagrindinė kliūtis šios programos naudojimui yra palyginus didelė jos kaina, sudaranti, atsižvelgus į licencijos tipą, nuo 890 iki 1 540 Lt be PVM. Įsirengiantiems GK savomis įėgomis tai, palyginus su medžiagų komplekto kaina, gali sudaryti iki 50 % projekto vertės. Todėl tiek nedidelėms firmoms, tiek atskiriems asmenims reikalinga paprasta ir prieinama GK skaičiavimo metodika.

SUPAPRASTINTAS GRUNTO KOLEKTORIŲ SKAIČIAVIMO METODAS

Oro šildymo GK skaičiavimui galima taikyti Tarptautinės šilumos siurblių asociacijos (IGSPA) parengtą skaičiavimo metodą [8, 9], skirtą GK skaičiavimui su skystu (antifrizas) šilumnešiu šildymo sistemose su šilumos siurbliais naudojant grunto šilumą. Skaičiavimo metode taikyta daugelis supaprastinimų, kaip ir minėtose skaičiavimo programose. Gauti GK skaičiavimų rezultatai buvo koreguojami pagal faktinius duomenis, gautus kontroliuojant įrengtų sistemų su tiksliai žinomais parametrais eksploatacijos metu. Metodo pritaikymas oro šildymo sistemai susideda iš šilumnešio (oro) transportavimo ortakiais specifikos. Kolektoriaus galia proporcinga šilumos galiai, šilumos perdavimo nuostoliams, temperatūrų skirtumui tarp įtekančio ir ištekančio šilumnešio. Skaičiuojant GK skaidomas, atsižvelgus į atskiras konfigūracijos atkarpas. Arfinės konstrukcijos kolektoriui, kurį sudaro eilė lygiagrečių ortakių, nutiestų tarp paskirstomojo

ir surenkamojo kanalų, skaičiuojama ilgis vienam kanalui. Reikiama galia pasiekama jungiant lygiagrečiai reikiamą kanalų skaičių. Dviejų pusžiedžių arba arfinės schemos GK yra efektyvesni nei tiesinės arba žiedinės schemos kolektoriai. Efektyviausiai kolektoriaus ortakiu transportuojamas oras šildomas 30–35 m atkarpoje. Šioje distancijoje orui perduodama 80–85 % šilumos kiekio [10]. Toliau tekant orui šildymo intensyvumas dėl sumažėjusio temperatūrų skirtumo staigiai mažėja. Kitas veiksnys – tai lygiagrečių kanalų tarpusavio įtaka. Naudojant klasikinę dviejų pusžiedžių schemą, apjuosiančią pastatą, abu kanalai yra pakankamai nutolę ir jų tarpusavio įtaka nepastebima. Arfinės (Tichelmano) schemos kolektoriuose būtina nustatyti minimalų atstumą tarp kanalų, kai jų tarpusavio sąveika generuojamai šilumos galiai neturi įtakos, pasinaudojant formule [10]

$$B_o = 2\pi H_o / \ln \left(H_o / D_o + (H_o / D_o)^2 - 1 \right)^{1/2}; \quad (1)$$

čia B_o – kanalų sąveikos zonos plotis m; H_o – kanalo įgilinimas grunte m; D_o – ortakio skersmuo m.

Montuojant lygiagrečius kanalus B_o atstumu vienas nuo kito ortakių sąveikos zonos nepersidengia ir darbo efektyvumas bus maksimalus. Esant mažesniems atstumams tarp lygiagrečių būtina įvertinti GK generuojamos šilumos kiekio Q_{GT} sumažėjimą:

$$Q_{GT} = N_R Q_{IT} - (N_R - 1)(1 - W_{IT} / B_o)^2 N_g; \quad (2)$$

čia Q_{GT} – GK generuojamos šilumos galia W; N_R – lygiagrečių kanalų skaičius; Q_{IT} – vieno kanalo generuojamos šilumos galia W; W_{IT} – atstumas tarp lygiagrečių kanalų m.

Kitas veiksnys, turintis ženkliai įtaką GK generuojamos šilumos kiekiui, yra gruntinio vandens lygis. Esant sekliam vandens lygiui GK įrengimo zonoje keičiasi temperatūrų pasiskirstymo laukas bei šilumos srautas tarp grunto ir ortakio. K. Elgeti [11] pateikė apytikrą šilumos laidumo lygties sprendimą dvimatei erdvei šiam atvejui. Įtrauktas koreguotas įtakos koeficientas U_{GW}^* , priklausantis nuo kolektoriaus ortakio instaliacinės funkcijos Z:

$$U_{GW}^* = 2\pi\lambda / U_L \ln \left(Z + (Z^2 - 1)^{1/2} \right); \quad (3)$$

$$Z = (H_{GW} / \pi D_a) \left(1 + (\pi D_a / 2 H_{GW})^2 \right) \sin(\pi H_o / H_{GW}); \quad (4)$$

čia λ – grunto šilumos laidumas W/(m·K); U_L – šilumos perdavimo per ortakio sienelę koeficientas W/(m · K); H_{GW} – gruntinio vandens lygis GK zonoje.

Grunto kolektoriaus aktyvios dalies ilgis L_{GK} skaičiuojamas pagal reikiamą šilumos galią Q_{GK} šalčiausią metų mėnesį. Lietuvos klimato sąlygomis aplinkos temperatūra priimama -20–-22 °C (sausį–vasarį), o minimali ištekancio oro temperatūra pasirenkama 0–5 °C. Minimalus GK ilgis L_{GK} reikiamai šilumos galiai Q_{GK} randamas iš formulių [9]:

$$L_{GK} = Q_{GK} (R_p + R_G F_D) / \Delta T_{in}; \quad (5)$$

$$R_p = R_{OV} + R_{OS}; \quad (6)$$

$$\Delta T_{in} = (T_{G1} - T_{AP}) - (T_{G2} - T_{IK}) / \ln \left((T_{G1} - T_{AP}) / (T_{G2} - T_{IK}) \right); \quad (7)$$

čia Q_{GR} – grunto kolektoriaus galia W; R_p – šilumos varža perduodant šilumą prapučiamam orui m · K / W; R_{OV} – šilumos varža tarp vidinės ortakio sienelės ir prapučiamo oro m · K / W; R_{OS} – šilumos perdavimo per ortakio sienelę varža m · K / W; R_G – šilumos iš grunto perdavimo varža m · K / W; F_D – kolektoriaus ventiliavimo cikliškumo koeficientas (1, kai dirba 24 h); ΔT_{in} – vidutinis logaritminis temperatūrų skirtumas K; T_{G1} – vidutinė grunto temperatūra 2–3,5 m gylyje skaičiuojamam mėnesiui K; T_{G2} – vidutinė grunto temperatūra kolektoriaus ortakio zonoje skaičiuojamam mėnesiui K; T_{AP} – aplinkos temperatūra K; T_{IK} – ištekancio iš grunto kolektoriaus oro temperatūra K.

Reikalingą GK generuojamos šilumos galią Q_{GK} galima apskaičiuoti numčius reikiamą prapučiamo oro debitą ir aplinkos oro bei ištekancio iš GK šildyto oro temperatūras:

$$Q_{GK} = V_o \rho C_p (T_{IK} - T_{AP}) / 3,6; \quad (8)$$

čia V_o – prapučiamo oro debitas m³/h; ρ – oro tankis kg/m³; C_p – oro specifinė šiluma, 1,009 kJ/kg · K.

Skaičiuojant šilumos varžos dedamąją R_{OV} įvertinama oro kinetinis klampumas ir srauto pobūdis [12]

$$R_{OV} = 1 / \pi D_w \alpha_1; \quad (9)$$

$$\alpha_1 = Nu_f \alpha_o / D_w; \quad (10)$$

$$Nu_f = 0,018 Re^{0,8}; \quad (11)$$

$$Re = w D_w / \nu; \quad (12)$$

čia D_w – vidinis ortakio skersmuo m; α_1 – šilumos atidavimo nuo ortakio pratekančiam orui koeficientas W/(m² K); α_o – oro šilumos laidumo koeficientas kJ / (kg · K); Nu_f – Nusselto skaičius; Re – Reinoldso skaičius; w – srauto tekėjimo greitis m/s; ν – oro kinetinis klampumas.

Šilumos varžos perdavimui per ortakio sienelę ir šilumos perdavimui iš grunto taikomos šios išraiškos [9]:

$$R_{OS} = \ln(D_o / D_w) / (2\pi \lambda_{OS}); \quad (13)$$

$$R_G = (I(X_{DZ}) - I(X_{2H})) / (2\pi \lambda_{GR}); \quad (14)$$

čia λ_{OS} – ortakio sienelės šilumos laidumo koeficientas W/(m · K); λ_{GR} – grunto šilumos laidumo koeficientas W / (m · K); $I(X)$ – instaliacinė polinominė funkcija, įvertinanti kolektoriaus ortakio skersmenį ir įgilinimą grunte; D_o – išorinis ortakio skersmuo arba grunto kolektoriaus įgilinimui H_o m.

Instaliacinei funkcijai skaičiuoti taikomos šios išraiškos [9]:

$$I(X) = 1/2(-\ln X^2 - 0,57721566 + 0,99999193 X^2 - 0,24991055 X + 0,00519968 X^6 - 0,00976004 X^8 + 0,001078 \cdot X^{10}), \text{ kai } 0 < X \leq 1; \quad (15)$$

$$I(X) = (1/(2 \cdot X^2 \cdot e^{X^2})) (A/B), \text{ kai } 1 \leq X \leq \infty. \quad (16)$$

Koeficientams *A* ir *B* skaičiuoti taikomos šios išraiškos:

$$A = X^8 + 8,5733287 X^6 + 18,059017 X^4 + 8,637609 X^2 + 0,2677737; \quad (17)$$

$$B = X^8 + 9,5733223 X^6 + 25,6329561 X^4 + 21,0996531 X^2 + 3,9684969. \quad (18)$$

Naudojantis pateiktomis išraiškomis galima apskaičiuoti keletą galimų GR išpildymo variantų ir pasirinkti optimaliausiai atitinkantį keliamus reikalavimus. Pagrindiniais parametrais, sąlygojančiais skaičiavimų rezultatus, yra grunto ir ortakių medžiagos šilumos laidumas. Ortakiams dauguma gamintojų nurodo šilumos laidumo koeficientą. Taip pat jis gali būti pakankamai tiksliai nustatomas pagal gamyboje naudojamos plastmasės savybes arba išmatuojamas specialiais laboratoriniais prietaisais λ -metrais. Sudėtingesnė problema nustatant grunto šiluminį laidumą, nes jis priklauso nuo grunto tankio ir struktūros, drėgmės ir rūšies. Mėginio paruošimas matavimui λ -metru reikalauja ypatingo kruopštumo. Jį reikia paimti iš sluoksnio, kuriame bus klojami GK ortakiai, nepažeidžiant natūralios struktūros ir išlaikant natūraliai nusistovėjusią drėgmę. Tik įvykdžius minėtas sąlygas bus gauti patikimi rezultatai. Nuo 1995 m. geotermijoje taikomas terminės reakcijos metodas grunto šiluminėms savybėms nustatyti (TRT – *thermal response test*). Metodas įgali-

na gauti rezultatus, atitinkančius faktines GK eksploataavimo sąlygas. Tam grunte įrengiamas inžektorius, į kurį tiekiamas nustatytų parametų šilumnešis ir matuojama jo, ištekant iš inžektoriaus, temperatūros pokytis.

Temperatūros pokytis yra proporcingas grunto šilumos laidumo koeficientui. Minimali testo trukmė 48 h, o orientacinė matavimų atlikimo kaina nuo 15 iki 40 tūkst. Lt. Visa tai riboja šio metodo taikymą nedideliuose objektuose. 1 lentelėje pateikta literatūroje aptinkami įvairių gruntų šiluminiai parametrai, kurių vertės galima vartoti skaičiavimuose, kai nėra galimybės atlikti eksperimentinius grunto matavimus.

Temperatūrų vertėms GK įrengimo zonoje nustatyti galima atlikti matavimus naudojantis skaitmeniniais registratoriais-duomenų kaupikliais. Grunte, išgręžus vertikalų kanalą, 1,5, 2,0 ir 3,0 m gylyje vasarą montuojami termojutikliai (varžos termometrai). Patalpinus jutiklius būtina užpilti ir gerai sutankinti sijotu gruntu kanalą, kad būtų užtikrintas geras šiluminis kontaktas. Jutiklio graduotės tipas ir išpildymas neturi didelės reikšmės, nes tiek temperatūrų diapazonas, tiek temperatūrų kitimo greitis nedideli. Vidutinės vertės registravimo periodiškumas kas 30–60 min. Taip pat verta registruoti ir aplinkos temperatūrą. Aktyvios GK zonos ilgio skaičiavimuose naudojama šalčiausio metų mėnesio grunto ir aplinkos temperatūros.

Slėgio nuostolius GK galima apskaičiuoti keleriopai. Taisant specialiai GK skirtas vamzdžių sistemas galima naudotis gamintojo pateiktomis diagramomis arba nuorodomis. Suminiai slėgio nuostoliai P_w susideda iš linijinių (trinties) slėgio nuostolių ΔP_L bei vietinių slėgio nuostolių Z_{pv} ir apskaičiuojami pagal šią formulę:

$$P_w = \Delta P_L + Z_{pv} = \beta R_{OK} L_{GK} + \sum \zeta \rho w^2 / 2; \quad (19)$$

1 lentelė. Dažniausiai aptinkamų gruntų parametrai

Eil. Nr.	Grunto tipas	Tankis kg/m ³	λ W/m · K	K_{gr} m ² /s	Šaltinis
1	Sausas kvarcinis smėlis	1 650	0,265	$2,01 \times 10^{-7}$	Darby, 1978
2	Drėgnas kvarcinis smėlis	1 750	0,588	$3,30 \times 10^{-7}$	Darby, 1978
3	Sausas smėlis	1 650	0,700	$5,06 \times 10^{-7}$	Karl, 1965
4	Drėgnas (15 %) smėlis	1 780	0,924	$3,75 \times 10^{-7}$	Darby, 1778
5	Drėgnas smėlis	1 500	1,880	$10,45 \times 10^{-7}$	Jager, 1981
6	Sausas smėlis	1 998	1,600	$3,24 \times 10^{-7}$	ISO 13370
7	Smėlis, žvyras	1 950	2,000	$9,77 \times 10^{-7}$	EN 12524
8	Kalkėtas gruntas	2 166	2,100	$3,22 \times 10^{-7}$	ISO 13370
9	Rupus gruntas su žvyru	1 670	0,714	$1,92 \times 10^{-7}$	Darby, 1978
10	Drėgnas molis	2 000	0,520	$1,41 \times 10^{-7}$	VDI 1984
11	Drėgnas (36 %) molingas gruntas	1 800	1,450	$6,02 \times 10^{-7}$	Cube, 1977
12	Prisotintas molis	1 650	2,300	$4,90 \times 10^{-7}$	Neis, 1977
13	Priemolis	1 800	2,900	$10,13 \times 10^{-7}$	Jager, 1981
14	Priemolis	1 500	1,280	$9,70 \times 10^{-7}$	VDI 1984
15	Šlynas	1 500	1,500	$4,76 \times 10^{-7}$	EN 12524
16	Drėgnas (100 %) durpės	1 920	1,500	$2,66 \times 10^{-7}$	ISO 13370
17	Standartinis gruntas	1 500	0,350	$0,60 \times 10^{-7}$	ISO 13370
18	Smiltainis	1 800	1,450	$6,01 \times 10^{-7}$	ISO 13370
19		2 250	1900	$11,89 \times 10^{-7}$	VDI 1984

2 lentelė. Galios nuostoliai dėl sumažinto atstumo tarp kanalų

Kanalų skaičius vnt.	Vieno GK kanalo galia kW	Galios nuostoliai kW		
		$W_0 = 3,0$	$W_0 = 2,0$	$W_0 = 1,0$
2	4	0,16	0,54	1,16
3	6	0,33	1,09	2,32
4	8	1,77	1,64	3,48
5	10	2,36	2,18	4,64
6	12	2,95	2,73	5,81
7	14	3,54	3,28	6,96

čia β – ortakio paviršiaus šiurkštumo koeficientas (plastikams – 1); R_{OR} – specifiniai slėgio nuostoliai ortakioje Pa/m; $\Sigma\zeta$ – vietinių slėgio nuostolių suma.

Vietinių slėgio nuostolių suma nustatoma pagal gamintojo nurodytas vertes pasirinkto skersmens alkūnėms, atšakojimams, įsiurbimo filtrams ir kitoms fasoninėms detalėms.

Paprastai šiam tikslui naudotis jau minėtomis programomis PHLuft ir AVADUKT Thermo, kuriose numatyta galimybė apskaičiuoti slėgio nuostolius pasirinktam GK variantui su žinomais konstrukciniais parametrais. Renkantis GK tipą ir konfigūraciją reikia įvertinti, kad žiedinės ir meandrinės formos ortakių sistemoje slėgio nuostoliai 2–3 kartus didesni negu arfinės (Tichelmano) schemas sistemoje. Atitinkamai reikės naudoti didesnės galios ventiliatorių.

SKAIČIAVIMO REZULTATAI

Anksčiau pateiktų išraiškų pagrindu buvo parengta kompiuterinė programa GK skaičiavimui. Pasirinkus GK lokalizacijos vietą numatomas atitinkamas kolektoriaus tipas. Kaip minėta, mažos galios GK optimalus variantas yra dviejų pusžiedžių schema aplink pastatą, priimant vienos atkarpos ilgį 30–35 m. Jeigu sklypo planas ir esamos komunikacijos bei želdiniai nesudaro galimybės įrengti tokios schemas kolektoriaus, renkamės tiesinį arba žiedinį GK variantą.

Norint gauti didesnę nei 2,5 kW galią ir didesniems nei 250–300 m³/h oro debitams, taikome arfinę (Tichelmano) schemą. Prieš atliekant GK skaičiavimą, apskaičiuojame pasirinktai konfigūracijai lygiagrečių kanalų įtakos zonos plotį B_o . Minimalus kolektoriaus įgilinimas grunte H_o , užtikrinantis pakankamą oro šildymą šalčiausiu metų laiku, Lietuvos klimato sąlygoms yra 2 m. Zonos plotis tokiu atveju 0,2 m skersmens ortakiui sudarys 4,2 m. Galios nuostoliai montuojant mažesniu atstumu lygiagrečius ortakius grunte priklausys ir nuo lygiagrečių kanalų skaičiaus sistemoje. 2 lentelėje pateikti skaičiavimų rezultatai arfinės schemas GK, kurio vieno kanalo šilumos galia 2 kW.

Dviejų–trijų kanalų GK, sumažinus atstumus tarp kanalų iki 3 m, nuostoliai sudarys 4–6 %, o 6 kanalų GK nuostoliai – net iki 30 %.

Tipiniam 2 m gylyje įrengtam GK, kurio ortakių skersmuo 0,2 m, žymesnė gruntinio vandens įtaka, apskaičiuota pagal (3) ir (4) formules, bus pastebima tik iki 4 m gylio. Didesniame gylyje esančių gruntinių vandenių įtaka bus labai maža ir

gali būti nevertinama. Minėtam 2 m GK įgilinimui praktiškai neturės įtakos ir paviršinio grunto sluoksnio temperatūra, nes aplinkos temperatūros staigių pokyčių poveikio zona apima 0,14–0,22 m storio paviršinį dirvos sluoksnį. Statinių pamatų įtaka temperatūros laukui GK zonoje bus pastebima tik montuojant ortakius 1–2 nuo pamatų be šilumos izoliacijos. Realiai siekiant apsaugoti statinius nuo grunto atšaldymo GK šalia pastatų montuojami tik apsaugojus pamatus specialia šilumos izoliacija arba 4–5 m atstumu.

Kitas parametras, turintis įtakos generuojamos šilumos galiai, yra ortakių medžiagos šilumos laidumo koeficientas. Priklausomybės, rodančios šio parametro įtaką, pateiktos 1 paveiksle.

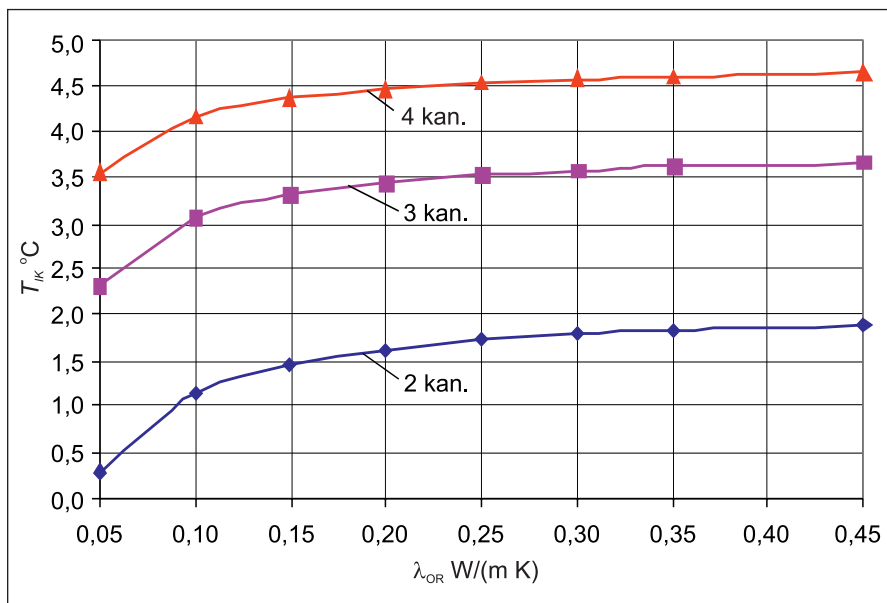
Kaip matyti grafike, visiškai pakanka, jei ortakių šilumos laidumo koeficientas bus 0,18–0,2 W/m · K. REHAU firmos ortakių pranašumas tik jų antibakterinėje dangoje bei specialiose sandarinimo movose, o didesnio šilumos laidumo ortakių medžiagos įtaka sudarys 5–7 %.

Renkantis galutinį GK variantą būtina įvertinti optimalią galią, šildomo oro temperatūrą ir kolektoriaus darbo cikliškumą. Šių parametru įtaka matyti 2 paveiksle.

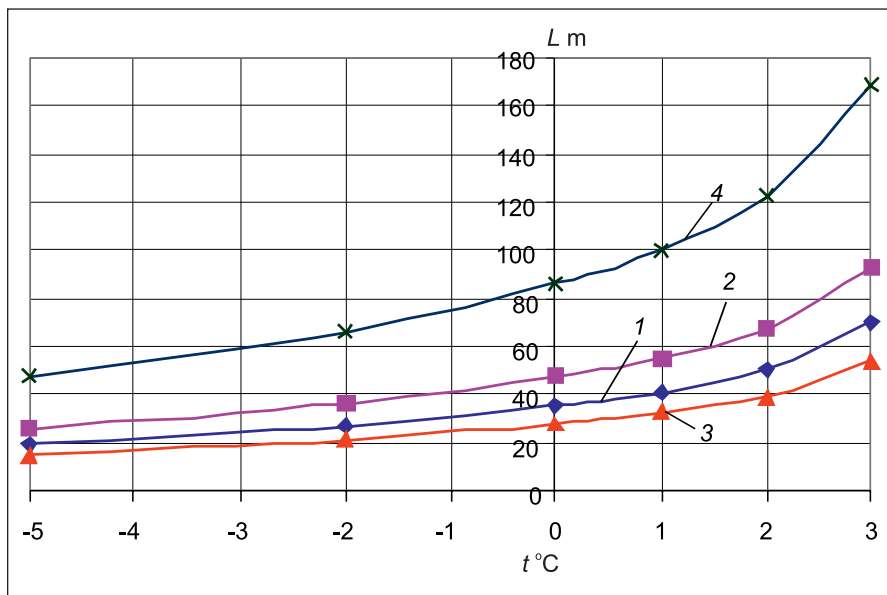
Šaltuoju periodu rekomenduojama mažinti GK darbo intensyvumą F_p , kad kolektorius galėtų regeneruotis ir užtikrintų aukštesnę ištekancio oro temperatūrą. Tam pasiekti neverta pasirinkti didelio ilgio GK kanalų. Šiuo požiūriu efektyvesnis variantas arfinė (Tichelmano) schema. 3 paveiksle parodyta oro šildymo priklausomybė nuo ortakio ilgio.

Intensyviausiai oras šildomas pratekėjus 30–35 metrus. Tolesnėje atkarpoje šildymo intensyvumas daug mažesnis dėl sumažėjusio temperatūrų skirtumo. Arfinėje scheme galima pasiekti didesnes temperatūras esant tokiam pat suminiam ortakių ilgiui, kai vieno arfos kanalo ilgis 30–35 m, ir mažesniame srauto greičiui.

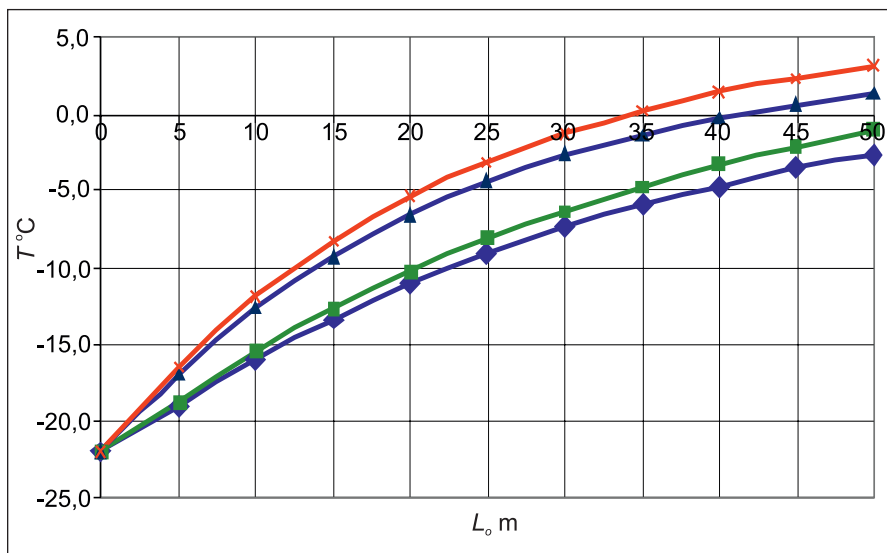
3 lentelėje pateikta pavienio ortakio ilgio skaičiavimas numatytai 0 °C ištekancio oro temperatūrai pasiekti, kai aplinkos temperatūra –20 °C. Skaičiavimuose priimta: grunto šilumos laidumo koeficientas 1,24–1,28 W/m · K; ortakio šilumos laidumo koeficientas 0,29 W/m · K; grunto temperatūra 2 m gylyje +5 °C ir 1,5 m gylyje 3 °C; vidutinis ortakio įgilinimas grunte 2,0 m ir skersmuo 0,2 m. Minėti parametrai atitinka III klimato zoną. Palyginimui atlikti skaičiavimai naudojantis dviem skaičiavimo programomis – PHLuft10 ir AVADUKT Thermo.



1 pav. Ortakio šilumos λ_{OR} laidumo įtaka ištekancio oro temperatūrai T_{IK} arfinės schemos 2, 3 ir 4 kanalų GK ($H_0 = 3$ m; $B_0 = 5$ m; $T_{AP} = -16$ °C; $D_Z = 200$ mm; $Q_{GK} = 150$ m³/h; $L_{GK} = 25$ m)



2 pav. Grunto kolektoriaus ilgio L_{GK} priklausomumas nuo oro šildymo temperatūros T_{IK} ir darbo intensyvumo koeficiento F_D : 1 – $F_D = 1$; $Q_{GK} = 150$ m³/h; 2 – $F_D = 0,5$; $Q_{GK} = 150$ m³/h; 3 – $F_D = 1$; $Q_{GK} = 75$ m³/h; 4 – $F_D = 0,5$; $Q_{GK} = 75$ m³/h ($H_0 = 3$ m; $T_{AP} = -22$ °C; $D_Z = 200$ mm; $\lambda_{GR} = 1,45$ W/m · K)



3 pav. Oro šildymo temperatūros priklausomumas nuo pratekėjimo atstumo: aplinkos temperatūra -20 °C; standartinis gruntas: tankis 1 800 kg/m³; šilumos laidumo koeficientas 1,45 W/mK; A – oro debitas 150 m³/h; įgilinimas 2 ir 3 m. B – oro debitas 75 m³/h; įgilinimas 2 ir 3 m. Žymėjimus žr. 1, 2 pav.

3 lentelė. Ortakio ilgio skaičiavimų skirtingais metodais rezultatai

Oro debitas m ³ /h	Ortakio ilgis m					
	Supaprastintas metodas		PHLuft10		AVADUKT Thermo	
	$F_D = 0,5$ $\lambda_{GR} = 1,24$ W/m · K	$F_D = 1,0$ $\lambda_{GR} = 1,24$ W/m · K	Priesmėlis $\lambda_{GR} = 1,24$ W/m · K	Priemolis $\lambda_{GR} = 1,28$ W/m · K	Gruntas ISO13370 $\lambda_{GR} = 1,2$ W/m · K	PriemolisVDI1984 $\lambda_{GR} = 1,28$ W/m · K
50	25,7	28,8	16,9	18,1	20,0	29,4
100	32,8	39,1	26,6	29,0	31,3	46,9
150	38,9	48,2	36,0	39,3	42,0	63,6
200	44,4	56,9	45,0	49,5	52,8	80,0
250	49,6	62,5	54,5	59,5	63,2	96,1
300	54,6	73,4	63,5	69,5	73,4	112,2

Kaip matyti iš pateiktų duomenų, pasiūlytu metodu gauti pakankamai artimi rezultatai skaičiuojant tai pačiai aplinkai ir gruntui. Didesni skirtumai pastebimi esant tik mažiems ir dideliems ($V_o > 2,5$ m/s) srauto greičiams. Mėnėtas trūkumas nėra labai svarbus, nes rekomenduojamas oro srautas kanaluose turi būti ne didesnis kaip 3,0 m/s. Skaičiuojant konkrečiai GK instaliacijos vietai pagal žinomas ar išmatuotas grunto temperatūras bei šilumos laidumą, gauti rezultatai bus patikimesni nei skaičiavimas švelnesnėms Vidurio Europos klimato zonoms.

IŠVADOS

1. Pasirinktas GK skaičiavimo būdas užtikrina patikimus skaičiavimų rezultatus konkrečioms aplinkos ir lokalizacijos sąlygoms, nesinaudojant aplinkos parametrų duomenų baze.

2. Grunto kolektoriams įrengti tinkamiausi gruntai, kurių šilumos laidumo koeficientas $\lambda_{GR} > 1,2$ W/mK.

3. Arfinės schemos GK pavienio kanalo ilgis turi būti apie 30–35 m.

4. Šaltuoju metų periodu norint pasiekti aukštesnes tiekiamo oro temperatūras rekomenduojama mažinti darbo cikliškumo koeficientą F_D ir ventiliuojamo oro kiekį.

5. Arfinės schemos GK arfos kanalai klojami 4–5 m atstumu. Dviejų / trijų kanalų kolektoriams šis atstumas gali būti sumažintas iki 3 m be didelių galios nuostolių.

6. Grunto vandenų lygis vertinamas, kai jie yra mažesniame nei 4–5 m gylyje nuo GK aktyvios dalies ortakijų.

Literatūra

1. Huber A., Benkert St. *The WKM Model LTE, Program for the Simulation of Air–Earth Heat Exchangers*, IEA-BCS Annex 20 Low Energy Cooling, Subtask 2 Design Tools for Low Energy Technologies. Zürich, 1999.
2. *Program WKM Auslegung von Luft-erdregister. Version 3.8*. Huber Energietechnik AG, Zürich, 2006.
3. Benkert St. Entwurf von Erdwärmetauschern mit GAEA. *Kurzbericht vom Start-Meeting im Verbundprojekt Luft-Erdwärmetauscher*. DLR Köln, 1998. P. 22–26.
4. Benkert St., Heidt F. D. *Abschlussbericht zum Projekt Validierung des Programms GAEA mit Hilfe von Messdaten im Rahmen des Verbundprojekts „Luft-Erdwärmetauscher“ der AG Solar NRW*. Siegen, 2000.
5. Cube H. L. Die projektierung von erdferlegten Rohrschlangen für Heizwärmepumpen (Erdreich-Warmquelle). *Klima und Kalte-Ingenieur*. 1977. No. 5. P. 30–42.
6. Gnielinski V. Neue Gleichungen für Wärme- und den Stoffübergang in turbulent durchströmten Rohren und Kanälen. *Forschung im Ingenieur-Wesen*. 1975. No. 41. P. 8–16.
7. Bruse M. *Simulation von Erdwärmetauschern mit finite-Differenzen-Methode, Verbundprojekt Luft-Erdwärmetauscher*. DLR Köln, 1998. P. 27–28.
8. Rucinska J. Zastosowanie uproszczonej metody projektowania gruntowego wymiennika ciepła do oceny jego efektywności energetycznej. *PW IOW, Fizyka budowli w teorii i praktyce*. 2007. T. 2. S. 247–250.
9. Bose J., Parker J., McQuiston F. *ASHRE. Design / data Manual for Closed-loop Ground-coupled Heat Pump Systems*. ASHRAE, Atlanta, 1986.
10. Albers K. *Untersuchungen zur Auslegung von Erdwärmetauschern für Konditionierung der Zuluft für Wohngebäude*. Dissertationsreferat, Dortmund-Universität, 1991.
11. Elgeti K. Der Wärmeverlust eines in Wand verlegtes Rohres. *HLH*. 1971. Vol. 22. No. 3. P. 109–113.
12. Mekler V. Ya., Ochinnikov P. A. *Promyshlennaya ventilyatsiya i konditsionirovaniye vozdukha*. Moskva: Stroyizdat, 1976.

Gauta 2011 07 10
Priimta 2011 09 27

Rimvydas Ambrulevičius, Stefa Lynikienė

VENTILATION HEATING GROUND COLLECTOR CALCULATION METHOD

Summary

Ensuring comfort and reducing energy consumption require not only changing the construction of a building, but also introducing improved technologies and using renewable energy resources. One example is air-ground heating collectors (GC) making it possible to significantly reduce heat losses and increase the use of ground heat. In the article, applications and features of the existing soil collector software are presented. The simplified method of calculating the heating and ventilation systems of small and medium-sized power GC, for individual houses and small buildings is proposed. By using it, GC construction parameters can be determined, ensuring an adequate air heating when the thermal parameters of soil and air ducts are well-known at a certain temperature. The article presents also a mathematical expression of parallel channels of the interaction between the width of the zone and the groundwater level, and recommendations for the selection and design of the scheme.

Key words: geothermal energy, ground collectors, design

Римвидас Амбрулявичюс, Стефа Линикене

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ГРУНТОВОГО КОЛЛЕКТОРА ДЛЯ ПОДОГРЕВА ВЕНТИЛИРУЕМОГО ВОЗДУХА

Резюме

Создание комфортного микроклимата в помещениях зданий с низкими затратами энергии требует не только изменять конструкции строений, но и внедрять современные технологии, использовать возобновляющиеся источники энергии. Одним из способов для достижения этой цели является использование грунтовых коллекторов, позволяющих значительно снизить потери тепла в системах с принудительной вентиляцией и использовать теплоту грунта. Представлены возможности и особенности известных компьютерных программ для расчета грунтовых коллекторов. Грунтовые коллекторы малой и средней мощности, предназначенные для небольших строений и индивидуальных домов, возможно рассчитать предложенным упрощенным методом, позволяющим определить конструкционные параметры, гарантирующие подогрев воздуха до заданной температуры при известных тепловых параметрах грунта и используемых воздухопроводов при заданной температуре окружающей среды. Представлены математические выражения для определения ширины зоны влияния параллельных каналов и уровня грунтовых вод, рекомендации для выбора схемы и проектирования.

Ключевые слова: геотермия, грунтовые коллекторы, проектирование