

Vėjo energijos panaudojimo šilumos gamybai, taikant hidraulinę sistemą, tyrimas

Jurgita Černeckienė,

Tadas Ždankus

*Kauno technologijos universitetas,
Statybos ir architektūros fakultetas,
Pastatų energinių sistemų katedra,
Studentų g. 48-437A
LT-51367 Kaunas
El. paštas tadas.zdankus@ktu.lt*

Vėjo energiją naudojant pastatams šildyti galima ženkliai sumažinti kuro sąnaudas, o tuo pačiu ir aplinkos taršą. Vėjo mechaninės energijos transformavimas į šilumą nėra naujovė, tačiau dabar labiausiai paplitusios elektrinės sistemos, kai vėjaratis suka elektros generatorių, o šiluma pastate gaunama naudojant elektrinius šildytuvus. Daugiau generuojamos šilumos ir mažesnes investicijas galima būtų pasiekti vietoje elektrinės naudojant hidraulinę šilumos generavimo sistemą.

Ekspertimentinių tyrimų stende hidraulinės sistemos pagrindinės dalys buvo: krumpliartinis siurblys, reguliuojamasis ventilis-apkrova ir šilumokaitis. Ekspertimentiška modeliuojama maža vėjo jėgainė su vėjaračio sukimosi dažniu iki 5 Hz. Ekspertimentinių tyrimų metu nustatyta, kad hidraulinė šilumos generavimo sistema net ir neapkrauta pasiekia naudingumo koeficientą iki 0,5, o su apkrova efektyvumas išauga iki >0,85. Vėjo energija sugeneruotą šilumą šilumnešiui galima atiduoti akumuliacinėje talpoje, jei pastate kaip pagrindinis energijos šaltinis naudojamas dujinis ar kieto kuro katilas. Kitu atveju šilumą galima kaupti grunte, jei pastatams šildyti naudojama geoterminė sistema.

Raktažodžiai: vėjo energija, hidraulinė sistema, energijos virsmas, šilumos mainai, pastato šildymas

ĮVADAS

Vėjo energijos naudojimas žmonių poreikiams seniai žinomas ir gana plačiai taikytas. Pirmosios žinios apie vėjo malūnų darbą Europoje datuojamos IX a., o Lietuvos šaltiniuose jie minimi nuo XIV a. [1]. Vėjo energija plačiausiai naudota grūdams malti, lentoms pjauti, vandeniui pumpuoti ir pan., t. y. buvo naudota iš vėjo gaunama ir nesudėtingomis priemonėmis redukuojama mechaninė energija. Plačiai paplitusios elektros energijos tiekimo tinklai, vėjo energijos naudojimas buvo primirštas ir atgavo pelnytą dėmesį tik tada, kai pasaulio bendruomenė suprato, kad iškastinis kuras yra baigtinis, kad jo naudojimas sukelia

nepageidaujamą klimato kaitą. Todėl šiomis dienomis jau nestebina vėjo jėgainių parkai, EWEA (Europos vėjo energijos asociacija) 2013 m. pabaigos duomenimis, pagaminantys 7,8 % Europai reikalingos elektros energijos. Elektros energijos universalumas nekelia abejonių, todėl savaime suprantama, kodėl sparčiausiai vystoma ši vėjo energijos transformavimo sritis, tačiau inžinierių dėmesį buvo patraukę ir vėjo energijos transformavimo į šilumą įrenginiai [2–4]. Statybos inžinerijos srities mokslininkams ši tema yra labai aktuali dėl to, kad, remiantis Europos Sąjungos duomenimis, pastatuose sunaudojama 40 % visos sunaudojamos energijos [5] ir ši dalis turi būti mažinama ne tik ją efektyviau naudojant, bet ir

gaminant daugiau energijos iš atsinaujinančių šaltinių. Lietuvai ir panašias klimatinės sąlygas turinčioms šalims vėjo energijos naudojimo šilumos gamybai tyrimai labai aktualūs dar ir dėl panašaus vėjo energijos potencialo ir energijos poreikio pastatams šildyti pasiskirstymo per metus [6]. Šios sąlygos leidžia vėjo energiją naudoti iš karto, išvengiant energijos praradimų ją kaupiant, o tai dar viena priežastis, kodėl vėjo energijos naudojimo šilumos gamybai tema nagrinėtina ir reikalinga.

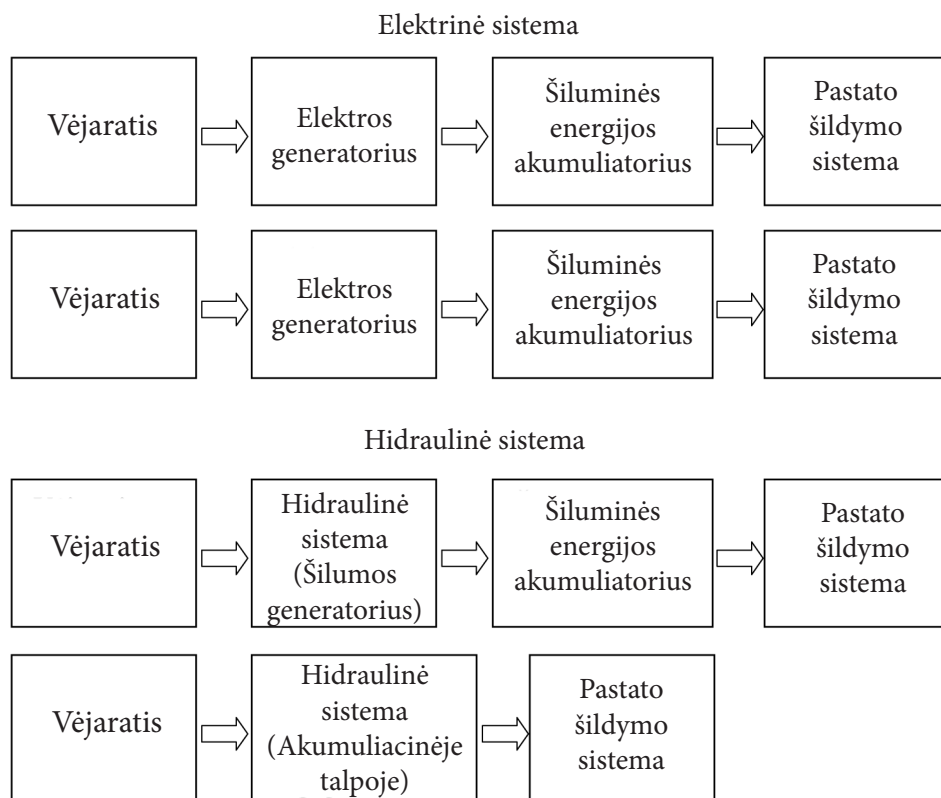
VĖJO ENERGIJOS NAUDOJIMO ŠILUMOS GAMYBAI TECHNOLOGIJŲ APŽVALGA

Vertinant vėjo energijos naudojimo šildymui technologijas, jas galima struktūriškai sugrupuoti ir suskirstyti (1 pav.).

Šiuo metu norint išnaudoti vėjo energiją pastatams šildyti, tai daroma tiesiogiai patalpose elektrinių šildytuvų pagalba, jiems elektros energija gaminama vėjo jėgainėse [7–9]. Tai atitiktą schemą: „Vėjaratis (mechaninė vėjo energi-

ja) – elektros generatorius (mechaninės energijos transformavimas į elektros energiją) – elektros energijos akumulatorius – pastato šildymo sistema (elektros energiją naudojantys šildymo prietaisai – oriniai šildytuvai, tepaliniai radiatoriai, spinduliniai šildytuvai ir t. t.)“ (1 pav.). Pagal šią schemą, turint vietinį elektros energijos gamybos įrenginį, atsiranda elektros energijos akumuliavimo poreikis dėl vėjo energijos potencialo ir energijos poreikio skirtumų, taip pat poreikis turėti rezervinę pastato šildymo sistemą. Paminėti sprendiniai brangina tokių sistemų diegimą ir daro jas techniškai sudėtingesnėmis. Naudojant centralizuotai tiekiamą ir iš vėjo energijos gaminamą elektros energiją, energijos akumuliatoriaus ir rezervinio šaltinio funkciją atlieka skirstomieji tinklai ir diversifikuotas elektros energijos gamybos tinklas, sistema veiksminga ir galima, tik tokiu atveju iškyla sistemos efektyvumo įvertinimo klausimas dėl papildomų energijos nuostolių skirstomuosiuose tinkluose.

Dar viena schema, kuri gali būti naudojama vėjo energijai transformuoti: „Vėjaratis – elektros



1 pav. Vėjo energijos transformavimo į šilumą sistemų struktūrinės schemas

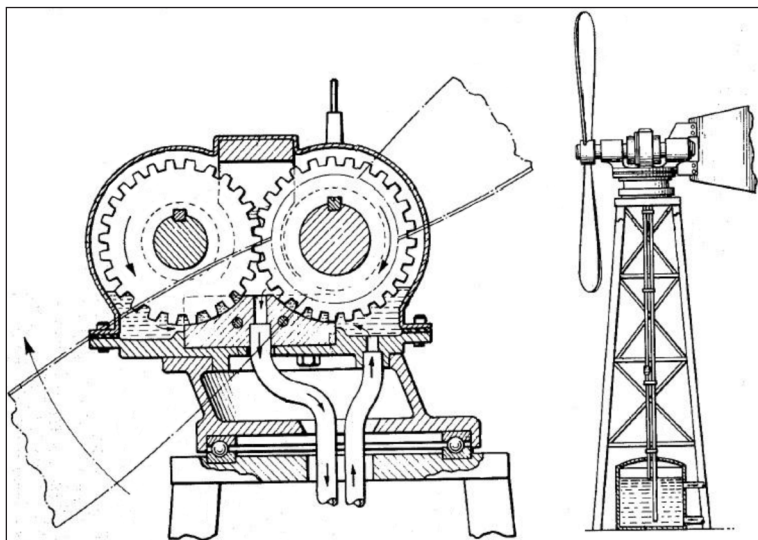
generatorius – šiluminės energijos akumulatorius (vandeniu arba vandens ir neužšalantių skysčių tirpalu užpildyta talpa) – pastato šildymo sistema (tradicinė šildymo sistema, kurios šilumnešis yra vanduo ar jo tirpalai)“. Tokia schema turi privalumą, kad to paties šiluminės energijos akumulatoriams įkrauti galima naudoti papildomus kontūrus, kuriems energiją tiek ir kiti energijos šaltiniai – kietojo arba dujinio kuro katilai, saulės energijos kolektoriai, tam tikrų technologinių įrenginių aušinimo kontūrai ir pan. Šioje schemoje pastato šildymo sistema bet kuriuo atveju naudojama ta pati ir šios schemos atveju galimas elektros energijos gamybos decentralizavimas.

Vėjo energiją galima transformuoti į šilumą vietoje elektrinės sistemos naudojant hidraulinę [2, 3, 10]. Taikoma schema: „Vėjaratis – šilumos generatorius (hidraulinė sistema) – šiluminės energijos akumulatorius – pastato šildymo sistema“. Nors vėjo mechaninės energijos virsmui į šilumą, naudojant hidraulinę sistemą (2 pav.) kaip šilumos generatorių, jau yra pasiūlyta nemažai būdų ir metodikų [2–4], šis energijos transformavimo būdas nėra plačiai paplitęs.

Ženklus skysčio temperatūros padidėjimas skysčiui pratekant pro įvairius vožtuvus, droselius, skirstytuvus, dažnai pastebimas hidraulinėse pavarose [11, 12]. Taip pat ir energetikoje, ruošiantis užkurti vandens ar garo katilą įjungus maitinimo arba tinklo siurbį, kai vanduo teka uždaru ratu, galima pastebėti, kad vandens temperatūra vien tik dėl recirkuliacijos per trumpą laiką intervalą pakyla keliais laipsniais. Abiem

minėtais atvejais dėl trinties tarp skysčio dalelių bei skysčio dalelių ir kietų paviršių, o taip pat ir dėl kontakto (skysčio dalelėms keičiant judėjimo trajektorijas atsimušus ar aptekant kietus paviršius) su tėkmę ribojančiais paviršiais, skysčio dalelių mechaninė energija virto šilumine, skysčio temperatūra padidėjo. Šiais atvejais tai energijos nuostoliai, o hidraulinėse pavarose skysčio temperatūros augimas yra dar ir nepageidaujamas reiškinys – didėja sistemos išsisandaravimo tikimybė, reikia papildomai aušinti alyvą ir pan. [12]. Tačiau abu šie atvejai demonstruoja praktinę galimybę generuoti šilumą praleidžiant skystį pro įvairiausias kliūtis. Kai hidraulinės sistemos energijos šaltinis yra elektros ar vidaus degimo variklis, tokiu būdu generuoti šilumą netikslinga dėl papildomų energijos virsmų, kurie mažina bendrą sistemos efektyvumą. Tada paprasčiau ir efektyviau yra panaudoti elektrinius šildytuvus arba deginti krosnyje kurą. Tačiau kai hidraulinės sistemos energijos šaltinis yra vėjas (nieko nekainuojantis), situacija kardinaliai pasikeičia – šilumos gamybai lieka vienas energijos transformavimo procesas – mechaninė energija verčiama šiluma, o tokios sistemos efektyvumas tampa aktualiu tyrimų objektu.

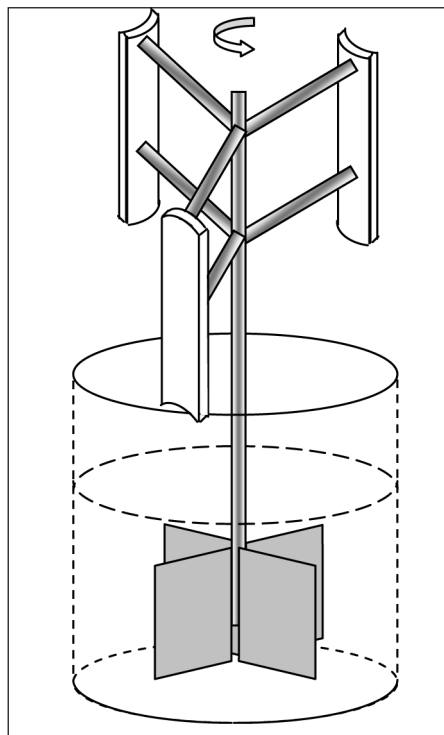
Pirmoji visų minėtų schemų (1 pav.) grandis „Vėjaratis“ – tai dažniausiai horizontalios arba vertikalios ašies įrenginys [7], transformuojantis vėjo mechaninę energiją į veleno sukamąjį judesį. Kai kuriais atvejais vietoje vėjaračio gali būti naudojama mentis arba „burė“, o gaunamas „išėjime“ judesys gali būti slenkamasis (svyruojantis), sukamasis arba slenkamasis ir sukamasis.



2 pav. Vėjo mechaninės energijos transformavimo į šilumą įrenginys naudojant hidraulinę sistemą kaip šilumos generatorių [4]

Vėjaračio ašis jungiama su antrosios grandies, elektrinės ar hidraulinės sistemos, įrenginio ašimi tiesiogiai arba panaudojant reduktorius. Didesnės generuojamos galios vėjo jėgainėse dar naudojama sankaba ir pavarų dėžė [7]. Antroji grandis elektrinėje sistemoje yra elektros generatorius, o hidraulinėje – hidraulinis siurblys su hidrauline sistema [4, 10] arba skysčio maišytuvas-plaktuvas [13]. Elektrinės sistemos atveju šiluma gaunama tik tolimesnėse grandyse, jau naudojant pagamintą elektrą. Tačiau gaminant elektrą dalis mechaninės ir elektromagnetinės energijos prarandama pačiame elektros generatoriuje (pvz., trinčiai guoliuose nugalėti ir pan.), ši energijos dalis transformuojasi į šilumą, kuri išsisklaido aplinkoje. Hidraulinėje sistemoje mechaninė hidraulinio siurblio energija verčiama į skysčio mechaninę energiją, vėliau skystis vamzdžiais gali būti transportuojamas į reikiamą vietą ir praleidžiamas pro įvairias kliūtis: angas, diafragmas, droselius ir pan., tokiu būdu generuojama šiluma. Kaip ir elektrinėje sistemoje, dalis iš vėjaračio gaunamos mechaninės energijos pačiame hidrauliniame siurblyje virsta į šilumą, tačiau viena šios šilumos dalis išsisklaido į aplinką, o kita atiduodama skysčiui – didėja skysčio temperatūra, taigi jau antroje grandyje generuojama šiluma. Tokios hidraulinės sistemos dar vadinamos „hidraulinio stabdžio“ sistemomis, panašūs įrenginiai yra įdiegti ir veikia [14], tačiau nėra paplitę.

Patalpinus hidraulinį siurblių į skystį, visa siurblyje išsiskirianti šiluma būtų atiduodama skysčiui arba šilumnešiui. Esant techninėms galimybėms, racionalu visą hidraulinę sistemą (siurblių su vamzdžiais, kliūtimis ir šilumokaičiu) patalpinti į akumuliacinę talpą (1 pav.), o siurblio veleną sujungti su vėjaračio vėliu. Toks sprendimas atitinką schemą „Vėjaratis – šilumos generatorius ir akumuliatorius – pastato šildymo sistema“. Hidraulinio siurblio korpusą padengus termoizoliacija, sumažinami šilumos nuostoliai į aplinką, tada pagrindinė siurblyje išsiskiriančios šilumos dalis atitenka skysčiui – šilumnešiui. Siurbliui perkaisti neleidžia pats skystis: atidavęs šilumą akumuliacinėje talpoje arba šilumokaičiuje, į siurblių išsiurbiamas (grįžtantis) skystis turi sumažėjusią temperatūrą. Kai hidraulinė sistema yra hidraulinis maišytuvas, jis talpinamas tiesiai į akumuliacinę talpą (3 pav.).



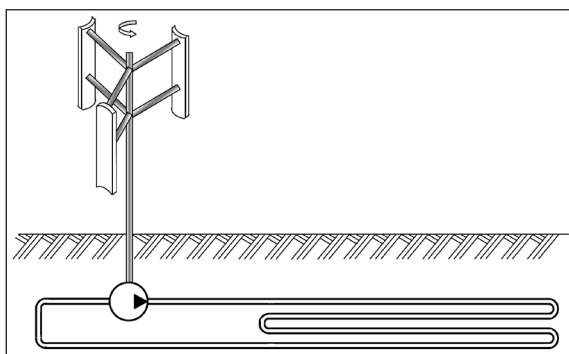
3 pav. Vėjo mechaninės energijos transformavimo į šilumą įrenginys naudojant skysčio maišytuvą

Dažniausiai maišytuvas – tai vertikali ašis, kurios tam tikra tvarka pritvirtintos įvairių formų mentys. Šiuo atveju turi būti suderinamumas tarp maišytuvo ir akumuliacinės talpos matmenų. Taip pat ant akumuliacinės talpos sienelių gali būti montuojamos kreipiančiosios skysčio turbulizacijai didinti. Maišytuvo ašis jungiama su vėjaračio ašimi per movą arba reduktorių. Maišytuvo mentys gali būti montuojamos ir tiesiai ant prailgintos vėjaračio ašies. Taip pat, kaip ir naudojant hidraulinį siurblių, beveik visa išsiskyrusi šiluma atiduodama skysčiui. Palyginti hidraulinę sistemą su elektrine, hidraulinės sistemos atveju antroje grandyje energijos nuostoliai gali būti mažesni. Tokios sistemos kiekybinis įvertinimas yra toliau aprašyto tyrimo objektas.

Lyginant šias sistemas pagal šilumos paskirstymą patalpose, elektrinė sistema yra universalesnė, nes tokiu atveju yra galimybė ir šildyti patalpas tiesiogiai elektros prietaisais, ir kaupti šiluminę energiją šildant akumuliacinės talpos vandenį. Reikia pažymėti, kad tiesioginio šildymo elektra galimybė nėra didelė dėl generuojamos energijos ir poreikio netolygumo bei dėl elektros prietaisų ir tiekiamos energijos techninių parametrų

nesuderinamumo. Hidraulinei sistemai visada bus reikalinga akumuliacinė talpa, kuri sudaro sąlygas į šildymo sistemą integruoti dar daugiau atsinaujinančiųjų ar alternatyviųjų energijos šaltinių – saulės kolektoriuose [15] gaminamą energiją, nuotekų šiluminę energiją ir pan.

Vėjo energija generuotą šilumą galima naudoti pastatams šildyti ir netiesiogiai. Gauta šiluma galima „įkrauti“ gruntą (4 pav.) ir akumuliuoti šilumą, išvedžiojus hidraulinės sistemos vamzdžius grunte po pastatu arba šalia pastato, kur įrengtas šilumos siurblio vanduo / gruntas (geoterminio šildymo sistemos) kolektorius [16]. Taip pat vėju generuota šiluma galima tirpinti ledą ir sniegą nuo pastato stogo ar nuo kito paviršiaus.

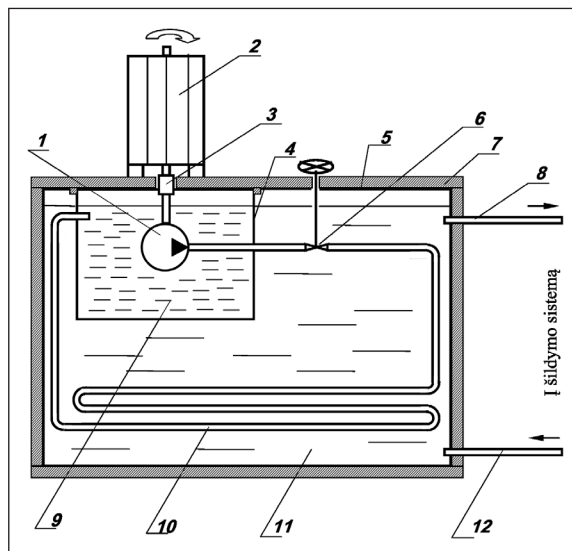


4 pav. Vėjo energijos naudojimas grunto šiluminei įkrovai

Nors vėjo energijos transformavimo į šilumą hidraulinės sistemos turi daugybę privalumų, vis dar manoma, kad tokiu būdu generuojamos energijos kiekiai per maži, o didesnės galios vėjo jėgainėse tiksliau gaminti elektrą, dalį jos vėliau pagal poreikius panaudoti šilumos gamybai. Todėl vėjo energijos transformavimo į šilumą hidraulinės sistemos praktikoje naudojamos labai retai. Išsamiai situacijos analizei buvo vykdytas vėjo energijos panaudojimo šilumai gaminti taikant hidraulinę sistemą galimybių tyrimas, jo rezultatai pateikiami šiame straipsnyje.

EKSPERIMENTINĖ ĮRANGA IR METODIKA

Eksperimentinis įrenginys buvo skirtas vėjo jėgainės su hidrauline sistema darbui modeliuoti (5 pav.). Vietoje besisukančio vėjaračio naudotas trifazis asinchroninis keturių polių 1,5 kW



5 pav. Eksperimentinio stendo schema: 1 – krumpliaratinis siurblys; 2 – elektros variklis; 3 – mova; 4 – alyvos bakas; 5 – akumuliacinė talpa; 6 – reguliuojamasis ventilis (hidraulinė apkrova); 7 – termoizoliacija; 8 – į šildymo sistemą tiekiamo šilumnešio atvamzdis; 9 – alyva; 10 – šilumokaitis; 11 – šilumnešis (vanduo); 12 – iš šildymo sistemos grįžtančio šilumnešio atvamzdis

galios elektros variklis (BEVI-4AK2 90L-4B14, $\cos\varphi = 0,77$, $\eta_{el.v.} = 0,828$). Eksperimentinių tyrimų metu multimetru ESCORT 3136A (tikslumo klasė 0,02) buvo matuojama kiekvienos prie elektros tinklo prijungtos fazės įtampa U ir srovės stiprumas I . Multimetro parodymai periodiškai buvo nuskaitomi ir įrašomi į kompiuterio duomenų archyvą, apskaičiuojama elektros variklio sunaudojama galia $P_{el.var.}$. Pats elektros variklis buvo pritvirtintas prie alyvos rezervuaro dangčio, o jo velenas per movą buvo sujungtas su hidraulinio krumpliaratinio siurblio (Vivolo-X2P5702, 26,2 cm³/aps.) vėliu. Hidraulinėje sistemoje naudojama 20 l mineralinės alyvos HV32. Hidraulinis siurblys panardintas į alyvą, esančią stačiakampio formos plieniniame alyvos rezervuare (BEK 20/E/E, 0,40 × 0,298 × 0,27 m³, sienelės storis $\delta = 4$ mm). Siurblio spaudiminė linija (skersmuo $d_v = 20$ mm) sujungta su šilumokaičiu. Pratekęs pro šilumokaitį alyva grįžtamuju vamzdžiu tekėdavo atgal į alyvos rezervuarą. Skysčiui droseliuoti naudotas reguliuojamasis ventilis (ventilio padėtis pilnais apsisukimais nuo uždarytos padėties $\gamma = 1; 0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0$ ir 9,0 – pilnai atidarytas). Sistemos apkrova buvo keičiama mažinant ar didinant reguliavimo ventilio pralaidumą.

Alyvos rezervuaras kartu su šilumokaičiu buvo įstatytas į akumuliacinę talpą – stačiakampio formos plieninį rezervuarą (BEK 150/E/E, $0,75 \times 0,488 \times 0,565 \text{ m}^3$, $\delta = 4 \text{ mm}$), į kurį galima prileisti 140 l vandens. Akumuliacinės talpos dangtyje (sienelės storis $\delta_d = 6 \text{ mm}$) padaryta stačiakampė anga ($0,42 \times 0,32 \text{ m}^2$) alyvos rezervuarui. Abu dangčiai buvo vienoje horizontalioje plokštumoje, tačiau tarpusavyje nesilietė – 1 cm pločio ir 6 mm gylio tarpas buvo termiškai izoliuotas ir užsandarintas.

Priklausomai nuo akumuliacinės talpos užpildymo eksperimentiniu stendu galima imituoti tris vėjo jėgainės su hidrauline sistema modelius. Pirmuoju atveju akumuliacinė talpa neužpildoma vandeniu (jei buvo užpildyta, tai visiškai nudrenuojama ir išdžiovinama): vandens padavimo į ir nuvedimo iš akumuliacinės talpos ventiliai yra uždaryti, dangtis užsandarinamas. Tokiu būdu talpoje lieka ir gali būti šildomas tik oras. Pati hidraulinė sistema: alyvos bakas, vamzdžiai, ventilis ir šilumokaitis – termiškai izoliuojama, iš išorės apvyniojant akmens vata, – nėra šilumos nuvedimo, tik minimalūs šilumos nuostoliai į aplinką. Pirmasis modelis buvo ištirtas pirmiausiai, tyrimų rezultatai pristatomi šiame straipsnyje. Antruoju atveju naudojama akumuliacinė talpa – ji užpildyta vandeniu, o nuo hidraulinės sistemos termoizoliacija nuimta. Trečiuoju atveju vietoje vandens akumuliacinė talpa užpildoma vienu iš grunto pavyzdžių – tiriamoji sistema skirta gruntui „įkrauti“.

Vėjaračio sukiai imituoti keičiant elektros variklio veleno sukimosi dažnį ($n = 0,5\text{--}5,0 \text{ aps./s}$) elektriniu dažnio keitikliu (Mitsubishi Electric – FR-D740–036SC–EC, trif., 1,5 kW, 0,2...400 Hz). Eksperimentinių tyrimų metu dažnio keitiklio indikatoriuje buvo nuskaitoma elektros varikliui užduotas dažnis $n_{užd}$, taip pat įtampa ir srovės stiprumas. Nuskaityti parodymai periodiškai buvo įrašomi į duomenų archyvą kompiuteryje.

Veleno sukimosi dažnis buvo matuojamas tachometru (Testo 465; paklaida: 0,01 aps./min).

Eksperimentinių tyrimų metu alyvos temperatūra matuota 4-iuose taškuose: alyvos rezervuare, prieš reguliuojamąjį ventilių, prieš šilumokaitį ir už šilumokaičio. Akumuliacinę talpą užpildžiusios medžiagos (vandens ar grunto pavyzdžio) temperatūrą galima matuoti taip pat 4-iuose taškuose. Kadangi straipsnyje pateikiamų eksperimentinių tyrimų metu akumuliacinė talpa buvo tuščia,

akumuliacinėje talpoje sumontuotų termojutiklių parodymai nepateikiami ir neanalizuojami. Temperatūrai matuoti naudoti termovaržiniai jutikliai (TJ4–Pt100, tikslumo klasė $\frac{1}{3}B$). Termojutiklių parodymai nuskaitomi ir perduodami į kompiuterį duomenų kaupikliais „PT–104 Data Logger“, tikslumas esant $25 \text{ }^\circ\text{C} - 0,01 \text{ }^\circ\text{C}$. Kiekvienas kaupiklis turi keturis įėjimo kanalus, skirtus prijungti Pt100 arba Pt1000. Naudoti du kaupikliai 8-ių jutiklių parodymams nuskaityti. Iš kaupiklių duomenys per USB jungtis perduodami į kompiuterį. Naudota kaupiklių gamintojų siūloma programinė įranga: „PicoLog Recorder“ ir „PicoLog Player“. Kiekvieno eksperimento metu alyvos temperatūros buvo matuojamos ir registruojamos ne mažiau nei 20 min. Tada nustatytas alyvos temperatūros kitimo greitis ir apskaičiuota generuojama šiluma.

Slėgis matuotas prieš reguliuojamąjį ventilių: mechaniniu manometru (WIKA, 0–25 bar, tikslumo klasė 1,6) ir slėgio jutikliu (NAH 25.0 A, 0–25 bar, 4–20 mA, matavimo tikslumas 0,3 %); už reguliuojamojo vožtuvo – slėgio jutikliu (NAH 2.5 A, 0–2,5 bar, 4–20 mA, 0,3 %). Slėgio jutiklių parodymų vizualizacijai instaliuoti du indikatoriai (LUMEL N20–6112008, 5 skaitmenų), per šiuos indikatorius jutikliai gavo 24 V nuolatinę maitinimo įtampą. Indikatorijų parodymai periodiškai buvo įrašomi į duomenų archyvą kompiuteryje. Eksperimentinių tyrimų metu hidraulinės sistemos apkrova apskaičiuota kaip skirtumas tarp slėgio jutiklių prieš ir už reguliuojamojo ventilio parodymų ($\Delta p = p_1 - p_2$).

Eksperimentinių tyrimų rezultatų atkuriamumui ir patikimumui patikrinti kiekvienai bandymų serijai, atliktai tomis pačiomis sąlygomis, buvo apskaičiuojami statistiniai parametrai ir patikrinta, ar Kochreno kriterijaus, variacijos koeficiento ir bendrosios rezultato santykinės paklaidos reikšmės neviršija leistinų reikšmių [17, 18]. Nustatyta, kad eksperimentinių tyrimų rezultatai pakankamai tikslūs, patikimi ir atkuriami.

Eksperimentiniame stende hidraulinio siurblio velenas sukamas elektros varikliu, o siurblio išvystoma galia gali būti nustatoma pagal elektros variklio galią:

$$P_s = \eta_{el.v.} P_{el.v.}, \quad (1)$$

čia: $\eta_{el.v.}$ – elektros variklio naudingumo koeficientas ($\eta_{el.v.} = 0,828$); $P_{el.v.}$ – elektros variklio galia, W.

Elektros variklio galia, išmatavus kiekvienos fazės įtampas ir sroves, apskaičiuojama pagal formulę:

$$P_{el.v.} = U_A I_A \cos\varphi + U_B I_B \cos\varphi + U_C I_C \cos\varphi, \quad (2)$$

čia: U_A, U_B, U_C – įtampa tarp atitinkamos elektros variklio fazės ir „nulinio“, V; I_A, I_B, I_C – atitinkamos elektros variklio fazės srovės stiprumas, $\cos\varphi$ – fazių skirtumas tarp įtampas ir srovės ($\cos\varphi = 0,77$).

Siurblio galia gali būti apskaičiuojama ir pagal siurblio veleno judesį:

$$P_s = \omega M = 2\pi n M, \quad (3)$$

čia: M – siurblio veleno sukimo momentas, $N \cdot m$; ω – siurblio veleno sukimosi kampinis greitis, rad/s; $\omega = 2\pi n$, kur: n – siurblio veleno sukimosi dažnis, aps./s.

Veikiant hidrauliniame siurbliui, dalis siurblio energijos transformuojama į skysčio (alyvos) mechaninę energiją, dalis energijos pačiame hidrauliniame siurblyje transformuojasi į šilumą ir perduodama alyvai. Hidraulinė sistema: hidraulinis siurblys; vamzdžiai, kuriais teka alyva; reguliuojamasis ventilis; šilumokaitis ir alyvos bakas, patalpinti akumuliacinėje talpoje, kuri gali būti neužpildyta, užpildyta vandeniu arba grunto pavyzdžiu. Taigi alyvos kaupiama šiluma per hidraulinę sistemą: alyvos rezervuaro, vamzdžių ir šilumokaičio sienelės, reguliuojamojo ventilio korpusą, perduodama (arba beveik neperduodama, jei hidraulinė sistema termiškai izoliuota) medžiagai akumuliacinėje talpoje. Taip pat reikia įvertinti ir šilumos nuostolius į aplinką.

Šilumos balanso lygtis:

$$P_s - Q_{ak} - Q_n = Q_s + P_{al} - Q_{ak} - Q_n = 0, \quad (4)$$

čia: Q_s – energijos dalis per laiko vienetą, kuri hidrauliniame siurblyje transformuojasi į šilumą ir perduodama skysčiui, W; P_{al} – alyvai suteikiama mechaninės energijos dalis, W; Q_{ak} – medžiagai akumuliacinėje talpoje per laiko vienetą perduodama šiluma, W; Q_n – šilumos nuostoliai į aplinką per laiko vienetą, W.

Iš siurblio alyva teka vamzdžiu, prateka pro reguliuojamąjį ventilį, teka vamzdiniu-spiraliniu šilumokaičiu ir vamzdžiu grąžinama į alyvos rezervuarą. Kadangi skystis, nugalėdamas hidrauli-

nį pasipriešinimą, teka uždaru ratu, visa jo mechaninė energija virsta į šilumą:

$$P_{al} = Q_{rv} + Q_{vmz.} + Q_s, \quad (5)$$

čia: Q_{rv} – reguliuojamame ventilyje dėl alyvos mechaninės energijos nuostolių kliūtyje per laiko vienetą generuojama šiluma, W; $Q_{vmz.}$ – vamzdžiuose (vamzdžiuose iki šilumokaičio ir iš šilumokaičio į alyvos rezervuarą) dėl trinties tekant alyvai į šilumą per laiko vienetą virstanti energija, W; Q_s – šilumokaityje dėl trinties tekant alyvai į šilumą per laiko vienetą virstanti energija, W.

Šilumos nuostoliai:

$$Q_n = Q_{n_{al}} + Q_{n_{ak}}, \quad (6)$$

čia: $Q_{n_{al}}$ – šilumos nuostoliai į aplinką per alyvos bako dangtį ir hidraulinio siurblio veleną, per laiko vienetą, W; $Q_{n_{ak}}$ – šilumos nuostoliai į aplinką per akumuliacinės talpos sienelės, W.

Siurblio energija yra transformuojama į šilumą:

$$P_s = Q_s + Q_{rv} + Q_{vmz.} + Q_s - Q_{ak} - Q_{n_{al}} - Q_{n_{ak}}. \quad (7)$$

Keičiant reguliuojamojo ventilio rankenėlės padėtį, alyvos tėkmė yra droseliuojama – keičiamas ventilio vietinių nuostolių koeficientas ζ , kinta ne tik kliūtyje generuojamos šilumos kiekis, bet tuo pačiu ir pasipriešinimas alyvos tėkmei – kinta apkrova siurbliui. Apkrovą siurbliui patogų išreikšti per slėgio nuostolius (Δp) kliūtyje:

$$\Delta p = \rho_{al} g \zeta \frac{v^2}{2g} = 8\rho_{al} \zeta \frac{G^2}{\pi^2 d^4} = 8\rho_{al} \zeta \frac{(\eta_t n V_{s_{aps.}})^2}{\pi^2 d^4} = 8\rho_{al} \frac{\eta_t^2 V_{s_{aps.}}^2}{\pi^2 d^4} \zeta n^2, \quad (8)$$

čia: ρ_{al} – alyvos tankis, kg/m^3 ; g – laisvojo kritimo pagreitis, m/s^2 ; ζ – reguliuojamojo ventilio vietinių nuostolių koeficientas; G – alyvos debitas, m^3/s ; d – vamzdžio išėjime skersmuo (visiems vamzdžiams vienodas), m; v – vidutinis alyvos tėkmės greitis, m/s ; η_t – tūrinis siurblio naudingumo koeficientas; $V_{s_{aps.}}$ – vieno apsisukimo metu iš siurblio išstumiamos alyvos kiekio tūris ($V_{s_{aps.}} = 26,2 \text{ cm}^3/\text{aps.}$), $m^3/\text{aps.}$

Alyvai pratekant pro kliūtį – reguliuojamąjį ventilį, skysčio mechaninės energijos dalis

(vietiniai hidrauliniai nuostoliai), virtusi į šilumą, apskaičiuojama taip:

$$Q_{rv} = \rho_{al} g G \zeta \frac{v^2}{2g} = 8 \rho_{al} \zeta \frac{G^3}{\pi^2 d^4}. \quad (9)$$

Alyvai tekant vamzdžiais ir šilumokaičiu, dalis skysčio mechaninės energijos dėl trinties (kelio hidrauliniai nuostoliai) transformuojasi į šilumą:

$$Q_{vmz} + Q_s = \rho_{al} g G \lambda \frac{1}{d} \frac{v^2}{2g} = 8 \rho_{al} \lambda \frac{1}{d} \frac{G^3}{\pi^2 d^4}, \quad (10)$$

čia:

$$\lambda = \lambda_{vmz_{jt}} + \lambda_s + \lambda_{vmz_{is}}, \quad (11)$$

$$l = l_{vmz_{jt}} + l_s + l_{vmz_{is}} \quad (12)$$

čia: λ – hidraulinės trinties koeficientas skaičiuojamas kaip koeficientų – vamzdžiui iki šilumokaičio ($\lambda_{vmz_{jt}}$), šilumokaityje (λ_s) ir vamzdžiui nuo šilumokaičio iki alyvos rezervuaro ($\lambda_{vmz_{is}}$) – suma; l – vamzdžių – iki šilumokaičio ($l_{vmz_{jt}}$), šilumokaičio (l_s) ir nuo šilumokaičio iki alyvos rezervuaro ($l_{vmz_{is}}$) – suma, m.

Alyvai hidraulinėje sistemoje suteikiama šiluma:

$$Q_{al} = Q_s + Q_{rv} + Q_{vmz} + Q_s - Q_n = m_{al} c_{p_{al}} \frac{\Delta T_{al}}{t} - Q_n, \quad (13)$$

čia: $m_{al} = \rho_{al} V_{al}$; m_{al} – alyvos masė, kg; ρ_{al} – alyvos tankis, kg/m³; V_{al} – alyvos tūris hidraulinėje sistemoje, m³; $c_{p_{al}}$ – alyvos savitoji šiluma, J/(kg·K); ΔT_{al} ($\Delta T_{al} = T_{al} - T_0$) – alyvos temperatūros pokytis, K; T_{al} – alyvos temperatūra realiuoju laiku, K (matuota termovaržomis); T_0 – alyvos temperatūra pradinio laiko momentu, K (eksperimento pradžioje: $T_0 = T_{apl} = 19-20$ °C); t – laiko intervalas, per kurį išmatuotas ΔT_{al} s.

Kaip jau buvo minėta anksčiau, pirmiausia iš-tirtas pirmasis vėjo jėgainės su hidrauline sistema modelis, tai yra eksperimentinių tyrimų metu akumuliacinė talpa buvo tuščia. Visa hidraulinėje sistemoje generuojama šiluma:

$$Q = Q_{al} = m_{al} c_{p_{al}} \frac{\Delta T_{al}}{t} - Q_n, \quad (14)$$

čia: Q – hidraulinėje sistemoje per laiko vieneta generuojama šiluma, W.

Hidraulinės sistemos efektyvumas gali būti apskaičiuojamas pasinaudojus (1), (2) ir (14) lygtimis:

$$\eta = \frac{Q}{P_s}. \quad (15)$$

Kitų eksperimentinių tyrimų metu, imituojant kitus vėjo jėgainės su hidrauline sistema modelius, šilumos perdavimas medžiagai (vandeniui arba gruntui), esančiai akumuliacinėje talpoje, vyksta per alyvos bako sienelės, šilumokaityje per vamzdžio sienelės, taip pat per kitus hidraulinės sistemos vamzdžius ir reguliuojamojo ventilio korpuso išorinį paviršių.

REZULTATAI

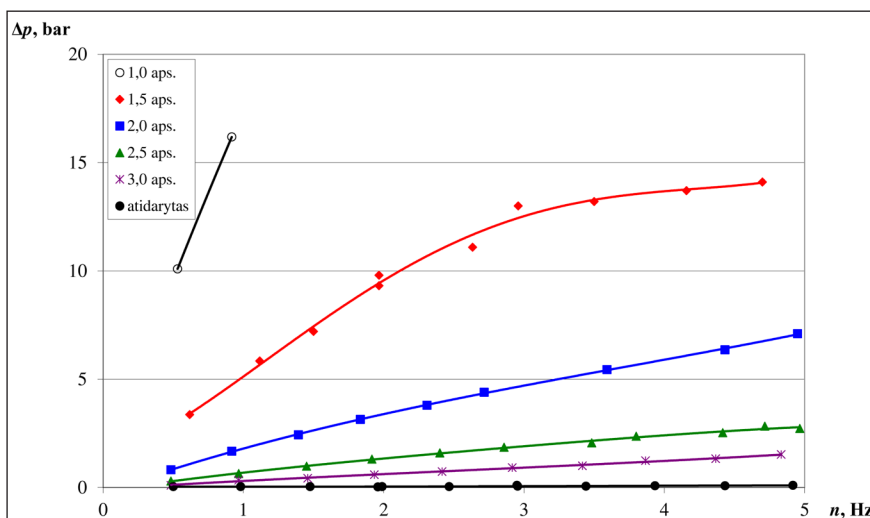
Eksperimentinių tyrimų metu hidraulinio siurblio velenas imituojant vėjo jėgainės darbą buvo sukamas dažniu $n = 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5$ ir 5 aps./s. Tai mažų dažnių sritis, imituojamas tiesioginis vėjaračio veleno jungimas su siurblio veleno nenaudojant reduktoriaus. Eksperimentinių tyrimų metu apkrova buvo keičiama reguliuojamojo ventilio atidarymu (γ , apsisukimais arba rad), pradedant nuo visiškai uždaryto (0 aps.) iki visiškai atidaryto (9 aps.) ventilio. Bandymai vykdyti prie $\gamma = 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 9,0$ aps. Intervale nuo $\gamma = 3,0$ aps. iki $\gamma = 9,0$ aps. hidraulinės sistemos pasipriešinimas tėkmei kito labai nežymiai, todėl vykdant bandymus apsiribota minėtomis dvejomis γ reikšmėmis. Eksperimentiškai ištirtas pirmasis eksperimentinio stendo modelis, kai alyvos bakas, vamzdžiai ir šilumokaitis termiškai izoliuoti, o akumuliacinė talpa tuščia – neužpildyta nei vandeniu, nei gruntu. Kiekvieno bandymo pradžioje alyvos temperatūra buvo aplinkos temperatūros $T_{al} = 19-20$ °C.

Maksimali modeliuojamos vėjo jėgainės apkrova būtų pasiekama visiškai uždarius reguliuojamąjį ventili ($\zeta \rightarrow \infty$). Siurblio velenas būtų sukamas maksimaliu sukimo momentu $M_s = M_{s_{max}}$, sukimosi dažnis smarkiai sumažėtų. Alyvos slėgis spaudiminėje linijoje prieš kliūtį pasiektų maksimalią reikšmę $p = p_{max}$, o jos debitas sistemoje $G \approx 0$ m³/s. Visa šiluma būtų generuojama siurblyje – alyva įtraukiama į jį ir slegiama bei maišoma jame, vėliau ji išspaudžiama atgal į alyvos baką, o šilumokaitis būtų atjungtas (alyva per jį necirkuliuotų dėl uždaryto ventilio).

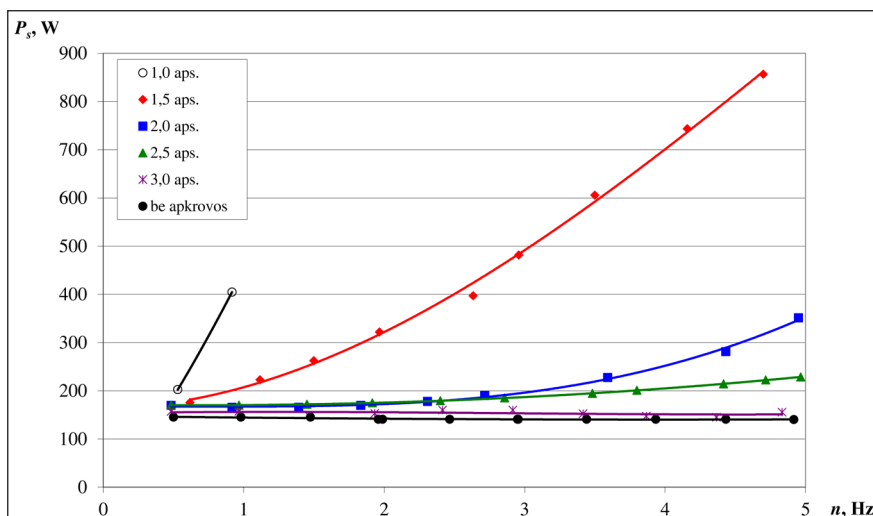
Ekspirimentaiškai įvykdyti bandymus prie visiškai uždaryto ventilio ($\gamma = 0$ aps.) nepavyko, nes dėl išaugusio sukimo momento elektros variklio apkrova pasiekė maksimalias leistinas varikliui elektros srovės reikšmes ($I \geq 5$ A) ir suveikė apsauga. Maksimali hidraulinės sistemos apkrova atitiko $\gamma = 1,0$ aps. reguliuojamojo ventilio padėtį. Prie šios ventilio padėties pavyko padaryti dviejų bandymų seriją, kol pasiektos maksimalios elektros variklio elektros srovės reikšmės. Tai buvo bandymai, hidraulinio siurblio veleno sukimosi dažniui esant $n = 0,5$ ir $1,0$ aps./s (6 pav.). Siurblio gaunama iš elektros variklio galia: $P_s = 202$ W, kai $n = 0,53$ aps./s ir $P_s = 405$ W, kai $n = 0,92$ aps./s (7 pav.). Šiuo atveju apkrova atitiko slėgį $p = 10,1$ bar ($n = 0,53$ aps./s) ir $p = 16,2$ bar ($n = 0,92$ aps./s). Hidraulinėje sistemoje sugeneruota šiluma: $Q = 90$ W ($n = 0,5$ aps./s) ir $Q = 187$ W ($n = 1,0$ aps./s) (8 pav.).

Kita bandymų serija vykdyta reguliuojančiojo ventilio padėčiai esant $\gamma = 1,5$ aps. Hidraulinio siurblio veleno sukimosi dažnis buvo keičiamas nuo $n = 0,5$ aps./s iki $n = 5,0$ aps./s. Hidraulinio siurblio gaunama galia kito nuo $P_s = 175$ iki 856 W. $\gamma = 1,5$ aps. apkrova atitiko slėgį $p = 3,4$ bar, kai $n = 0,62$ aps./s ir slėgis didėjant siurblio veleno sukimosi dažniui didėjo iki $p = 14,1$ bar, kai $n = 4,7$ aps./s. Hidraulinėje sistemoje sugeneruota šiluma kito nuo $Q = 21$ W, kai $n = 0,62$ aps./s, iki $Q = 578$ W, kai $n = 4,7$ aps./s.

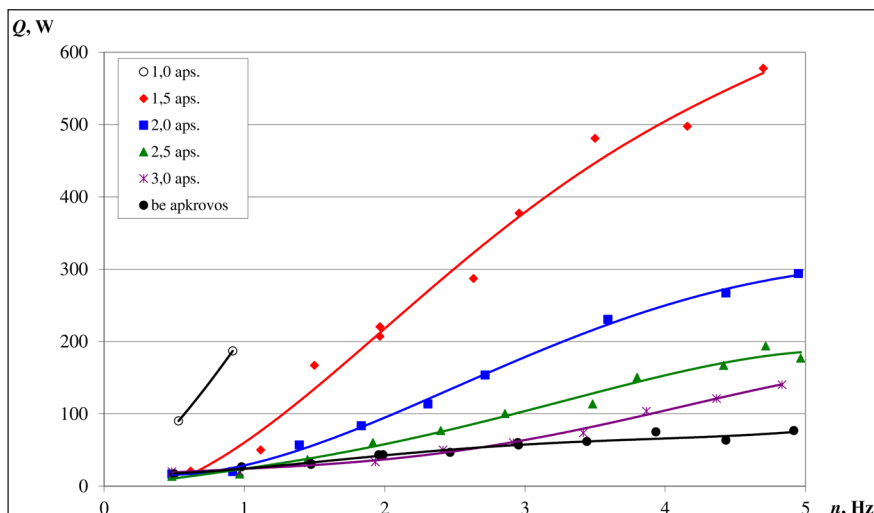
Kai reguliuojančiojo ventilio padėtis buvo $\gamma = 2,0$ aps., siurblio gaunama galia kito nuo $P_s = 170$ iki 351 W. Apkrova $\gamma = 2,0$ aps., atitiko slėgį $p = 0,82$ bar, kai $n = 0,48$ aps./s ir $p = 7,1$ bar, kai $n = 4,95$ aps./s. Hidraulinėje sistemoje sugeneruota šiluma kito nuo $Q = 17$ W, kai $n = 0,48$ aps./s, iki $Q = 294$ W, kai $n = 4,95$ aps./s.



6 pav. Hidraulinės sistemos apkrovos priklausomybė nuo veleno sukimosi dažnio, kai reguliuojamojo ventilio padėtis $\gamma = 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0$ aps. ir be apkrovos



7 pav. Siurblio gaunamos galios priklausomybė nuo veleno sukimosi dažnio, kai apkrova $\gamma = 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0$ aps. ir be apkrovos



8 pav. Hidraulinėje sistemoje generuojamos šilumos kiekio priklausomybė nuo veleno sukimosi dažnio, kai apkrova $\gamma = 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0$ aps. ir be apkrovos

Esant $\gamma = 2,5$ aps., P_s kito nuo 170 iki 229 W; $p = 0,3$ bar, kai $n = 0,49$ aps./s ir $p = 2,7$ bar, kai $n = 4,97$ aps./s, o sugeneruota šiluma kito nuo $Q = 15$ W, kai $n = 0,49$ aps./s, iki $Q = 194$ W, kai $n = 4,72$ aps./s. Kai $\gamma = 3,0$ aps., P_s kito nuo 147 iki 157 W; $p = 0,1$ bar, kai $n = 0,48$ aps./s ir $p = 1,5$ bar, kai $n = 4,83$ aps./s, o $Q = 18$ W, kai $n = 0,48$ aps./s, ir $Q = 140$ W, kai $n = 4,83$ aps./s.

Kita bandymų serija, kai hidraulinė sistema dirba be apkrovos, – reguliuojantysis ventilis visiškai atidarytas ($\gamma = 9,0$ aps.). Kaip ir ankstesnių serijų metu, hidraulinio siurblio veleno sukimosi dažnis buvo keičiamas nuo $n = 0,5$ aps./s iki $n = 5,0$ aps./s žingsniu – $0,5$ aps./s. Siurblio gaunama galia P_s kito nuo 140 iki 146 W. Hidraulinės sistemos be apkrovos pasipriešinimas skysčio tėkmei sudarė slėgį $p \approx 0$ bar, kai $n = 0,5$ aps./s ir kito iki $p = 0,1$ bar, kai $n = 4,92$ aps./s. Be apkrovos dirbančioje sistemoje generuojama šiluma kito nuo $Q = 17$ W, kai $n = 0,50$ aps./s, iki $Q = 77$ W, kai $n = 4,92$ aps./s.

Lyginant hidrauline sistema generuojamos šilumos kiekius prie skirtingų siurblio veleno sukimosi dažnių, nustatyta, kad prie $n \approx 0,5$ aps./s, didinant apkrovą nuo $\gamma = 9,0$ aps. iki $\gamma = 1,5$ aps., generuojamos šilumos kiekis kito labai nežymiai $Q = 19 \pm 2$ W. Tik esant maksimaliai apkrovai $\gamma = 1,0$ aps. generuojamos šilumos kiekis išaugo iki $Q = 90$ W – padidėjo daugiau nei keturis kartus. Atitinkamai ir hidraulinės sistemos efektyvumas Q/P_s išaugo nuo 0,1 iki 0,4. Kai $n = 1,0$ aps./s, generuojamos šilumos kiekis kito nuo $Q_{\min} = 27$ W (be apkrovos) iki $Q_{\max} = 187$ W ($\gamma = 1,0$ aps.) – padidėjo taip pat daugiau nei keturis kartus. Sistemos efektyvumas didinant ap-

krovą pakito nuo 0,2 iki 0,4. Kai $n = 1,5$ aps./s, Q kinta nuo $Q_{\min} = 31$ W iki $Q_{\max} = 167$ W, tačiau jau prie mažesnės galimos apkrovos, kuri atitinka $\gamma = 1,5$ aps., šiuo atveju generuojamos šilumos kiekį galima padidinti $Q_{\max}/Q_{\min} = 5,4$ karto, sistemos efektyvumas (Q/P_s) prie $\gamma = 1,5$ aps. pasiekia 0,6 ir išlieka didesnis nei 0,6 iki $n = 5$ aps./s. Kai $n = 2,0$ aps./s, Q kinta nuo $Q_{\min} = 43$ W iki $Q_{\max} = 220$ W, sistemos efektyvumas didesnis už 0,5 jau ir esant $\gamma = 2,0$ aps. (nuo $n = 2,5$ aps. $Q/P_s \geq 0,6$, kai $\gamma = 2,0$ aps.). Kai $n = 2,5$ aps./s, Q kinta nuo $Q_{\min} = 47$ W iki $Q_{\max} = 287$ W; kai $n = 3,0$ aps./s, Q kinta nuo $Q_{\min} = 57$ W iki $Q_{\max} = 377$ W; o $Q/P_s \geq 0,5$ jau ir kai $\gamma = 2,5$ aps. Kai $n = 4,0$ aps./s, Q kinta nuo $Q_{\min} = 75$ W iki $Q_{\max} = 498$ W; o $Q/P_s \geq 0,5$ jau ir kai $\gamma = 3,0$ aps.; kai $n = 5,0$ aps./s, Q kinta nuo $Q_{\min} = 77$ W iki $Q_{\max} = 577$ W. Maksimalus sistemos efektyvumas $Q/P_s = 0,95$ pasiektas, kai apkrova $\gamma = 2,0$ aps. ir $n = 3,5$ aps./s. Aukštas sistemos efektyvumas $Q/P_s \geq 0,80$, nustatytas esant apkrovai $\gamma = 1,5$ aps. ir $n = 3,0$ aps./s; kai apkrova $\gamma = 2,0$ aps. ir $n = 3,5$ aps./s; kai apkrova $\gamma = 2,5$ aps. ir $n = 4,5$ aps./s; kai apkrova $\gamma = 3,0$ aps. ir $n = 5,0$ aps./s, be apkrovos eksperimentiniame stende tirta hidraulinė sistema pasiekė maksimalų efektyvumą $Q/P_s \approx 0,5$, kai $n = 4,0-5,0$ aps./s.

IŠVADOS

1. Eksperimentiškai ištirtos hidraulinės sistemos, varomos vėjo energijos, galimybės generuoti šilumą, kurią tikimasi panaudoti pastatams šildyti. Keičiant elektros variklio sukimosi dažnį nuo 0,5 iki 5 Hz, imituotas vėjaračio darbas. Naudojama

galia kito nuo 140 iki 856 W. Krumpliaratinio siurblio apkrova, sudaroma reguliuojamojo ventilio, tyrimų metu buvo keičiama nuo 0,04 (be apkrovos) iki 16,2 bar. Hidrauline sistema generuojamas šilumos kiekis kito nuo 15 iki 578 W.

2. Eksperimentiškai nustatyta, kad siurblio veleno sukimosi dažniams esant $n = 0,5-5,0$ Hz, generuojamos šilumos kiekis didinant apkrovą pastebimai išaugo tik artėjant prie reguliuojamuoju ventiliu sudaromos apkrovos $\gamma \rightarrow 1,0-2,0$ aps. Maksimalus sistemos efektyvumas ($\eta = 0,95$) pasiektas esant siurblio veleno sukimo dažniui $n = 3,5$ Hz ir apkrovai $\gamma = 2,0$ aps.

3. Nustatyta, kad hidraulinė šilumos generavimo sistema net ir neapkrauta pasiekia naudingumo koeficientą iki 0,5, o su apkrova efektyvumas išauga iki $>0,85$. Galima teigti, kad vėju varomos hidraulinės sistemos generuojamą šilumą galima naudoti ir kaip alternatyvų energijos šaltinį pastatams šildyti.

Gauta 2014 12 17
Priimta 2015 05 08

Literatūra

- Andrejevas A., Morkūnas E. *Technikos paminklai Lietuvoje. Vėjo malūnai*. Vilnius: Mokslas, 1982. 164 p.
- Ashiklan B. Wind motor operated heating system. United States Patent No. 3752395, 1973. P. 1–5.
- Ashikian B. Wind operated heating system. United States Patent No. 3783858, 1974. P. 1–6.
- Knecht J. E. Wind driven heating system. United States Patent No. 4366779, 1983. P. 1–8.
- Europos parlamento ir Tarybos direktyva 2010/31/ES, 2010 m. gegužės 19 d. dėl pastatų energinio naudingumo L153. P. 13–35.
- Černeckienė J., Ždankus T. Usage of the wind energy for heating of the energy-efficient buildings: analysis of possibilities. *Proceedings of 4th International Conference on Advanced Construction 2014*. P. 236–237.
- Petrauskas G., Adomavičius V. *Vėjo energijos naudojimas elektrai gaminti*. Kaunas, 2012. 167 p.
- Li Q., Chen Q., Zhang X. Performance analysis of a rooftop wind solar hybrid heat pump system for buildings. *Energy and Buildings*. 2013. No. 65. P. 75–83.
- Tsao J. Solar and wind hybrid powered air-conditioning/refrigeration, space-heating, hot water supply and electricity generation system. United States Patent No. US7937955B2, 2011. P. 1–41.
- Haslach H. W. Jr. Wind turbine heating generating apparatus. United States Patent No. 4596209, 1986. P. 1–7.
- Yeaple F. *Fluid Power Design Handbook*. CRC Press, 1995. 854 p.
- Žiedelis S. *Hidraulinės ir pneumatinės sistemos*. Kaunas, 2009. 196 p.
- Thompson W. J., Freeman P. A. Wind-powered impeller-mixer. United States Patent No. 4292540, 1981. P. 1–6.
- Maegaard P., Krenz A., Palz W. *Wind Power for the World: The Rise of Modern Wind Energy*. Pan Stanford Publishing, 2013. 676 p.
- Hackett R. S. Heating system. United States Patent No. 3822740, 1974. P. 1–5.
- Ozgener O. Use of solar assisted geothermal heat pump and small wind turbine systems for heating agricultural and residential buildings. *Energy*. 2010. No. 35. P. 262–268.
- Kruopis J. *Matematinė statistika*. Vilnius: Mokslas, 1993. 416 p.
- Саутин С. Н. *Планирование эксперимента в химии и химической технологии*. Ленинград „Химия“, 1975. 48 с.

Jurgita Černeckienė, Tadas Ždankus

INVESTIGATION OF WIND ENERGY USAGE FOR THE HEATING WITH A HYDRAULIC SYSTEM

Summary

Using wind energy for the heating of buildings can significantly reduce fuel consumption and thus environmental pollution. The issue of wind mechanical energy conversion into heat is not new, but now electrical systems, where a wind rotor drives an electric generator, and heat in the building is obtained by using electric heaters, are the most common. Larger amounts of generated heat and lower investment could be achieved by using a hydraulic heat generation system instead of an electric one.

The main components of a hydraulic system in the experimental research were a gear pump, a load control valve and a heat exchanger. A small wind turbine rotor work is experimentally modeled with electric motor rotating at up to 5 Hz. The experimental studies have shown that the hydraulic heat generation system, even if unloaded, reaches the efficiency of up to 0.5, and the load efficiency increases to >0.85 . Heat generated by wind energy can be supplied to the coolant in an accumulation tank if the building uses a gas or solid fuel boiler as the main energy source. Otherwise, heat can be accumulated in the soil if a geothermal system is used for the heating of a building.

Key words: wind energy, hydraulic system, energy transformations, heat exchange, heating of the building