
Hidroterminių trimačių procesų Drūkšių ežere skaitinis modeliavimas

3. Vėjas

**Vladislovas Katinas,
Jelena Petkevičienė,
Petras Vaitiekūnas**

*Lietuvos energetikos institutas,
Atsinaujinančių energijos šaltinių
laboratorija,
Breslaujos g. 3, LT-3035 Kaunas*

Darbe atliktas Drūkšių ežero – Ignalinos atominės elektrinės (IAE) aušintuvo hidrodinaminių procesų matematinis modeliavimas naudojant trimatį skaitinį modelį ir elipsinių pernešimo lygčių skaitinio sprendimo programas.

Jis skirtas analizuoti aušintuvo galimybei tenkinti IAE poreikius ir aušinimo galimybių ribas, kad būtų išvengta viso baseino vandens temperatūros padidėjimo. Šiam tikslui reikia žinoti judėjimą baseino vandens masių, veikiamų elektrinės išleidžiamo šilto vandens, sukeliančio natūralią konvekciją, vėjo stiprumo, krypties ir reljefo, kaip hidrodinaminių veiksnių, įtaką.

Skaitiškai įvertinta vėjo ir reljefo įtaka ežero vandens masės dinamikai. Šio proceso kriterijai yra vandens debitas, vėjo stiprumas, kryptis ir reljefas, išleidžiamo iš IAE vandens temperatūra ir aušinančio vandens ėmimo vietoje temperatūra, kurią sąlygoja minėti veiksniai.

Raktažodžiai: skysčių skaičiavimo dinamika, skaitinis modeliavimas, trimačiai procesai, vandens telkinys-aušintuvas, hidrodinamika, turbulencijos

1. ĮVADAS

Vandens telkinių-aušintuvų hidroterminių procesų skaitinis modeliavimas yra palyginti mažai tyrinėta sritis. Šiems uždaviniams, aktualiems gamtosaugos požiūriu, spręsti pastaraisiais metais atliekama vis daugiau darbų, kurių keletas trumpai apžvelgta [1] darbe.

Darbo [2] vienfaziam modelio uždavinyje įvertinta daug veiksnių, turinčių įtaką baseinų-aušintuvų hidrotermikai, kaip antai baseino geometrija, dinaminės ir šiluminės savybės, kraštinės sąlygos, mainai vanduo-oras paviršiu riboje, natūrali bei priverstinė konvekcija, garavimo bei kondensacijos šiluma, saulės spinduliuotė per metus skaidant ją mėnesiais, paromis ir net valandomis.

Greta informacijos apie oro ar vandens fizines savybes, gamtiniams tekėjimams būdinga daugelis specifinių savybių: ypatingos kraštinės sąlygos oro ir vandens skiriamajame riboje, pasireiškiančios vandens paviršiaus trintimi, turbulentinės kinetinės energijos srautas į vandens masę. Konvekcinius masės ir šilumos mainus sąlygoja pasienio sluoksnio formavimosi ant telkinio vandens paviršiaus dėsniniai. Atliekant skaitinį modeliavimą būtina įvertinti įvairių veiksnių įtaką, pateikti analitines matematinės formules ir kraštinės sąlygas.

Pagal gamtosaugos reikalavimus, baseinų-aušintuvų arba vandens telkinių-aušintuvų vandens temperatūra neturi būti aukštesnė kaip 28°C, o telkinių, naudojamų kultūrinėms reikmėms, pvz., poilsiui, ne aukštesnė už karščiausio mėnesio vidutinę temperatūrą plus 3°C, vertinant pastarųjų 10 metų laiką. Matyti, kad būtina tiksliai įvertinti ežero-aušintuvo šiluminę galią, siekiant užtikrinti ekologinę pusiausvyrą ežere-aušintuve.

Darbo tikslas – remiantis [1] darbu, vėjo vektorių laukų virš ežero-aušintuvo, vėjo stiprumo ir krypties, atsižvelgiant į artimajį reljefą, įtakos visam ežero vandens paviršiui matematinis modeliavimas.

Darbą finansavo Valstybinis mokslo ir studijų fondas.

2. PAGRINDINĖS LYGTYS

Būtina atlikti natūralaus aušinamojo baseino kaip adekvataus šilumos iš atominės elektrinės priėmėjo analizę, susidedančią iš geografinių, atmosferos, vandens temperatūros charakteristikų. Kintant atmosferos ir sausumos paviršiaus sąlygoms keičiasi ir baseino-aušintuvo hidroterminės charakteristikos. Kiekvienas atmosferos ar sausumos veiksnys pavieniui negali apibrėžti aušintuvo šilumos mainų ypatumų. Visi veiksniai yra susieti tarpusavyje, todėl juos reikia kartu

nagrinėti ir įvertinti jų visumą. Galutinis tikslas – visus šiuos veiksnius įvertinti baseino šilumos balanse. Ežero vandens hidrodinamikos analizė bus pradinis etapas nustatant baseino aušinimo pajėgumą ir skaičiuojant visą vandens temperatūros padidėjimą.

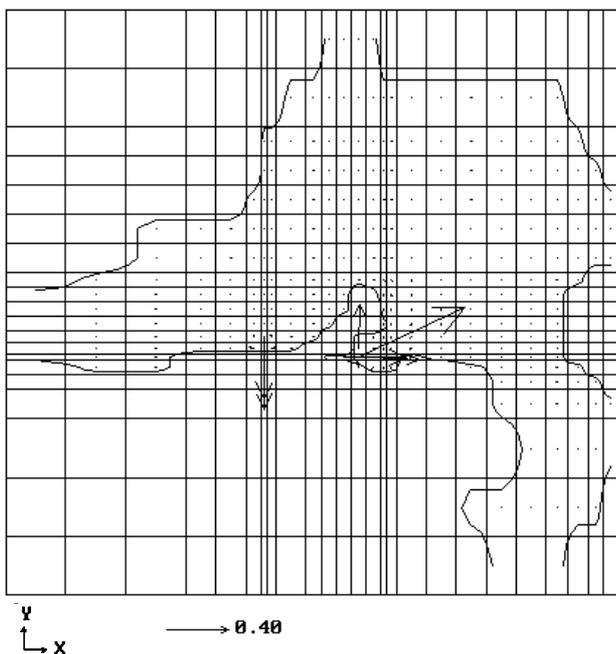
Uždavinio geometrijos aprašymas. Pernešimo lygčių sistemai diskretizuoti reikia tinklinės srities. Ji buvo sudarinėjama įvairiais būdais [3–5]. Naudojant Dekarto koordinatinių sistemą skirtuminis tinklelis bendruoju atveju yra $x \cdot y \cdot z = 25 \cdot 20 \cdot 16$. Skirtuminis tinklelis yra kintamo žingsnio pagal koordinatinių ašis (1 pav.).

Pradinių ir kraštinių sąlygų įtaka uždavinio hidroterminiams procesams. Matematinės srauto pernešimo procesų lygtys, aprašančios dinaminis ir šilumos srauto procesus, bendriausios formos yra šios (Navje–Stokso ir energijos) lygtys:

$$\underbrace{\text{div}(\rho \vec{v} \phi)}_{\text{konvekcija}} - \underbrace{\text{div}(\Gamma_{\phi} \cdot \text{grad} \phi)}_{\text{difuzija}} = \underbrace{S_{\phi}}_{\text{šaltinis}}; \quad (1)$$

čia ρ – vandens tankis, \vec{v} – trimatis greičio vektorius, Γ_{ϕ} – efektyvusis mainų koeficientas, ϕ – apibendrintas priklausomas kintamasis, kai $\Phi = 1$, gaunama nepertraukiamumo lygtis, u , v ir w – greičio vektoriaus komponentės koordinatinių ašių kryptimis, H – entalpija.

Šios lygtys papildomos sistema išraiškų, apibūdinančių vandens termodinamines savybes – tankį, kaip temperatūros funkciją, ir pernešimo savybes – klampį, šilumos laidumą ir kt.



1 pav. Skirtuminis tinklelis ($x.y.z = 25.20.16$) ir Drūkšių ežero kontūras su vandens paviršiaus greičio vektoriais. (Vektorių mastelis 0,4 m/s)

Momento pokytis tarp oro ir vandens paviršių. Paviršiniai srauto momentai egzistuos kaip oro srautų poveikio vandens paviršiui pasekmė. Šis momento šaltinis bus išreikštas tiesine forma ir apibūdins jį savo intensyvumu ir kryptimi. Oro srautų efektas vandens paviršiui kinetiniu požiūriu bus įvertintas kaip paviršiaus kontakto srauto momentas, proporcingas vėjo stiprumui. Skaičiavimo programoje šis efektas bus išreikštas šaltinio nariu (1) lygtyje kaip momentas dviejų srautų, kurių sudėtinis poveikis atspindės tik vėjo poveikį vandens paviršiui. Kiekvienas šių srautų išreikš įtaką apibrėžta kryptimi [1]:

$$\begin{aligned} S_u &= C(V - u), \\ S_v &= C(V - v); \end{aligned} \quad (2)$$

čia u – vakarų, $-u$ – rytų vėjas; v – pietų, $-v$ – šiaurės vėjas; C ir V – vidutinio vėjo, veikiančio vandens paviršių, parametrai. Pietvakarių, pietryčių, šiaurės vakarų ir šiaurės rytų bei dar kitaip pučiantiems vėjams modeliuoti kraštinėse uždavinio sąlygose naudota dviejų vektorių sudėtis norint gauti norimos krypties vėją.

Nagrinėjant temperatūros ir greičio nedidelių kitimų prielaidas vertikaliosios koordinatės kryptimi, gerokai mažesnius negu horizontalių koordinatinių kryptimis vykstančius procesus galima nagrinėti kaip visą trimatį modelį ir įvertinti neizotropinį turbulentiškumą arba visai jį ignoruoti srauto dinamikoje.

Paprastai vėjo greitis matuojamas viename fiksuotame aukštyje. Tyrimai rodo, kad pasienio sluoksnis ant paviršiaus aprašomas tam tikromis matematinėmis formulėmis. Dažniausiai bei [6–9] darbuose vėjo greičio ekstrapoliacijai pagal aukštį panaudojama viena šių formulių: 1) logaritminė

$$V_2 = V_1 [\ln(h_2/h_0) / \ln(h_1/h_0)]; \quad (3)$$

čia h_0 – šiurkštumo parametras; arba 2) laipsninė

$$V_2/V_1 = (h_1/h_0)^n; \quad (4)$$

čia V_1 ir h_1 – žinomas vėjo greitis ir aukštis; V_2 ir h_2 – ieškomas vėjo greitis nustatytame aukštyje; n – laipsnio rodiklis.

Atlikti tyrimai rodo, kad, jei vėjo greitis aukštyje nuo 10 m iki 20 m yra apie 20 m/s, atmosferos stratifikacija 100 m storio sluoksnyje artima neutraliai ir tikslinga remtis (3) lygybe. Jei vėjo greitis kinta plačiame diapazone, kaip mūsų sąlygomis, tai tikslingiau vartoti (4) lygybę. Šiuo atveju aprašant vėjo greičio profilio kitimą pagal aukštį būtina nustatyti laipsnio rodiklio reikšmę, kuri priklauso nuo teritorijos paviršiaus šiurkštumo laipsnio.

Norint tiksliai apskaičiuoti n reikšmę, naudojama formulė

$$n = B_0 + B_1 \ln V_1; \quad (5)$$

čia B_0 ir B_1 koeficientai priklauso nuo aukščio h_1 . Įrašę (4) lygybę į (5) lygybę, gausime, kad vėjo greitis pagal aukštį kinta dėsnio

$$V_2 = aV_1^\beta; \quad (6)$$

$$\text{čia } a = (h_2/h_1)^{\beta_0}, \beta = 1 + B_1 \ln(h_2/h_1). \quad (7)$$

Tarę, kad Veibulo paskirstymas [10] aprašomas dviem parametrais a ir K , gausime, jog šių parametru skirtinguose aukščiuose ryšys aprašomas lygtimis

$$a_2 = a_1^\beta, K_2 = K_1/\beta. \quad (8)$$

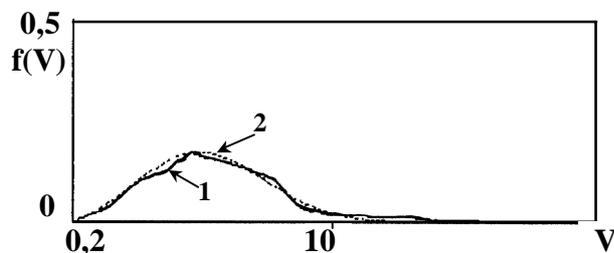
Kai $h_1 = 10$ m, koeficientų B_0 ir B_1 reikšmės, apskaičiavus mažiausių kvadratų metodu, $h_1 = 0,37$ ir $B_1 = -0,088$. Šiuo metodu tiksliai įvertinamas vėjo greičio kitimas esant $h < 100$ m (2 pav.).

Paviršių šiurkštumo įvertinimas. Ežero paviršiuje vykstančius masės ir šilumos pernešimo procesus sąlygoja vėjo sukeltas bangavimas, kuris išreiškiamas kaip vandens paviršiaus šiurkštumas, reljefo įtaka ir daugelis kitų veiksnių. Tyrimai rodo, kad priklauso mai nuo paviršiaus šiurkštumo laipsnio keičiasi vėjo greičių profilių ant aptekamų paviršių forma. Todėl būtina įvertinti vėjo greičių profilio kitimą pagal aukštį bei ežero geometriją.

Paviršių šiurkštumą, pvz., medžius, krūmus, tvoras, pastatus, o vandenyje – bangavimą, galima įvertinti pradinėse uždavinio sąlygose numčius atitinkamus greičio profilius [11]. Pagal tai pradinis greičio profilis yra skaičiuojamas panaudojus formulę:

$$V(y) = 2,5u^* [\ln(y/y_0) + 5,75 (y/H) - 1,875(y/H)^2 - 1,333(y/H)^3 + 0,25(y/H)^4]; \quad (9)$$

$$\text{čia } u^* = V_{10} / (2,5 \ln(10/y_0)); \quad (10)$$



2 pav. Vėjo greičio apibendrinimas Veibulo pasiskirstymu bei konstantų a ir K apskaičiavimas (50 m aukštyje virš žemės paviršiaus, $K = 2,63$, $a = 5,77$) per mėnesį (1999 m. rugpjūčio mėn.). 1 – eksperimentiniai duomenys, vidutinis vėjo greitis 5,13 m/s; 2 – duomenys, apibendrinti Veibulo pasiskirstymu, vidutinis vėjo greitis 5,13 m/s

čia V_{10} – vėjo 10 m aukštyje greitis, y_0 – paviršiaus šiurkštumo parametras. Šiuose skaičiavimuose jo reikšmė yra 0,1. Toks priartėjimas taikomas atviroms vietovėms su „daugeliu tvorų, keletu medžių ir pastatų“ ir gali būti tolimesnių tyrinėjimų objektas. (9) lygtyje H – pasienio sluoksnio storis, už kurio greitis $V(y)$ yra nepriklausomas nuo vietovės nelygumų. Jo reikšmė randama iš

$$H = u^*/(6f); \quad (11)$$

čia f – Koriolio parametras. Pasiekus aukštį H , greitis lieka pastovus ir apskaičiuojamas pagal formulę: $V_H = 2,5u^* [\ln(u^*/(fy_0) + 1)]$.

3. SKAITINIAI REZULTATAI IR TYRIMO ANALIZĖ

Krantų reljefo įvertinimas modeliuojant. Pasirėmus turimais žemėlapiais ir natūriniais stebėjimais, buvo sudarytas pirminis artimosios ežerą supančios sausumos teritorijos reljefo skaitinis modelis. Atsižvelgus į žemėlapių duomenis, apskaičiuoti reljefo aukščiai virš vandens lygio, nes žemėlapyje pateiktas ežero paviršiaus aukštis nuo jūros lygio ir keletas sausumos prie ežero aukščio įvertinimų. Tiesioginiai stebėjimai parodė, kad dauguma krantų yra apaugę medžiais ir krūmais, todėl žemėlapių duomenis dar reikia padidinti vietinės augmenijos aukščiais, t. y. 2–30 m. Reljefo duomenys pateikti [12] darbe.

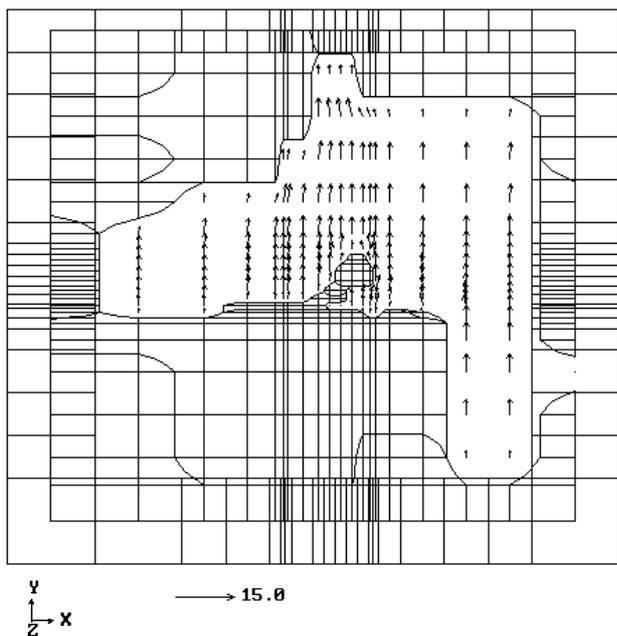
Sunkiausia įvertinti augmenijos aukštį Δz , pridėdamą prie sausumos aukščio. Darbe tai atlikta labai apytiksliai, nes Δz visoje nagrinėjamos sausumos teritorijoje dažnai labai kinta: nuo 1 iki 30 m ir daugiau.

Reljefo įtakos oro srautams virš ežero įvertinimas yra V_{rel} radimas, t. y. reliatyvus greičio nustatymas.

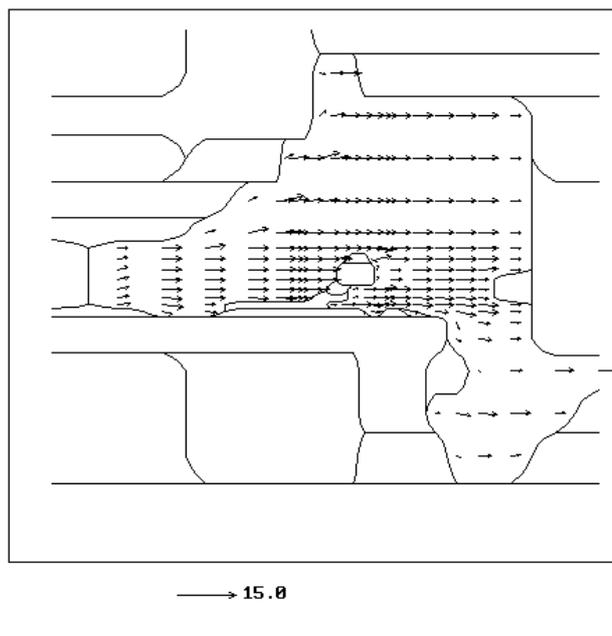
Vėjo ir reljefo sąveikos matematinis modelis. Nagrinėjama sritis aprėpia visą ežerą ir sausumą [12]. Vertikali Dekarto koordinatė z turi 16 skirtuminių mazgų oro srautams virš ežero modeliuoti: 0,5, 0,5, 1, 5, 5, 10, 10, 10, 10, 20, 40, 100, 100, 100, 200 ir 400 m. Aukščiausioje vietoje reikia net 10 z reikšmių reljefui įvertinti. Nepaisant to, kad aukščiausia vieta yra iki 70 m aukščiau ežero vandens lygio, palyginus ją su bendroju baseino ilgiu ir pločiu, tai yra visai nedidelė: jų santykis – iki 0,005.

Kiekybinis konvekcinių pernešimo parametras yra V_{rel} , t. y. reliatyvus greitis oras–vanduo skiriamos zonoje. Jis veikia ir lemia paviršinio vandens judėjimą bei izotermų pasiskirstymą, masės ir šilumos mainus tarp vandens ir atmosferos.

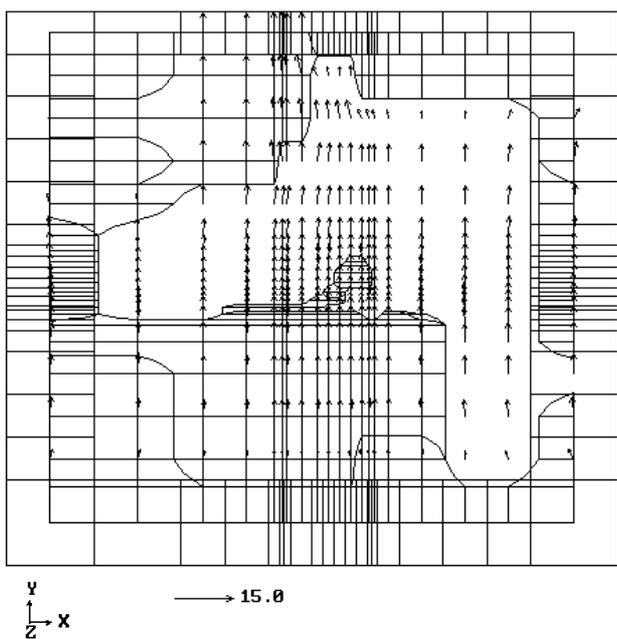
Pateiktuose vėjų modeliavimo rezultatuose (3, 4 pav.) galima pastebėti reljefo įtaką greičio vektorių laukams, ypač arti vandens. Jie parodo greičio vektorių dydžių nukrypimą nuo vidutinės reikšmės, taip pat krypties pokytį. Taigi adekvačiam matema-



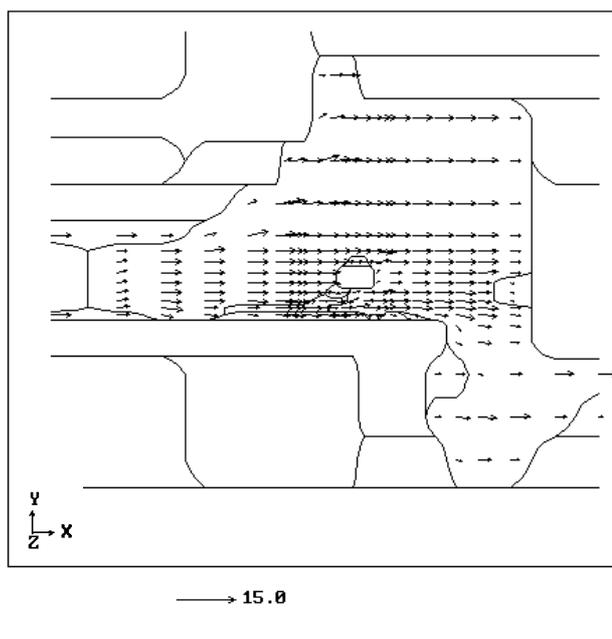
a



a



b



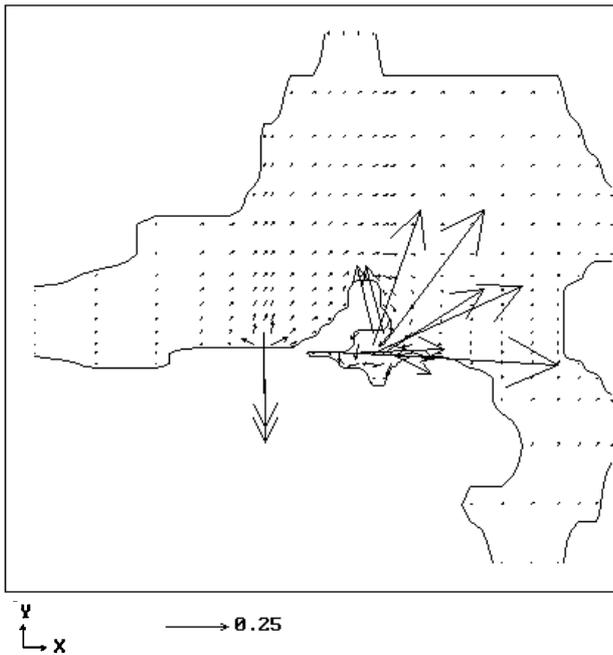
b

3 pav. Pietų 5 m/s vėjo greičio virš ežero horizontalus vektorių laukas (vektorių mastelis 15,0 m/s): a) 0,75 m, b) 5,0 m aukštyje virš vandens paviršiaus

4 pav. Vakarų 5 m/s vėjo greičio virš ežero horizontalus vektorių laukas (vektorių mastelis 15,0 m/s): a) 0,75 m, b) 10,0 m aukštyje virš vandens paviršiaus

tiniam modeliui reikia įvertinti reljefo ir vėjo sąveiką, kad būtų gautas V_{rel} . Ši greičio reikšmė susiejant ją su krantų reljefu labai apsunkina modeliavimo uždavinį, nes tada tenka spręsti kaip dvifazį pernešimo procesą: vieną pernešimo lygčių sistemą spręsti oro srautams, kitą – vandens. Lygčių sistema padvigubėja, reikia įvertinti tarpfazinius trinties ir šilumos mainų koeficientus. V_{rel} artutinis radimas nesprenžiant

pernešimo lygčių sistemos gerokai palengvina uždavinį ir daugeliu atvejų galima naudotis šia metodika derinant kitas uždavinio detales. Vienas tokių būdų yra panaudotas šiame darbe, tai $V_{rel} = \text{const}$. Jo reikšmė pagal matavimo duomenis turi būti tokia, kad vandens paviršiaus greitis sudarytų 1–3% vidutinio vėjo greičio. Galutiniame dvifaziame modelyje bus sprenžiamos pernešimo procesų lygčių sistemos:



5 pav. Drūkšių ežero vandens paviršiaus judėjimo vektorių laukas esant pietvakarių 1 m/s vėjui (elektrinės debitais 80 m³/s, vektorių mastelis 0,25 m/s)

viena – vandens masei ir kita – atmosferai virš ežero, toms sistemoms sąveikaujant per tarpfazinius trinties ir šilumos mainų koeficientus.

Kaip matyti iš 5 pav. pateiktų rezultatų, esant 1 m/s vėjui, didesni greičiai yra tik artimosiose ežero vandens maišymosi zonose (modeliuojant panaudotas vėjo greičių laukas, gautas skaitiniu būdu 0,75 m aukštyje virš ežero vandens paviršiaus ir surandant vidutinę reikšmę, t. y. V_{rel}). Modeliuojant ežero hidrodinamiką pučiant įvairių kryptių ir stiprumų vėjams kiekvienu atveju galima gauti skaitinius duomenis apie vėjo įtaką ežero vandens judėjimui.

Realią ežero hidrodinamiką bus galima pagrįsti, sudarius šilumos mainų ežere matematinį-skaitinį modelį, kurio rezultatai bus palyginti su matavimų duomenimis.

Atlikti matavimai rodo, kad mūsų šalyje mažiausi vėjo greičiai yra birželio, liepos, rugpjūčio mėnesiais. Vėjuotose Lietuvos vietovėse tuo metu vidutinis mėnesio vėjo greitis – 4,5 m/s, o Vidurio Lietuvoje – apie 2 m/s. Panašus vėjo greitis ir Ignalinos rajone, kur yra AE ežeras-aušintuvas. Matavimo duomenys rodo, kad visą laiką vėjo greitis intensyviai kinta, t. y. didelis vėjo turbulencija. Vėjo turbulencija [9] kinta nuo 20 iki 33%.

Didelių vėjų regionuose liepos mėnesį vyrauja 4–8 m/s vėjai, tuo tarpu Vidurio Lietuvoje ir Ignalinos regione tik 1,5–2 m/s. Taigi Ignalinos AE ežero-aušintuvo galimybės, palyginti su pajūrio regione esančio tokio įrenginio galimybėmis, yra daug mažesnės.

Siekiant tiksliau nustatyti vėjo greičio ir krypties kitimo dėsningumus, pagrindiniai tyrimai atlikti, kai vėjo greičiai buvo dideli. Gauti duomenys, palyginti su vėjo greičių kitimo ypatumais kitose vietose, leidžia tiksliau įvertinti kraštines sąlygas modeliuojant ežero-aušintuvo šilumos ir masės mainų procesus. Įvertinus regiono vėjo vidutinį metinį greitį ir pasinaudojus darbe atliktais matavimais, galima nesunkiai nustatyti vėjo parametrus, būtinus ežero-aušintuvo šilumos galiai nustatyti.

Tyrimai [10, 13] rodo, kad, didėjant išorinio srauto turbulencijai, keičiasi turbulencinio pasienio sluoksnio, susidarančio ant vandens paviršiaus, charakteristikos ir didėja trinties pasipriešinimas bei šilumos ir masės mainai. Nustatyta, kad didelę įtaką šilumos ir masės mainams ežero paviršiuje turi išoriniai atmosferos sluoksniai bei vandens telkinio bangavimo ir turbulencijos lygis. Siekiant tiksliai įvertinti ežero ar telkinio aušinimo galimybes, būtina nustatyti atmosferos srovių formavimąsi bei jų kitimą įvairiais metų laikais.

Eksperimentiniai duomenys [14] rodo, kad, pasikeitus vėjo greičiui ir kryptims, keičiasi tekėjimo ir temperatūrų pasiskirstymo laukai. Vėjo greičiui didėjant didėja ežero paviršiaus bangavimas, todėl padidėja vertikalūs turbulenciniai mainai. Bangavimui ir turbulenciniams mainams padidėjus, kinta greičių ir temperatūrų laukai.

Padidėjus turbulenciniam maišymuisi, kuris kiekybiškai aprašomas turbulenciniu klampiu ir temperatūros laidumo koeficientu, tekėjimo greitis ant paviršiaus, nors tangentiniai įtempimai didėja dviejų paviršių skyrimosi srityje, mažai tesikeičia. Vėjo greičio įtaka pasireiškia viršutiniuose sluoksniuose, todėl storėja viršutiniai sluoksniai ir didėja jų tekėjimo greičiai.

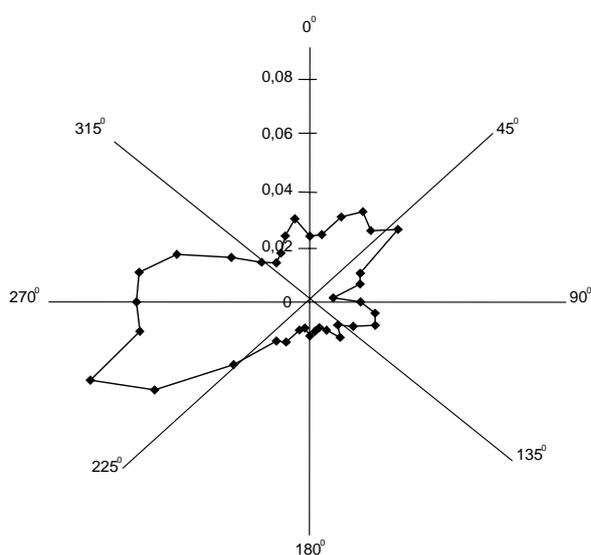
Natūriniai stebėjimai [14] rodo, kad laikui bėgant keičiasi ir vėjo greičio dispersija. Maksimali dispersija gaunasi, kai vėjo greitis normalus. Išanalizavus turbulencinių mainų schemą, esant nestoram pašildyto vandens pasienio sluoksniui, galima konstatuoti, kad vėjo greičio įtempimai negali labai pakeisti turbulencinių mainų. Praktiškai dėl vėjo per ilgą laiką atsiranda horizontalaus tekėjimo turbulencinio srauto maišymasis.

Ežero-aušintuve, nesant vandens kaitos, modeliuojant vėjo sukeltą tekėjimą, kai pasireiškia Koriolio jėgos, tekėjimo greitis vandens paviršiuje sudaro apie 3% vėjo greičio. Hidrologijoje šis dydis vadinamas vėjo koeficientu. Stebėjimai rodo, kad daugeliui ežerų-aušintuvų šis koeficientas lygus 1–3%. Taigi modeliuojant ežero-aušintuvo turbulencinius mainus būtinas išsamios žinios apie vėjo parametrų kitimą.

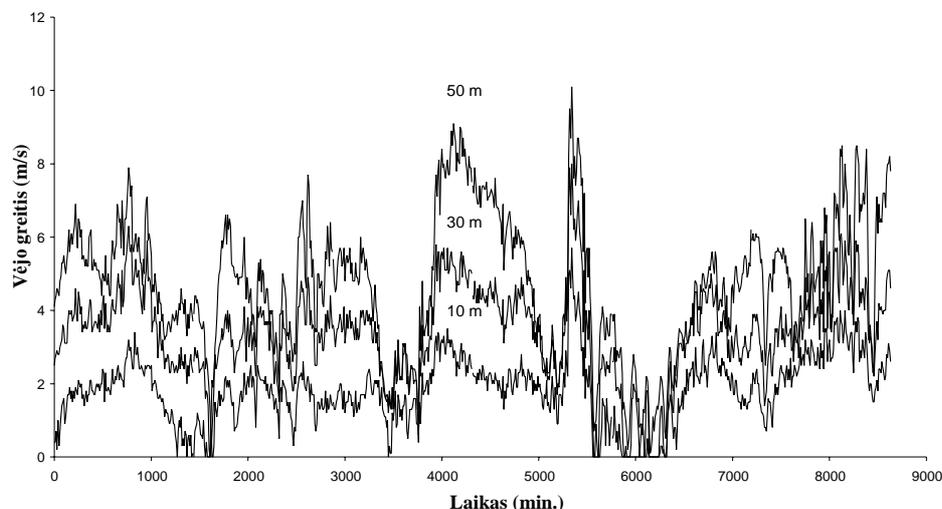
Neįvertinus energijos nuostolių [10, 12] papildomam turbulencijai sužadinti, Pr_t reikšmės turbulenciniame pasienio sluoksnyje gaunamos mažesnės.

Liudvigo–Tilmano formulė gali būti vartojama trinties pasipriešinimui apskaičiuoti tik esant $Tu < 0,08$. Kai $Tu > 0,08$, šilumos ir masės pernešimas išorinėje pasienio sluoksnio dalyje priklauso nuo srauto turbulencijos. Atlikti vėjo matavimai [7–9] rodo, kad vėjo turbulencijos yra didelis ($Tu > 0,08$), todėl skaičiuojant ežero-aušintuvo šilumos mainus, būtina iširti vėjo parametrų kitimo dėsnį.

Drūkšių ežero-aušintuvo šiluminei galiai apskaičiuoti vidutinis vėjo greitis įvertinamas, apibendrinus meteorologijos stočių 10 metų (nuo 1977 iki 1986 m.) duomenis. Ignalinos regionas yra atokiau nuo jūros, gana miškingas, todėl čia vėjo greičiai nėra dideli – mažiausi Lietuvoje. Vidutinis metinis vėjo greitis – tik 1,9 m/s (6, 7 pav.).



6 pav. Vėjo krypčių pasiskirstymas per mėnesį (Vakarų regionas, 1999 m. liepa)



7 pav. Vėjo greičio kitimo laike 10, 30 ir 50 m aukštyje virš žemės paviršiaus charakteristikos (Vakarų regionas, 1999 m. liepa)

Panašus vėjo greitis Dūkšte ir kituose arti Drūkšių ežero esančiuose regionuose. Matyti, kad vėjo įtaka ežero šilumos mainams, ypač vasarą, kai vėjo greičiai mažiausi, negali būti didelė. Didesnė vėjo įtaka turbulenciniams mainams gali pasireikšti periodiškai, tik vėjotomis dienomis.

Ežero-aušintuvo galia nuolat kinta. Blogiausias sąlygos yra vasarą, kai aukščiausia aplinkos temperatūra, maži vėjo greičiai ir didelė saulės spinduliuotė. Visais atvejais ežero temperatūra, užtikrinanti vandens telkinio ekologinę pusiausvyrą, neturi būti aukštesnė už biologinę leistiną temperatūrą (28°C).

4. IŠVADOS

1. Pasirėmus sudaryta skaičiavimo metodika, pritaikytas elipsinių pernešimo lygčių programų skaitinio sprendimo paketas gauti trimatį skaitinį Drūkšių ežero hidrodinaminių procesų modelį.

2. Trimatėms pernešimo lygtims spręsti skaitiniu būdu patikslintas PHOENICS 1.4 EP programų paketas, panaudojus Dekarto koordinatų sistemą, gauti vėjo virš ežero paviršiaus priklausomybės nuo reljefo skaitiniai rezultatai, kurių analizės dėka bus galima patikslinti reliatyvaus vėjo (V_{rel}) įtaką ežero-aušintuvo hidrodinamikai.

3. Ištyrinėti vėjo greičių profiliai, turbulencijos ir krypties kitimo dėsnį Vakarų ir Vidurio Lietuvoje; gautieji rezultatai papildoma matematinį-skaitinį ežero-aušintuvo modelį.

4. Teoriniams rezultatams patikslinti būtina nuodugniau įvertinti kraštines sąlygas, todėl reikia atlikti natūrinius matavimus kartu su skaitiniu modeliavimu.

Gauta
2001 10 03

Literatūra

1. Vaitiekūnas P., Petkevičienė J., Katinas V. Hidroterminių trimačių procesų Drūkšių ežere skaitinis modeliavimas. 1. Skaičiavimo metodika // Energetika. 2000. Nr. 4. P. 42–52.
2. Montenegro H. S., Choucinio M. A. Thermal dissipation in natural Basin. The PHOENICS Journal of Computational Fluid Dynamics & its applications. 1994. Vol. 7, No. 3. P. 14–36.

- Petkevičienė J., Vaitiekūnas P. Vėjo įtakos Drūkšių ežero šilumos mainams skaičiavimas // Šilumos energetika ir technologijos / KTU konferencijos medžiaga. 1998. Kaunas, P. 197–200.
- Vaitiekūnas P., Petkevičienė E., Katinas V. Telkinio-aušintuvo hidroterminių trimačių procesų skaitinis modeliavimas // Energetika. 1998. Nr. 2. P. 83–87.
- Vaitiekūnas P., Petkevičienė J. & Katinas V. A Numerical Simulation of Three-Dimensional Hydrothermal Processes in a Cooling Pond // The PHOENICS Journal Computational Fluid Dynamics & its applications. 1998. Vol. 11, No. 3. P. 348–354.
- Фортус М. И. Методы статистического описания ветрового режима с приложениями к ветроэнергетике. Москва, 1990. 72 с.
- Katinas V., Tumosa A. Vėjo energijos panaudojimo galimybės Lietuvoje. Vilnius, 1995. 38 p.
- Katinas V., Tumosa A. Vėjo energijos potencialo įvertinimas Lietuvoje // Energetika. 1995. Nr. 4. P. 23–26.
- Katinas V., Šuksteris V. Vėjo ir saulės energetika // Lietuvos mokslas. 1997. T. V, Kn. 12. P. 98–108.
- Монин А. С., Яглом А. М. Статистическая гидромеханика. Москва, 1965. Ч. 1. 640 с.
- Petkevičienė J., Vaitiekūnas P. Automobilių išmetamų dujų dispersijos miesto gatvėje skaitinis modeliavimas // Lietuvos mokslas ir pramonė. Šilumos energetika ir technologijos / Konferencijos pranešimų medžiaga. KTU, Kaunas, 1999. P. 159–164.
- Katinas V. Gamtinių ir atmosferinių veiksnių įtakos hidroterminiams procesams Drūkšių ežere skaitinis modeliavimas / Mokslinio darbo ataskaita. Kaunas, 1999. 116 p.
- Дрижюс М.-Р. Результаты исследования температурного перепада в приповерхностном слое // Изв. ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. 1988. Т. 210. С. 17–21.
- Drižius M.-R. Tvenkinių-aušintuvų hidroterminis režimas. Vilnius, 1985. 107 p.

Vladislovas Katinas, Jelena Petkevičienė,
Petras Vaitiekūnas

NUMERICAL SIMULATION OF HYDROTHERMAL THREE-DIMENSIONAL PROCESSES IN LAKE DRŪKŠIAI

3. WIND

S u m m a r y

Mathematical modelling of hydrodynamic processes in Lake Drūkšiai (cooler of the Ignalina NPP) developed on a three 3-dimensional numerical model with the aid of codes for numerical solution of elliptical transfer equations was carried out.

The aim of this work was analysis of the capacity of the cooling needs of the Ignalina NPP and the cooling capacity limits for avoiding the general basin water temperature rise. For this purpose, the basin water mass motion influenced by warm water masses of the power plant, causing its natural convection, by winds strength and direction and by terrain features acting as hydrodynamic factors must be known.

The effect of wind and terrain upon the lake hydrodynamics was evaluated numerically, considering the water effluent from the Ignalina NPP and sampling of cooling water. The main criteria of the process are related to the run-off, wind strength and direction, terrain features, effluent water temperature and local sampled water temperature conditioned by the aforementioned factors.

Key words: computational fluid dynamics (CFD), numerical simulation, three-dimensional processes, hydrodynamics, turbulence, lake as cooler

Владислоvas Катинас, Елена Пяткявичене,
Петрас Вайтекунас

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ ТРЕХМЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ НА ОЗЕРЕ ДРУКШЯЙ 3. ВЕТЕР

Р е з ю м е

В работе с помощью программ численного решения эллиптических уравнений переноса выполнено математическое моделирование гидротермических процессов озера-охладителя Друкшяй как объекта исследования и создана трёхмерная численная модель.

Она предназначена для анализа возможностей охладителя удовлетворять требования Игналинской атомной электростанции (ИАЭС) и определения возможных границ охлаждения во избежание общего повышения температуры водного бассейна. Для достижения этой цели необходимо изучить движение водных масс бассейна под влиянием таких гидродинамических факторов, как сбрасываемая электростанцией теплая вода, вызывающая натуральную конвекцию, сила и направление ветра, рельеф и др.

Численно определено влияние количества воды, сбрасываемой ИАЭС, на гидродинамику озера. Критериями этого процесса являются водный дебит, скорость и направление ветра, рельеф и температура воды, сбрасываемой ИАЭС, а также местная температура охлаждающей воды в месте забора, которая зависит от водоема-охладителя.

Ключевые слова: численное моделирование, трехмерные процессы, водоем-охладитель, гидродинамика, турбулентность