
Hidroterminių trimačių procesų Drūkšių ežere skaitinis modeliavimas

2. Hidrodinaminiai rezultatai

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

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

Antrame šios serijos straipsnyje, pasitelkus elipsinių pernešimo lygčių skaitinio sprendimo programas, atliktas Drūkšių ežero-aušintuvo hidrodinaminių procesų matematinis modeliavimas, sudarytas trimatis skaitinis modelis, skirtas aušintuvo vandens masių judėjimui kaip sudėtinei pernešimo procesų daliai analizuoti. Šiam uždaviniui spręsti būtina žinoti baseino temperatūrinį lauką, vandens tankio lauką, sąlygojantį natūralią konvekciją, įvertinti iš elektrinės išleidžiamo į ežerą šilto vandens įtaką, vėjų poveikį ežero paviršiaus dinamikai ir kitus veiksnius.

Ištyrinėti ežero greičių ir temperatūrų laukai, sąveikaujantys su tekančiu iš elektrinės šiltu vandeniu, įvertinant natūralią konvekciją dėl kintamo vandens tankio. Šio proceso kriterijai yra šilumos kiekis išleidžiamame iš Ignalinos AE (IAE) vandenyje ir jo temperatūra bei vietinė aušinimo vandens temperatūra paėmimo vietoje, kurią sąlygoja vandens telkinys.

Modeliavimas atliktas, kai debitas 75–80 m³/s, ir, įvertinus tai, gauta, kad Drūkšių ežeras turi artimosios zonos (šilto vandens išleidimo) dvisluksnę maišymosi struktūrą.

Raktažodžiai: skysčių dinamikos skaičiavimas, skaitinis modeliavimas, trimačiai procesai, vandens telkinys-aušintuvas, hidroterminiai procesai

1. ĮVADAS

Vandens telkinių-aušintuvų hidroterminių procesų, aktualių gamtosauginiu požiūriu, skaitinio modeliavimo uždaviniams spręsti pastaraisiais metais atliekama vis daugiau darbų, kurių keletas trumpai apžvelgti [1] darbe.

Vėlesniuose modeliavimo uždaviniuose stengiamasi įvertinti kuo daugiau veiksnių, turinčių įtakos baseinų-aušintuvų hidrotermikai. Tai – vandens telkinio geometrija, vandens dinaminės ir šiluminės savybės, kraštinės sąlygos, vertinančios mainus vandens ir oro paviršių riboje: natūralią bei priverstinę konvekciją, garavimo bei kondensacijos šilumą, saulės ir atmosferos spinduliuotę įvairiais metų laikotarpiais skaidant mėnesiais, paromis ir net valandomis [1, 2].

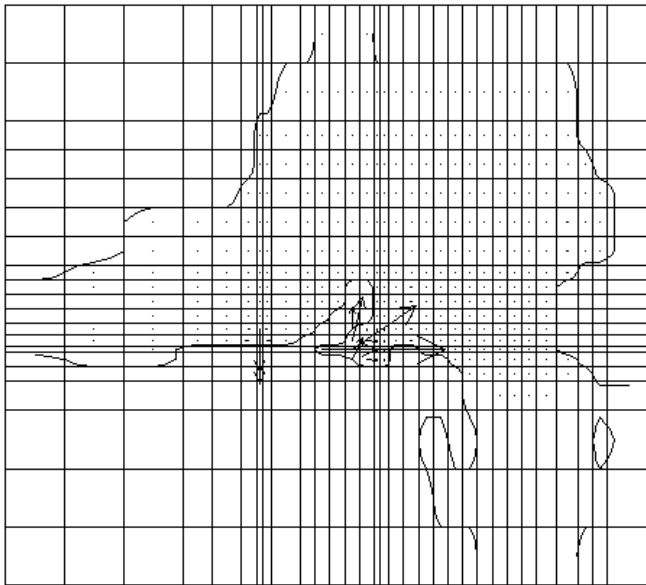
Greta informacijos apie oro ar vandens fizikines savybes, gamtiniams tekėjimams būdinga daugelis specifinių veiksnių: ypatingos ribinės sąlygos oro ir vandens skiriamosiose ribose, pasireiškiančios vandens paviršiaus trintimi, turbulentinės kinetinės energijos srautas į vandens masę ir t. t.

Darbo tikslas – ežero vandens hidrodinamikos, atsižvelgus į vandens debitą, įtekantį į baseiną iš IAE, jo temperatūrą ir paėmimo atgal į elektrinę sąlygas, vėjo stiprumo ir krypties įtaką, skaitinis modeliavimas panaudojant PHOENICS programą [2].

Šį darbą finansavo Lietuvos valstybinis mokslo ir studijų fondas (LVMSF).

2. PAGRINDINĖS LYGTYS

Aušinamojo baseino, kaip adekvataus šilumos iš atominės elektrinės priėmėjo, matematinis modelis susideda iš geografinių, atmosferos ir vandens šilumos charakteristikų. Kintant atmosferos ir sausumos sąlygoms, keičiasi ir baseino-aušintuvo hidroterminės charakteristikos. Atskirai paimti pavieniai atmosferos ar sausumos veiksniai negali apibrėžti aušintuvo šilumos mainų ypatumų, nes visi veiksniai yra susieti tarpusavyje ir juos reikia nagrinėti kartu, įvertinti jų visumą. Galutinis tikslas yra įvertinti šių veiksnių įtaką baseino šilumos balanse. Ežero vandens hidrodinamikos analizė yra pradinis etapas nustatant ba-



3D sritis $x.y.z=31.20.9$, DE Hidrodinamik

1 pav. Skirtuminis tinklelis ($x.y.z = 31.20.9$) ir Drūkšių ežero kontūras su vandens paviršiaus greičio vektoriais prie išleidimo ir paėmimo kanalų; vandens greičių mastelis 0,25 m/s

seino aušinimo pajėgumą ir bendrą vandens temperatūros padidėjimą.

Uždavinio geometrijos aprašymas. Pernešimo lygčių sistemai diskretizuoti būtina tinklinė sritis buvo sudaroma įvairiais būdais [1, 2].

Naudojant Dekarto koordinatas skirtuminis tinklelis bendru atveju nusakomas $x.y.z = 25 \cdot 20 \cdot 16$ (1 pav.). Be to, buvo naudoti šie tinkleliai $x.y.z = 25 \cdot 20 \cdot 9$, $x.y.z = 20 \cdot 20 \cdot 16$. Skirtuminiai tinkleliai yra kintamo žingsnio koordinatinių ašių atžvilgiu.

Pagrindinės lygtys uždavinio hidrotterminiams procesams skaičiuoti. Matematinės pernešimo procesų lygtys, aprašančios dinaminis ir šilumos srautų procesus, bendriausios formos yra šios (Navje–Stokso ir energijos) lygtys [1–3]:

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

čia ϕ – apibendrintas kintamasis, kuris lygčių sistemoje įgyja reikšmes: 1 – nepertraukiamumo lygtyje, U, V, W – greičio vektoriaus dedamosios koordinatinių ašių kryptimis Navje–Stokso lygtyse, H – entalpija, energijos lygtyje. Šios lygtys papildytos išraiškomis, apibūdinančiomis vandens termodinamines ir fizikines savybes, t. y. tankį kaip temperatūros funkciją, pernešimo savybes kaip klampį, šilumos laidumą ir kt.

Pradinės ir kraštinės sąlygos. Pateiktai lygčių sistemai reikia pradinių duomenų: cirkuliacinio aušinimo vandens debitas G (m^3/s) (tas pat ir paėmimui), iš kurio apskaičiuojamas įtekančio (ištekančio)



vandens greitis, AE cirkuliacinio aušinimo vandens pradinė temperatūra T_p °C, vidutinė oro temperatūra T_o °C, vidutinis vėjo greitis ir kryptis.

Nagrinėjant šilumos mainus kaip adiabatinius procesus, tada tarp dugno ir krantų vandens vien vandens paviršiuje vyks terminė disipacija į atmosferą. Judėjimo lygtims kraštinės sąlygos – nulinės greičio komponentių reikšmės.

Šiluminės ir dinaminės vandens savybės. Vandens fizikinės savybės – tankis, savitoji šiluma, šilumos laidumas ir klampis yra temperatūros funkcijos. Dėl skirtingų tankių atsiranda gravitacijos jėgos ir formuojasi natūrali konvekcija, kuri sukelia srauto judėjimą. Tankio priklausomybei nuo temperatūros aprašyti pasinaudosime eksperimentine [2] priklausomybe.

$$\begin{aligned} \rho/\text{Kmg}^{-3} = & (999,83952 + 16,945176t - \\ & - 7,9870401 \times 10^{-3}t^2 - 46,170461 \times \\ & \times 10^{-6}t^3 + 105,56302 \times 10^{-9}t^4 - \\ & - 280,54253 \times 10^{-12}t^5) (91 + 16,879850 \times \\ & \times 10^{-3}t). \end{aligned} \quad (2)$$

Likusios fizikinės savybės (klampis, šilumos laidumas, savitoji šiluma) šiame skaičiavimo etape yra pastovios, nes pasireiškia mažesnė jų priklausomybė nuo temperatūros ir kartu nedidelė jų gradientų įtaka vandens srauto dinamikai.

Momento pokytis oro ir vandens paviršių riboje. Paviršiniai srauto momentai egzistuoja kaip oro srautų poveikio vandens paviršiu pasekmė. Šis momento šaltinis išreikštas tiesine forma bei apibūdina jį savo intensyvumu ir kryptimi. Oro srautų efektas vandens paviršiu kinetiniu požiūriu įvertintas kaip paviršiaus kontakto srauto momentas, proporcingas vėjo stiprumui. Skaičiavimo programoje šis efektas įvertintas kaip dviejų srautų, kurių sudėtinis veiksmas atspindi vėjo poveikį vandens paviršiu, momentas. Kiekvienas šių srautų išreiškia įtaką, nusakomą pasaulio šalių kryptimis: vienas srautas išreiškia šiaurės-pietų kryptį, o kitas – rytų–vakarų [1];

$$\begin{aligned} S_u &= C(V - u), \\ S_v &= C(V - v); \end{aligned} \quad (3)$$

čia u – momentas vakarų-rytų kryptimi; v – momentas pietų-šiaurės kryptimi; C ir V – vidutinio vėjo, veikiančio vandens paviršių, vektoriai.

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

Paviršių šiurkštumo įvertinimas. Modeliuojant pernešimo procesą kaip dvifazį, paviršių šiurkštumą – medžius, krūmus, tvorą, pastatus, o vandenyje – bangavimą galima įvertinti pradinėse uždavinio sąlygose numačius atitinkamus greičio profilius [2]. Pradinis greičio profilis skaičiuojamas pagal tokią formulę:

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

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

čia U_{10} – vėjo 10 m aukštyje greitis, y_0 – paviršiaus šiurkštumo parametras. [3] darbe ir šiuose skaičiavimuose jo reikšmė yra 0,1. Toks priartėjimas taikomas atviroms vietovėms su „daugeliu kliūčių, keletu medžių ar pastatų“ ir gali būti tolimesnių tyrinėjimų objektas. (4) lygtyje H – pasienio sluoksnio storis, už kurio ribų greitis $U(y)$ nepriklauso nuo vietovės nelygumų. Jo reikšmė randama iš

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

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

Darbe ištyrinėti ežero hidrodinaminiai procesai taikant supaprastintą skaičiavimo metodiką [1] skaitiniu metodu sprendžiant pernešimo lygčių sistemą tik vandens masėje. Minėtas šiurkštumo vertinimas visiškai pritaikomas atliekant dvifazį skaitinį modeliavimą.

3. SKAITINIAI REZULTATAI IR ANALIZĖ

Kiekybinis parametras, nusakantis tvenkinio-aušintuvo gylį, yra „tvenkinio-aušintuvo“ skaičius P [2]. Kai $P \leq 0,3$, tvenkinys-aušintuvas yra negilus, kai $0,3 < P < 1$ – iš dalies susimaišęs, o kai $P > 1$ – visiškai susimaišęs. Drūkšių ežerą priskiriame antrai grupei.

Pagal hidroterminių procesų pobūdį visą tvenkinio-aušintuvo plotą galima padalyti į 2 zonas, kuriose mainų procesai iš esmės skiriasi. Toji aušintuvo zona, kurioje pašildytas vanduo išilieja į aušintuvą, vadinama artimąja (angl. *near field*) [2]. Jeigu tvenkinys-aušintuvas yra visiškai apkrautas (visame plote temperatūra yra aukštesnė už natūralią), artimoji zona sudaro apie 10% tvenkinio ploto. Artimosios zonos ribą lemia laipsniškas srovės kinetinės energijos mažėjimas, įtraukiant stovintį skystį, iki to-

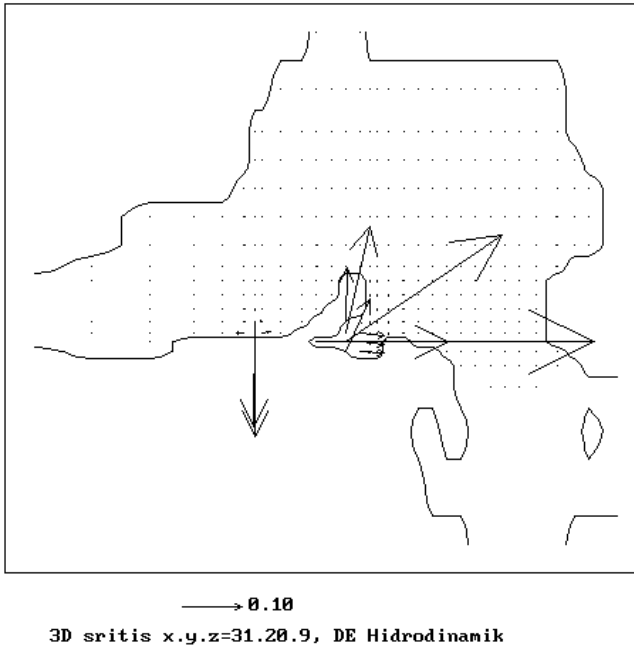
lio lygio, kad tolesnis įtraukimas tampa nebegalimu. Taigi artimosios zonos pabaigoje tolesniame hidroterminiame procese dalyvauja jau didesnis vandens debitas, palyginti su išleistu iš AE cirkuliaciniu debitu, t. y. DG [2]. Koeficientą D įprasta vadinti atskiedimo koeficientu. Kai artimoji zona sekli, tai tinka ir Drūkšių ežerui, minimali jo reikšmė $D = 2,6$. Cirkuliacinis elektrinės vandens debitas, artimojoje zonoje padidėjęs atskiedimo koeficientu D , tolimesnėje tvenkinio dalyje (angl. *far field*) yra performuojamas į sudėtingą srautą, kurio susidarymui turi įtakos tvenkinio gylis, vandens paėmimo kanalo padėtis, horizontalus vandens tankio gradientas ir vėjo įtempimai. Srauto struktūra labiausiai priklauso nuo tvenkinio gylis. Jei gylis pakankamas, tvenkinyje-aušintuve formuojasi dvisluoksnė struktūra, kai pašildytas vanduo teka viršutiniu sluoksniu tvenkinio periferijos link, o atskiedimui reikalingas kompensacinis srautas juda priešpriešine kryptimi gilesniais sluoksniais. Abu srautus skiria maišymosi sluoksnis.

Pagal numatytas įtekėjimo-ištekėjimo sąlygas visame ežero tūryje sprendžiama trimačių pernešimo lygčių sistema. Metodikos skyriuje aprašytu būdu pagal vietinę vandens temperatūrą apskaičiuojamas jo vietinis tankis ir modelyje įvertinamos gravitacinės jėgos, sužadinančios natūralią konvekciją, pasiskirstančios atitinkamuose vandens lygiuose. Čia judesio kiekio pernešimas susietas su šilumos pernešimu, tada sprendžiamų lygčių sistema yra jungtinė. Vandens masių judėjimo greičiai yra didesni įtekėjimo į ežerą ir ištekėjimo iš jo zonose, tačiau parenkant atitinkamus greičio vektorių mastelius galima gauti gerai matomą vandens judėjimo vaizdą.

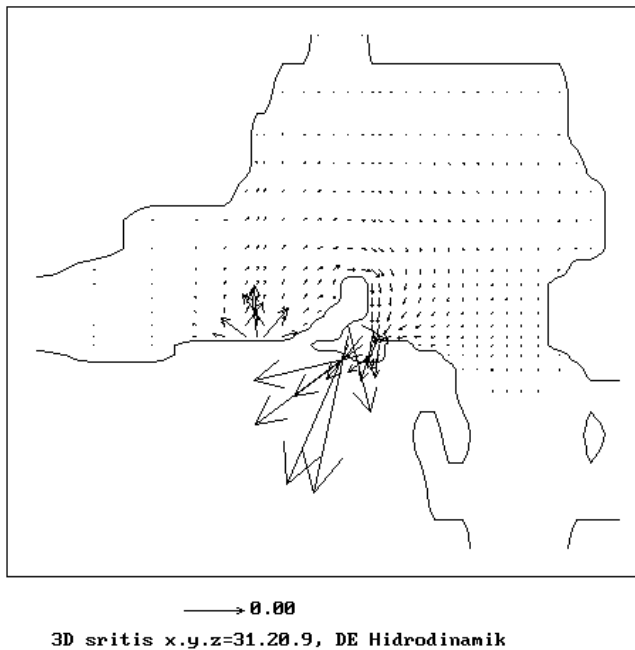
Darbe pateikti du skaitinių rezultatų atvejai: ežero paviršiaus ir gilesnių vandens sluoksnių hidrodinamika nesant vėjo (2 pav.) ir pučiant vėjui (3 pav.).

Artimosios zonos mainai. Artimoji zona užima apie 10% bendro ežero ploto. Ji apibūdinama išskiriamos šilumos kiekiu, formuojasi dėl vandens cirkuliacijos ir vėjo įtempimų. Elektrinėje pašildytas vanduo į ežero akvatoriją patenka praktiškai neatskiestas (atskiedimo koeficientas $D = 1,1-1,15$), nedaug ataušęs; vanduo toliau į ežero akvatoriją sklinda 2,5 m storio sluoksniu. Pašildytas vanduo atskiedžiamas vertikalčiai įtraukiant šaltesnio vandens iš gilesnių sluoksnių. Pagal [4] integralinis atskiedimo koeficientas $D \approx 2,6$, o tai reiškia, kad visoje artimojoje zonoje išleidžiamo pašildyto vandens kiekis papildys 1,6G. Artimosios zonos pabaigoje visa pašildyto vandens kinetinė energija sunaudojama šaltesniam vandeniui įtraukti ir toliau judant vandens masėms vandens kiekis (nuotėkis) viršutiniame sluoksnyje nesikeičia.

Gautiems teoriniams duomenims pagrįsti buvo atlikta matuotų vandens srautų tekėjimo profilių [5] analizė. Srovės greičiai, esant sąlygoms, artimoms



2a pav. Drūkšių ežero paviršinio vandens hidrodinamika (prie paėmimo ir išleidimo kanalų), kai nėra vėjo; vandens greičių mastelis 0,1 m/s



2b pav. Drūkšių ežero vandens hidrodinamika 3 m gilyje (kompensaciniai srautai), kai nėra vėjo; vandens greičių mastelis 0,005 m/s

štiliui, patvirtino masės mainų kokybinį vaizdą. Srovės greitis paviršiniame sluoksnyje nuo 20 cm/s ties atviros akvatorijos riba sumažėja iki 5 cm/s pabaigoje artimosios zonos, nutolusios apie 3 km nuo vandens išleidimo kanalo. Artimosios zonos pabaigoje nusistovi apie 1 m storio paviršinio vandens sluoksnis. AE darbo sąlygos atitinka I bloko šilumos išskyrimą.

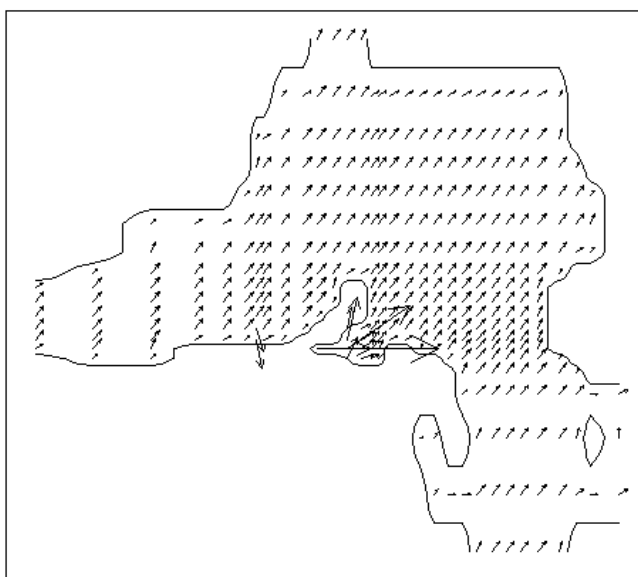


Matuotose vertikalėse ryškiai pastebimas kompensacinis tekėjimas vandens išleidimo kryptimi 2–6 m gilyje. Srovės greičiai apatiniame sluoksnyje nedideli, 1–2 cm/s (2 pav.). Pašildyto vandens srautas plonu paviršiniu sluoksniu už artimosios zonos ribų plačiai plečiasi per visą ežero plotį. Dalis debito nukreipiama į pietinę ežero dalį. Pagal šį planą gaunama, kad I bloko išskiriamai šilumai aušinti panaudojama tik ežero ploto dalis (apie 60%). Plotas, išsidėstęs vandens paėmimo dalyje, pagal terminį būvį artimas natūraliam, nes čia praktiškai nėra horizontalių temperatūros gradientų. Matuoti greičio profiliai rodo, kad visame gilyje greičiai maži (1–2 cm/s). Vadinasi, kompensacinio srauto vandens paėmimo dalyje nėra. Visas debitas, reikalingas atskiedimui, formuojasi artimojoje zonoje, kuri yra pietinėje ežero dalyje.



Vandens mainai labai priklauso nuo vėjo įtempimų. Dirbant I blokui Drūkšių ežeras termiškai neapkrautas, pašildyto vandens srautas keičia savo išsidėstymą priklausomai nuo vėjo krypties. Esant šiaurės-rytų krypčių vėjams, nukreiptiems vandens išleidimo link, artimosios zonos plotas ir paviršinio sluoksnio greičiai sumažėja, o pašildyto vandens sluoksnis pastorėja. Būdingas vaizdas stebėtas [5] I bloko šilto vandens išskyrimo vasaros sąlygomis. Šiuo atveju šiaurės vėjas (4–5 m/s) trukdo pašildytam vandeniui judėti vandens paėmimo kryptimi. Tokiais atvejais vėjų įtempimai ir tankio jėgos yra priešingų krypčių, o tai skatina ryškaus temperatūrinio fronto formavimąsi. Šį frontą sąlygoja paviršinio sluoksnio greičio sumažėjimas ir ataušimo laiko pailgėjimas, kita vertus, aplinkinių vandens masių įtraukimo į pašildyto vandens srautą padidėjimas. Artimojoje zonoje išdėstytose vertikalėse galima pastebėti kompensacinio tekėjimo greičio padidėjimą iki 5 cm/s. Šie srautai ryškiausi už temperatūrinio fronto ribų.

Išmatuoti greičio profiliai veikiant vienai bloko turbina ir išskiriant vandenį, o tai atitinka 50% viso



→ 0.25
3D sritis x.y.z=31.20.9, DE Hidrodinamik

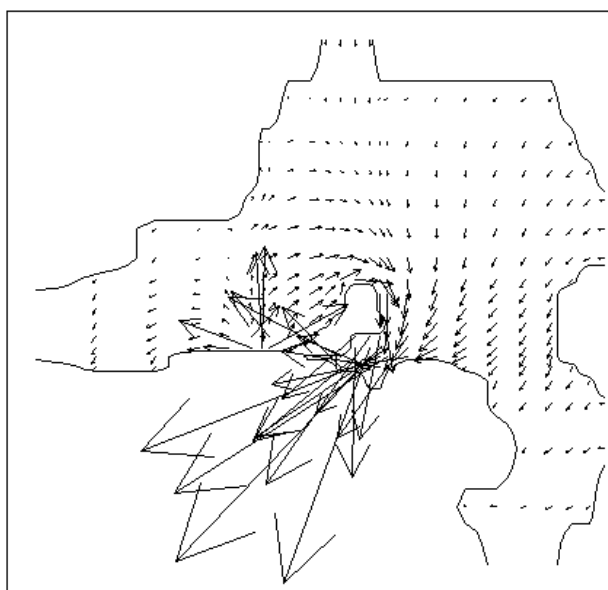
3a pav. Drūkšių ežero paviršinio vandens judėjimo vektorių laukas pučiant pietvakarių 5 m/s vėjui (vidutinis greitis 10 m aukštyje); elektrinės debitas 80 m³/s; vandens greičių mastelis 0,25 m/s



sluoksnius: tarp paviršinio pašildyto vandens sluoksnio ir prie dugno kompensacinio tekėjimo formuojasi tarpinis sluoksnis 2–3 m gilyje, nukreiptas vandens paėmimo zonos link. Plotas, naudojamas ataušimui, padidėja – juo tampa praktiškai visas paviršiaus plotas. Šis atvejis bus tolimesnių teorinių tyrimų objektas, baigus tobulinti skaičiavimo metodiką.

Mainai tolimojoje zonoje. Vandens mainus tolimojoje zonoje daugiausia sąlygoja natūralūs veiksniai, ypač dirbant I energetiniam blokui. Čia tolimą zona laikoma plati sritis priešais paėmimo kanalą. Dirbant vienai turbinai (50% energetinio bloko galingumo), esant neutraliai stratifikacijai net kai vėjas nedidelis, nepasiseka pastebėti tranzitinio srauto. Tik veikiant 3 turbinoms šilumos išskyrimo ir šilto atveju pastebimas paviršiaus gradientas, rodantis pašildyto vandens paviršinį sluoksnį, kurio tėkmės greičius galima užfiksuoti matuokliu – 2–3 cm/s [4]. Esant bet kurios krypties vėjui ir tam pačiam 3 turbinų išskiriamos šilumos kiekiui, srovės greičiai yra vėjų sužadintos krypties.

Pagal [6], šias sroves galima išivaizduoti taip. Esant vidutiniam 4–5 m/s vėjui, vėjo sužadinta vandens srovė visu epilimniono storiu nukreipta pavėjui, o žemiau šilumos pleišto susidaro kompensacinis priešingos krypties srautas (3 pav.). Stiprėjant vėjui, vėjo krypties skerspjuviu epilimnionas išryškėja, o kompensacinis srautas susidaro šilumos pleište. Tokiu būdu formuojasi dvi srovės su priešingu grįžimu epilimnione ir hipolimnione. Srovės susidarymas šilumos pleište sužadina šlyties nestabilumą ir turbulentių mainų intensyvėjimą [5–7].



→ 0.01

3b pav. Drūkšių ežero vandens judėjimo horizontalus vektorių laukas 3 m gilyje (kompensaciniai srautai) pučiant pietvakarių 5 m/s vėjui; elektrinės debitas 80 m³/s; vandens greičių mastelis 0,01 m/s



debito. Pašildyto vandens zona sumažėja, pasiekdama apie 10% viso ploto. Už šilumos išskyrimo ribų formuojasi profiliai, veikiami natūralių veiksnių.

Didėjant šilumos išskyrimui mainų vaizdas artimojoje zonoje keičiasi. Stebėjimai rodo, kad 3 turbinoms išskiriant šilumą ($N = 1800$ MW) šilto sąlygomis greičiai paviršiuje pasiekia 10 cm/s, paviršinio sluoksnio storis $h > 1$ m. Pagal gylį galima išskirti tris

4. IŠVADOS

1. Remiantis sudaryta skaičiavimo metodika, pritaikytas turimas elipsinių pernešimo lygčių programų skaitinio sprendimo paketas gauti trimatį pernešimo procesų Drūkšių ežere vienfazį matematinį-skaitinį modelį.

2. Panaudojus Dekarto koordinates, apskaičiuoti hidrodinaminiai procesai, vykstantys Drūkšių ežero paviršiuje ir gilesniuose sluoksniuose štilio sąlygomis ir pučiant vėjui. Daugeliu atvejų teoriškai gauta, kad ežero artimoji maišymosi struktūra (prie paėmimo ir išleidimo kanalų) yra dvisluoksnė.

3. Teoriniams rezultatams patikslinti būtina nuodugniau įvertinti ribines sąlygas, todėl reikia atlikti natūrinius matavimus derinant juos su skaitiniu modeliavimu.

Gauta
2001 02 02

Literatūra

1. Vaitiekūnas P., Petkevičienė J., Katinas V. Hidroterminių trimačių procesų Drūkšių ežere skaitinis modeliavimas. 1. Skaiciavimo metodika // Energetika. 2000. Nr. 4. P. 42–52.
2. Vaitiekūnas P. Hidroterminių trimačių pernešimų Drūkšiuose modeliavimas / Mokslinio darbo ataskaita. LVMSF–LEI. Kaunas, 2000. 96 p.
3. 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.
4. Дрижюс М.-Р. М., Перлиба Б. К. Гидродинамические и гидрохимические характеристики озера Друкшяй как водохранилища охладителя электростанции (1. Полуэмпирическая модель гидротермики озера Друкшяй.) // Тр. АН ЛитССР. Сер. Б. 1987. Т. 6(163). С. 60–68.
5. Шланчяускас А. А., Гайлюшис Б. В., Ласинскас М. И., Дрижюс М.-Р. М. и др. Исследование влияния работы первой очереди ИАЭС на гидрологические и гидротермические характеристики оз. Друкшяй. Каунас, 1988. 68 с.
6. Дрижюс М.-Р. М. Гидротермический режим водохранилищ-охладителей. Теплофизика-17. Вильнюс, 1985. 168 с.
7. Fisher H. B., List E. J., Koh R. C. V., Imberger J., Brooks N. H. Mixing in inland and coastal waters. New York, London, Sydney, San Francisco, 1979. 483 p.

Petras Vaitiekūnas, Jelena Petkevičienė,
Vladislovas Katinas

NUMERICAL SIMULATION OF THREE-DIMENSIONAL HYDROTHERMAL PROCESSES IN LAKE DRŪKŠIAI 2. HYDRODYNAMIC RESULTS

S u m m a r y

Numerical simulation of hydrodynamic processes of Lake Drūkšiai investigated as a cooler of the Ignalina NPP was

carried out during this work, developing a mathematical model and employing codes of numerical solution of transfer equations.

This work deals with analysis of the ability of the cooler to satisfy needs of the INPP and of its capacity limits in order to avoid general increase of water temperature of the whole basin. For this purpose, motion of water masses in the basin under the influence of warm water released by the power plant and causing natural convection, motion of air flows as well as a series of other factors must be known.

The volumes of warm water and heat effluent from the power plant and its influence upon the hydrodynamics of the lake must be considered. The main criteria of this process are related to runoff magnitudes of water and heat released by the INPP and a local water temperature in the site of sampling, which is conditioned by the basin-cooler.

It was established by the numerical modeling that the Drūkšiai lake has close two-layered mixing structure.

Key words: Computational Fluid Dynamics (CFD), numerical simulation, three-dimensional processes, hydrodynamic, lake as cooler

Пятрас Вайтекунас, Елена Пяткявичене,
Владисловас Катинас

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ ТРЕХМЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ НА ОЗЕРЕ ДРУКШЯЙ 2. ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Р е з ю м е

С помощью программ численного решения эллиптических уравнений переноса выполнено математическое моделирование гидродинамических процессов озера-охладителя Друкшяй как объекта исследования и создана трехмерная численная модель. Она предназначена для анализа возможности охладителя удовлетворять требования Игналинской АЭС и определения возможных пределов охлаждения, во избежание общего повышения температуры водного бассейна. Для достижения этой цели надо знать движение водных масс бассейна под влиянием таких факторов, как сбрасываемая электростанцией теплая вода, вызывающая натуральную конвекцию, влияние воздушных потоков и др.

Необходимо определить влияние количества тепла и массы воды, сбрасываемых электростанцией, на гидродинамику озера. Критериями этого процесса являются водный дебит, температура воды, сбрасываемой Игналинской АЭС, а также местная температура охлаждающей воды в месте задора, которая зависит от водоема-охладителя.

В результате моделирования установлено, что ближняя зона озера Друкшяй имеет двухслойную структуру, близкую к перемешиванию.

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