
Drūkšių ežero vandens tėkmių struktūros modeliavimas taikant MIKE 21 hidrodinaminį modulį

**Diana Šarauskienė,
Erika Rimavičiūtė**

*Lietuvos energetikos institutas,
Hidrologijos laboratorija,
Breslaujos g. 3,
LT-3035 Kaunas*

Straipsnyje analizuojama Ignalinos AE įtaka Drūkšių ežero tėkmių struktūrai. Modeliavimui naudotas dvimatės hidrodinaminį reiškinį modeliavimo sistemos MIKE 21 hidrodinaminis modulis. Pirmiausia modeliuota natūrali Drūkšių ežero-aušintuvo tėkmių struktūra ir nagrinėti ją sąlygojantys gamtiniai veiksniai, vėliau – ežero-aušintuvo tėkmių režimas veikiant IAE. Rezultatai parodė, kad į ežerą išleidžiamas AE aušinimo vanduo bendrai tėkmių struktūrai ir vidutiniams tėkmių greičiams didelės įtakos neturi. Pateikta skirtingo stiprumo ir kryptių vėjų įtaka ežero-aušintuvo hidrodinaminiam režimui. Išskirtos AE poveikio ežero zonos.

Raktažodžiai: ežeras-aušintuvas, tėkmių struktūra, hidrodinaminis modeliavimas

1. ĮVADAS

Didžiausias Lietuvos ežeras Drūkšiai nuo 1984 metų naudojamas Ignalinos atominės elektrinės (IAE) energetiniams blokams aušinti. Aušinimo vanduo, kurio debitas yra 80–160 m³/s priklausomai nuo elektrinės apkrovimo, atgal į ežerą sugrįžta pašildytas 8–10°C. Tai stipriai veikia ežero hidroterminį režimą [1]. Atliktos Drūkšių ežero aušinimo srauto sklidimo ir cirkuliacijos studijos [2–5] neatsako į klausimą, kokią įtaką pašildyto vandens srauto sklidimui turi ežero batimetrija ir kokia ežero vandens tėkmių struktūra formuojasi dėl šio srauto įtakos.

Darbo tikslas buvo išanalizuoti Ignalinos AE įtaką Drūkšių ežero tėkmių struktūrai. Siekiant šio tikslo, pirmiausia modeliuota natūrali Drūkšių ežero tėkmių struktūra ir nagrinėti ją sąlygojantys gamtiniai veiksniai. Vėliau modeliuotas Drūkšių ežero-aušintuvo tėkmių režimas veikiant IAE ir lyginti modeliavimo rezultatai.

2. MODELIO APRAŠYMAS

Ežero vandens tėkmių struktūros modeliavimui pasitelktas Danijos hidraulikos institute sukurtos dvimatės hidrodinaminį reiškinį modeliavimo sistemos MIKE 21 hidrodinaminis modulis HD [6]. Tai dvimatis netolygiai kintančios tėkmės modulis, kuriuo modeliuojami vandens lygio svyravimai, debito pokyčiai ir tėkmės greičių pasiskirstymas pri-

klausomai nuo daugelio juos sąlygojančių veiksnių ežeruose, estuarijose ir priekrančių zonose. HD modulis sudarytas, remiantis antro laipsnio tikslumo baigtinių skirtumų elementų metodu. Vandens lygiai ir srovės apskaičiuojamos kiekvienam tinklelio kvadratiniam elementui, įvertinant vandens telkinio batimetriją, dugno šiurkštumą, vėjų kryptis ir greičius, kraštines sąlygas.

HD modulio pagrindas – netiesinių lygčių sistemos sprendimas. Masės vientisumo ir momento konservatyvumo lygtys, suintegruotos pagal vertikale, aprašo tėkmės bei vandens lygio kitimą x ir y kryptimis:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = 0,$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} +$$

$$+ \frac{gp\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right] -$$

$$-\Omega_q - fVV_x + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} (\rho_a) = 0,$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} +$$

$$+ \frac{gp\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial y} (h_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] -$$

$$- \Omega_q - fVV_y + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial y} (\rho_a) = 0;$$

čia $h(x, y, t)$ – vandens gylis (m),

$\xi(x, y, t)$ – vandens paviršiaus nuolydis (m),

$p, q(x, y, t)$ – vienetinis debitas x ir y kryptimis ($m^3/s/m$);

$C(x, y)$ – Šezi koeficientas ($m^{0.5}/s$),

g – gravitacinė konstanta (m^2/s),

$f(V)$ – vėjo sukeltos trinties konstanta,

$V, V_x, V_y(x, y, t)$ – vėjo greitis ir jo komponentės x ir y kryptimis (m/s),

$\Omega(x, y)$ – Koriolio parametras, priklausantis nuo geografinės platumos (s^{-1}),

$P_a(x, y, t)$ – atmosferos slėgis (kg/m^2),

ρ_w – vandens tankis (kg/m^3),

x, y – erdvės koordinatės (m),

t – laikas (s),

$\tau_{xx}, \tau_{yy}, \tau_{xy}$ – paviršiaus pasipriešinimo komponentės.

Pagrindiniai pradiniai duomenys, reikalingi modeliuojant MIKE 21 HD moduliui, yra šie:

1. Pagrindiniai modeliavimo parametrai: laiko žingsnis ir modeliavimo trukmė, modeliuojamų pradinių parametrų apibrėžimas, vandens telkinio orientacija ir geografinė platumą.

2. Batimetrija.

3. Pradinės modeliavimo sąlygos: vandens paviršiaus nuolydis, vienetinis debitas x ir y kryptimis.

4. Kraštinės sąlygos: vandens lygis arba debito dydis, tėkmės kryptis.

5. Kitos veikiančios jėgos: vėjo greitis ir kryptis, papildomi nuotėkio įtekėjimo arba ištekėjimo šaltiniai, jų debitai bei tekėjimo greičiai.

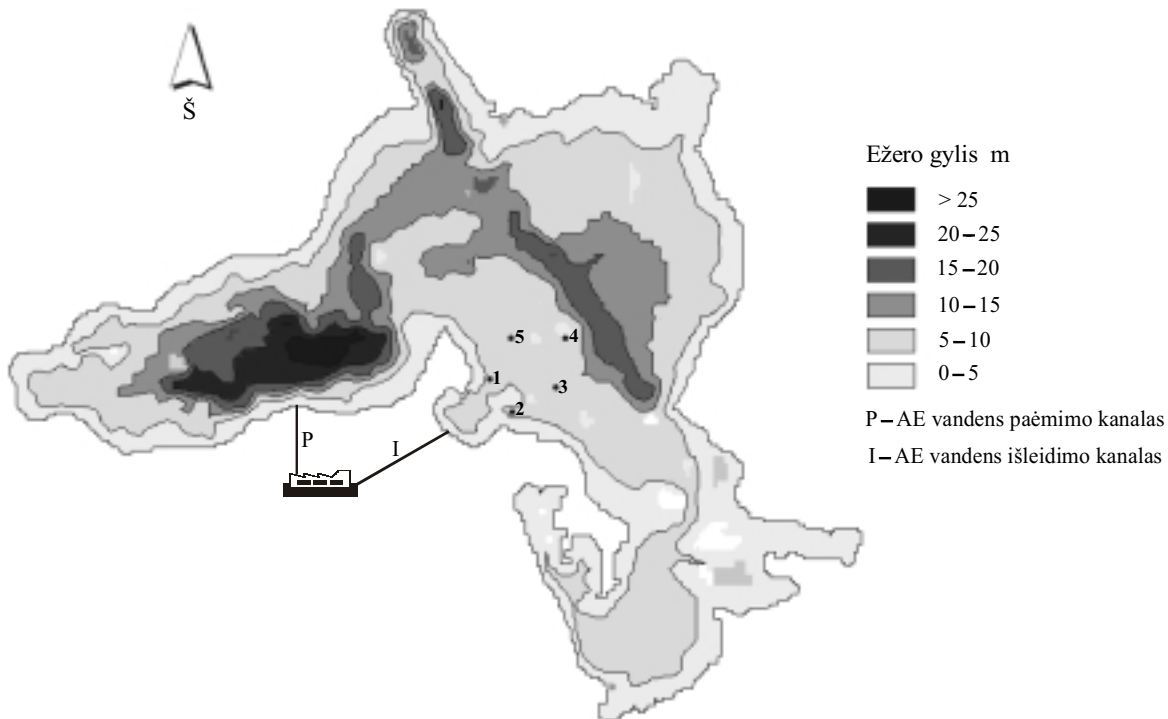
MIKE 21 HD modulio kalibravimui naudojami šie parametrai: šiurkštumo ir turbulentiškumo koeficientai, tikslios kraštinės sąlygos, tinkama vandens telkinio batimetrija.

3. REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS

3.1. Modelio kalibravimas ir verifikavimas

Naudojantis Drūkšių ežero izobatų žemėlapiu (1:10000), MIKE 21 modelio aplinkoje buvo sukurtas skaitmeninis batimetrijos žemėlapis (1 pav.), kurio kiekvienai tinklelio celei apskaičiuotas vidutinis vandens gylis. Šio žemėlapio celės dydis – 50×50 m.

Apie Drūkšių ežero vandens tėkmių režimą turėta nedaug duomenų, tinkamų kalibravimui. 2001 m. rugsėjo 27 d. buvo suorganizuota ekspedicija modelio kalibravimui reikalingiems duomenims gauti. Ežero tėkmės matuotos 5 vertikalėse artimojoje AE poveikio zonoje (1 pav.). Matavimų metu pūtė pastovios krypties 4–6 m/s šiaurės vakarų vėjas. Ignalinos AE dirbo 1340 MW apkrova, o aušinimo vandens



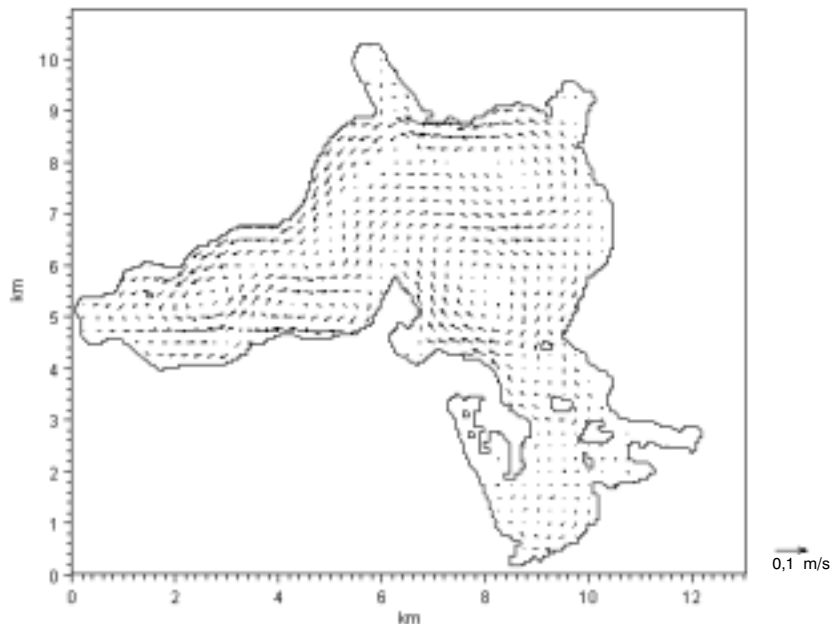
1 pav. Drūkšių ežero batimetrijos žemėlapis ir ekspedicijos metu atliktų tėkmių greičių matavimų vietas

srauto debitas buvo $80 \text{ m}^3/\text{s}$. Kadangi Drūkšių intakų bei vienintelės ištekantčios iš ežero Prorvos upės debitai yra labai nedideli ir telkinio tėkmių laukui svarios įtakos neturi, jie į skaičiavimus neįtraukti.

Ežero tėkmės kalibruotos pagal ekspedicijos duomenis, keičiant šiurkštumo ir turbulentiškumo koeficientus. Geriausi rezultatai (koreliacijos koeficientas $R = 0,88$) gauti naudojant šiuos dydžius:

- šiurkštumo (Maningo) koeficientas $n = 0,032 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$;
- turbulentiškumo koeficientas $E = 0,5 \text{ m}^2/\text{s}$.

Modelio verifikavimui naudotos 1988 m. Drūkšių ežero tyrimų ataskaitoje [7] pateiktos tėkmių vertikalinių schemos. Gauti koreliaciniai natūrinių matavimų ir sumodeliuotų duomenų ryšiai pateikti 1 lentelėje.



2 pav. Ežero natūrali tėkmių struktūra pučiant $3,1 \text{ m/s}$ rytų vėjui

1 lentelė. Modelio parametrų verifikavimo rezultatai

Matavimų data	Vėjo greitis ir kryptis	AE darbo režimas	Taškų skaičius	Koreliacijos koef.
1986 07 18	tyka	1 energetinis blokas (2 turbinos)	7	0,96
1986 07 17	4–5 m/s 348°	1 energetinis blokas	5	0,64
1987 10 21	3–5 m/s 90°	1 turbina	8	0,75
1988 06 29	3–4 m/s 215°	3 turbinos	4	0,17

Kadangi MIKE 21 hidrodinaminis modulis skaičiuoja vidutinius pagal vertikalę tėkmių greičius, galimybės tirti tėkmių profilius bei lyginti juos su kitų autorių darbais [2, 4, 5] neturėjome.

3.2. Ežero natūralios tėkmių struktūros modeliavimas

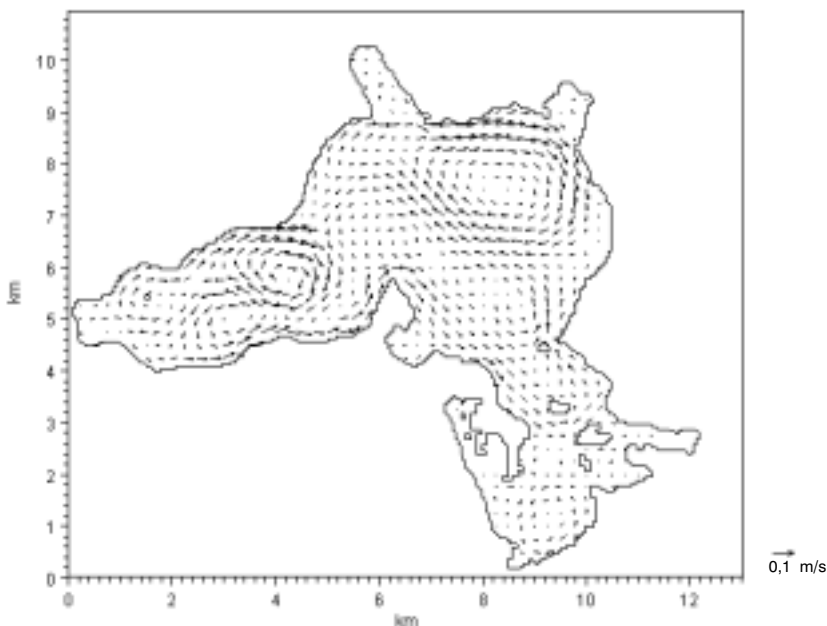
Kartu su ežero forma, krantų konfigūracija, batimetrija, didžiausią įtaką ežero tėkmių struktūrai turi vėjo kryptis ir greitis. Šiame skyrelyje panagrinėsime skirtingų veiksnių poveikį ežero tėkmių struktūrai, turėdami omenyje jų galimą įtaką AE pašildyto vandens sklidimui.

Antrame paveiksle pavaizduotos sumodeliuotos ežero tėkmės, pučiant vidutinio stiprumo (Drūkšių apylinkėse) [8] $3,1 \text{ m/s}$ rytų vėjui, kuris, kaip rodo Drūkšių ežero termonuotraumų analizė [1], yra nepalankus aušinimo srautui aušinti, nes nukreipia pašildyto vandens srautą paėmimo kanalo link. Didžiausių greičių ($3\text{--}5 \text{ cm/s}$) vandens tėkmės formuojasi vidurinės ir vakarinės ežero dalies priekrantėse

ir yra vakarų krypties. Ežero centre susiformuoja tėkmių sukūrys, besisukantis laikrodžio rodyklės kryptimi. Pagal sumodeliuotą tėkmių dinamikos schemą, vanduo iš vandens išleidimo kanalo žiočių iš tikrųjų nukreipiamas paėmimo kanalo link, tačiau didžioji šio srauto dalis įtraukiama į minėtą sukūrį su vandens masėmis iš vakarinės telkinio dalies. Pietinėje ežero srityje vanduo juda labai lėtai – $1\text{--}2 \text{ cm/s}$.

Vakarų vėjas, vyraujantis Drūkšių ežero apylinkėse (šiuo atveju 6 m/s), formuoja kitokį, kur kas intensyvesnį, ežero vandens masių judėjimą (3 pav.). $7\text{--}11 \text{ cm/s}$ tėkmės ežero priekrantėse, pietinėje ir šiaurės rytų dalyje, formuoja du ryškius sukūrius, kuriuose vanduo juda laikrodžio rodyklės kryptimi. Vanduo nuo paėmimo kanalo rajono nukreipiamas link išleidimo kanalo žiočių zonos pietryčių kryptimi, o tai reiškia, kad eksploatuojant tokiomis sąlygomis AE, pašildyto vandens srautas judės į pietinę ežero dalį.

Tokio paties stiprumo (6 m/s) pietų vėjas formuoja mažesnio greičio vandens tėkmes. Didžiausi sumo-



3 pav. Ežero natūrali tėkmių struktūra pučiant 6 m/s vakarų vėjui

deliuoti tėkmių greičiai ežero priekrantėse ir sukuriuose siekia 6–10 cm/s. Ežero giliosios dalies tėkmių lauke galima išskirti net penkis įvairaus dydžio vėjo bei ežero dėl dubens morfometrijos įtakos susiformavusius tėkmių sukurius, judančius skirtingomis kryptimis.

Dėl 6 m/s stiprumo *šiaurės* vėjo įtakos ežere nusistovi mažiausi tėkmių greičiai – 5–9 cm/s. Kaip ir kitose aptartose sumodeliuotų tėkmių schemose, ežero vandens mases išjudina pavėjui atsirandančios tėkmės ežero priekrančių zonoje. Tėkmių laukas ežero centrinėje dalyje išsiskiria dideliais tėkmių, nukreiptų šiaurės vakarų kryptimi, greičiais. Šios srovės susiformuoja toje ežero duburio vietoje, kurioje driekiasi gili rina (1 pav.).

Pučiant 6 m/s *rytų* vėjui, ežere formuojasi analogiškos krypties vandens tėkmės, kaip ir pučiant tos pačios krypties silpnesniam vėjui (žr. 2 pav.), tik maksimalūs tėkmių greičiai yra didesni – 9–13 cm/s. Ežero tėkmių struktūros modeliavimo rezultatai rodo, kad pučiant ir kitų krypčių skirtingo stiprumo vėjams, kinta vandens tėkmių greičiai, o kryptys išlieka tokios pačios. Kaip ir kitais tirtais atvejais, Vilkų įlankos

14% krūmokšniais. Tikslėsių duomenų apie ežerą supančią augmeniją neturėjome.

3.3. Ežero-aušintuvo tėkmių struktūros modeliavimas

Veikiant Ignalinos AE reikalingas aušinimui vanduo imamas iš ežero vakarinės dalies pietinės pakrantės ir išleidžiamas į Vilkų įlanką (žr. 1 pav.). Modeliavimui pasirinktas pašildyto vandens išleidimo debitas 80 m³/s ir greitis 0,2 m/s, kada veikia vienas AE energetinis blokas, ir 160 m³/s bei 0,3 m/s, kada veikia du AE energetiniai blokai; vandens paėmimo debitai – taip pat atitinkamai 80 ir 160 m³/s, laiko žingsnis 20 s. Tėkmių struktūra modeliuota esant tykai, pučiant apysmarkiam vakarų (šios krypties vėjas vyrauja Drūkšių regione), taip pat aušinimui nepalankiems pietryčių, šiaurės rytų ir rytų vėjams. Vėjų kryptys ir greičiai modeliavimui parinkti, vadovaujantis Drūkšių ežero terminio režimo analize [1]. Modeliavimo rezultatas – gaunamos vandens tėkmių schemos rodo vidutinių pagal vertikalę tėkmių charakteristikas.

Pirmiausia sumodeliavome ežero tėkmes, esant *tykai* ir elektrinei dirbant *visu* pajėgumu, t. y. vadinaamojo „blogiausio scenarijaus“ sąlygomis. Tyka ar mažas vėjo greitis lemia silpnas (< 1 cm/s) vandens tėkmes, ir kartu kur kas mažesnę garavimą nuo ežero paviršiaus, mažesnę konvekciją ir blogesnę aušinimą. Gauta vandens tėkmių schema rodo, kad net didžiausio debito (160 m³/s) aušinimo srauto poveikis ežero, kurio tūris (367,6 mln. m³), palyginus su debitu, labai didelis, tėkmių greičiams yra vietinis. Esant antropogeninei apkrovai, sumodeliuotame tėk-

2 lentelė. Skirtingos krypties 6 m/s vėjų sukeltų vandens tėkmių greičiai

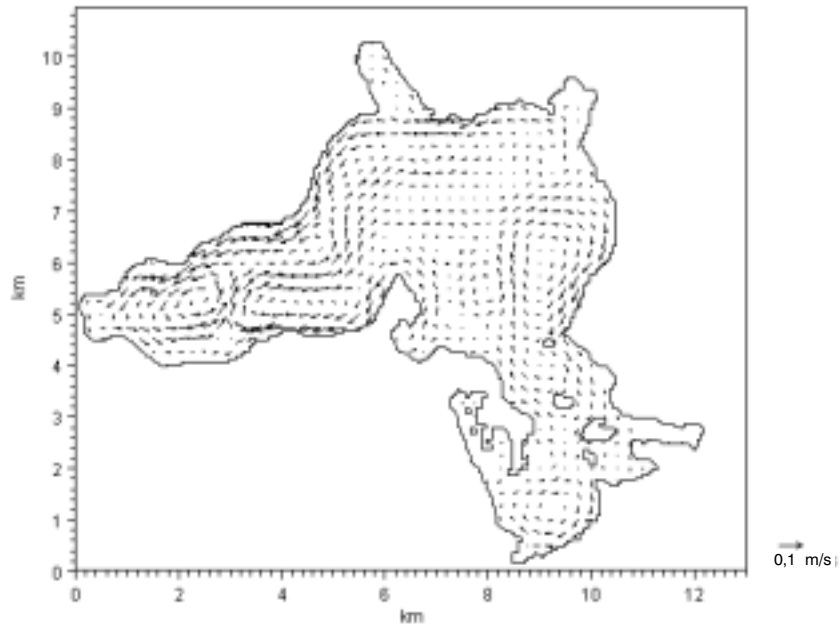
Vėjo kryptis	Tėkmių greitis cm/s	
	didžiausias	vidutinis
Rytų	13,38	2,97
Vakarų	11,50	2,93
Pietų	10,10	2,57
Šiaurės	9,55	2,52

mių lauke pašildyto vandens išleidimo vietoje susidaro srovė, nukreipta pietryčių kryptimi, o vakarinės ežero dalies pietinėje priekrantėje – nedidelė srovė vandens paėmimo kanalo žiočių link. Todėl aušinimo srautas turės stiprią įtaką ežero termikai tik artimojoje zonoje, t. y. poveikis bus sutelktas ir vietinis.

Sumodeliavę Drūkšių hidrodinaminį lauką, veikiant *dviems* AE blokams ir pučiant apysmarkiam (8 m/s) vakarų vėjui, gavome beveik identišką tėkmių išsidėstymą, kaip pavaizduota 3 paveiksle (pučiant tos pačios krypties vėjui ir neveikiant AE), o tai rodo, jog AE išleidžiamo vandens srautas neturi didelės įtakos bendrai ežero tėkmių struktūrai (4 pav.).

Silpnas (4 m/s) *pietryčių* vėjas ir *vieno* AE energetinio bloko aušinimui reikalingas vandens debitas formuoja tokią pačią tėkmių struktūrą, kaip ir rytų krypties vėjas, neveikiant elektrinei (žr. 2 pav.). Tokios sąlygos yra nepalankios išleidžiamo pašildyto vandens srauto aušinimui, nes jis nukreipiamas įsiurbimo kanalo link.

Vidutinio stiprumo (6 m/s) *šiaurės rytų* vėjas, pučiantis priešpriešiais pašildyto vandens tėkmės sklidimui, ir *vieno* energetinio bloko eksploatavimas sukelia ežero tėkmių išsidėstymą, parodytą 5 paveiksle. Sumodeliuotame ežero tėkmių lauke žymu, kad

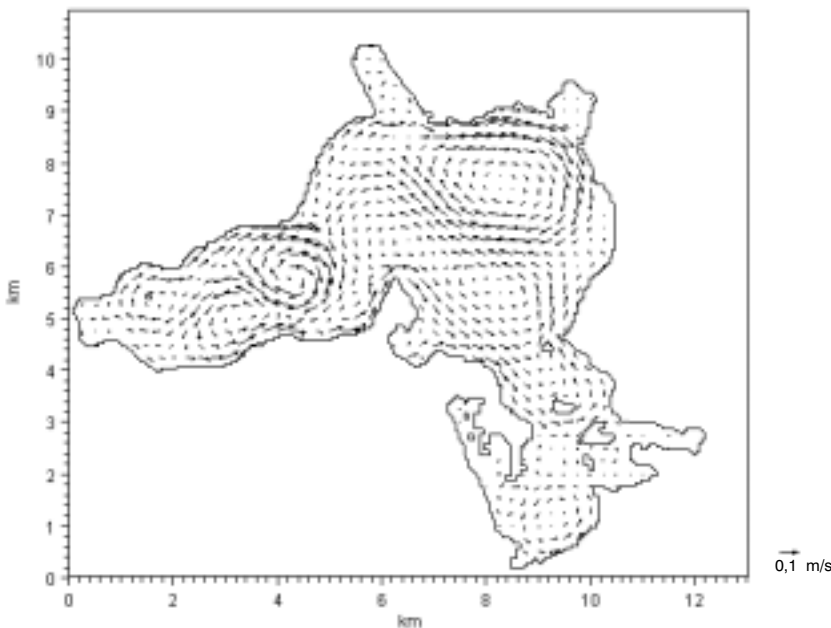


5 pav. Ežero-aušintuvo tėkmių struktūra veikiant vienam Ignalinos AE blokui ir pučiant 6 m/s šiaurės rytų vėjui

šios krypties vėjas yra nepalankus pašildyto vandens aušinimui, nes nukreipia jį įsiurbimo kanalo link. Dėl *dviems* AE energetiniams blokams eksploatuoti naudojamo 160 m³/s srauto, pagal modeliavimo rezultatus, 4 cm/s padidėja (palyginti su vienu blokui reikalingu debitu) didžiausi tėkmių greičiai.

3 lentelėje pateikti sumodeliuoti ežero vandens tėkmių vidutiniai ir didžiausi greičiai, pučiant skirtingo stiprumo *rytų* vėjui ir esant skirtingam AE darbo režimui. Akivaizdu, kad Ignalinos AE aušinimo srautas neturi didesnės įtakos Drūkšių ežero vandens vidutiniams tėkmių dydžiams; pašildyto vandens srautas padidina tik didžiausius vandens tėkmių greičius.

Sumodeliuotas ežero tėkmių pasiskirstymas, veikiant Ignalinos AE, parodė, kad išleidžiamo vandens srautas neturi didelės įtakos bendrai ežero tėkmių struktūrai ir vidutiniams tėkmių greičiams, aušinimo srautas lemia tik tėkmių didžiausių greičių padidėjimą. Esant tykai, tėkmių greičiai ežero periferijoje neveikiami – srauto poveikis pasireiškia tik įsiurbimo bei išleidimo kanalų artimosiose zonos. Šiaurės rytų krypties vėjas yra nepalankiausias pašildytam vandeniui aušinti, nes nukreipia jį atgal į vandens paėmimo kanalo zoną.



4 pav. Ežero-aušintuvo tėkmių struktūra veikiant dviem Ignalinos AE blokams ir pučiant 8 m/s vakarų vėjui

3 lentelė. Skirtingo stiprumo vėjų ir Ignalinos AE darbo režimo įtaka vandens tėkmių greičiams

Vėjo greitis m/s	AE neveikia		Veikia 1 AE blokas		Veikia 2 AE blokai	
	tėkmių greitis cm/s					
	didžiausias	vidutinis	didžiausias	vidutinis	didžiausias	vidutinis
5	10,67	2,30	13,28	2,31	16,86	2,32
10	23,49	5,43	27,02	5,46	30,63	5,49
15	36,45	8,22	40,19	8,26	42,01	8,28
20	48,91	11,06	49,80	11,08	54,26	11,09

3.4. Aušinimo vandens srauto judėjimo įvertinimas

Į ežerą iš elektrinės nuolat patenka 80–160 m³/s pašildyto vandens – tiek, vandens iš ežero paimama kitoje priekrantės vietoje. Paėmimo kanalo žiotys yra vakarinėje giliojoje telkinio dalyje, o išleidimo kanalo žiotys atsiveria į Vilkų įlanką vidurinėje ežero dalyje. Šios dvi ežero vietos viena nuo kitos nutolusios 3–4 km ir atskirtos pusiasaliu. Ežere susiformuoja tėkmė, nukreipta iš vandens išleidimo vietos link įsiurbimo kanalo žiočių. Pabandėme šios tėkmės kelią ir ribojamą plotą, kurią pavadinoje *elektrinės poveikio zona*, atsekti pagal sumodeliuotą ežero vandens hidrodinaminį lauką, pučiant pagrindinių kryptių vėjams.

Pirmiausia, remdamiesi Drūkšių ežero batimetrija, terminio režimo analize [1] bei vandens tėkmių struktūros modeliavimo rezultatais, ežerą suskirstėme į tris sritis: vakarinę, vidurinę bei pietinę (6 pav.). Šių sričių pagrindinės charakteristikos – paviršiaus plotai, gyliai ir tūriai pateikti 4 lentelėje. *Vakarinei*

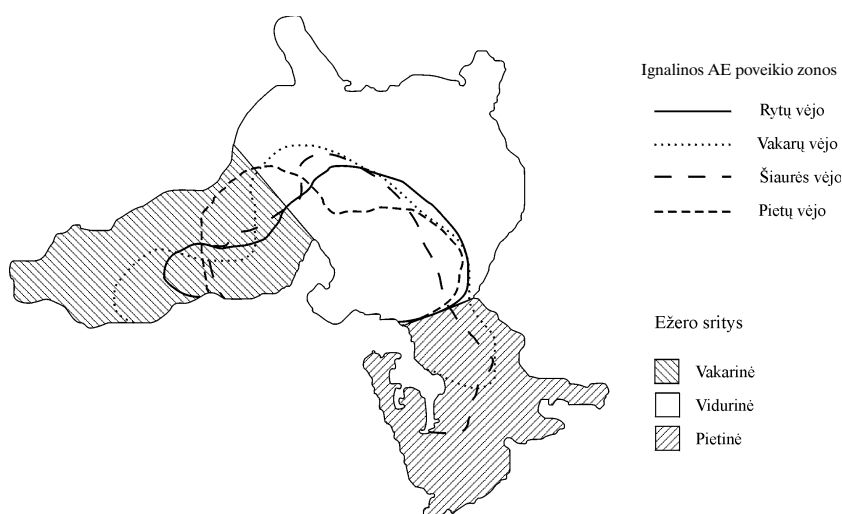
zacijos vandens, joje masių apykaita yra lėta, o tėkmių struktūra formuojasi daugiausia dėl vėjo įtakos. *Vidurinė*, didžiausia, išskirta ežero sritis plyti tarp dviejų minėtų; būtent į šią sritį pirmiausia patenka AE aušinimo vandens srautas.

4 lentelė. Ežero sričių parametrai

Sritis	Plotas km ²	Plotas %	Tūris mln. m ³	Tūris %	Vidutinis gylis m
Vakarinė	12,4	27,7	134,2	36,5	10,1
Vidurinė	22,9	51,0	195,3	53,1	7,9
Pietinė	9,6	21,3	38,1	10,4	3,7

Pučiant 4 pagrindinių kryptių vėjams sumodeliuotose ežero-aušintuvo tėkmių laukuose išskyrėme elektrinės poveikio zonas (6 pav.). Apskaičiavome, kurią mūsų išskirtų ežero sričių ir bendrai viso ežero dalį aprėpia elektrinės poveikio zona. Gauti rezultatai (5 lentelė) rodo, kad pučiant visų tirtų kryptių vėjams, elektrinės poveikio zona daugiausia lokalizuota vidurinėje ežero srityje (31,1–41,0% ploto ir 32,1–45,3% tūrio), tačiau visais modeliavimo atvejais apima ir dalį vakarų srities. *Vakarų* ir *šiaurės* vėjai nukreipia aušinimo srautą ir į seklią pietinę ežero sritį, formuodami didžiausio ploto poveikio zonas – 16,2 ir 12,5 km². Tuo tarpu dėl *rytų* ir *pietų* vėjų įtakos į elektrinės poveikio zoną įtraukiami ežero vandens masių didžiausi tūriai – atitinkamai 125,8 ir 120,1 mln. m³, nes ši zona susidaro giliosiose ežero srityse.

Iš kitų išsiskiria *pietų* vėjo zona, kurioje įsiurbiamo ir išleidžiamo vandens srautai ežere formuoja du mažai tarpusavyje susijusius sūkurius; tuo tarpu kitų vėjų formuojamose zonose pašildytas vanduo juda sąlyginai uždaru kontūru: *rytų* vėjo zonoje – pagal laikrodžio rodyklę, *vakarų* – prieš laikrodžio rodyklę, o *šiaurės* vėjo



6 pav. Ežero sritys ir Ignalinos AE poveikio ežerui zonos

5 lentelė. Elektrinės poveikio zonų plotai ir tūriai, pučiant 4 pagrindinių kryptių vėjams								
Rodiklis	Vėjo kryptis							
	vakarų		rytų		šiaurės		pietų	
	plotas							
	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Vakarinėje srityje	4,9	39,4	3,3	26,7	2,6	21,0	37,0	4,6
Vidurinėje srityje	9,4	41,0	8,4	36,9	7,5	32,7	31,1	7,1
Pietinėje srityje	1,9	19,8	0	0	2,4	25,1	0	0
Visame ežere	16,1	35,9	11,7	26,0	12,5	27,9	25,8	11,7
	Tūris							
	mln. m ³		mln. m ³		mln. m ³		mln. m ³	
	mln. m ³	%	mln. m ³	%	mln. m ³	%	mln. m ³	%
Vakarinėje srityje	5,8	4,3	44,4	33,1	31,6	23,5	57,3	42,7
Vidurinėje srityje	88,4	45,3	81,4	41,7	64,7	33,1	62,8	32,1
Pietinėje srityje	9,1	23,9	0	0	10,7	27,9	0	0
Visame ežere	103,4	28,1	125,8	34,2	107,0	29,1	120,1	32,7

zonoje persipina keli priešinga kryptimi judantys vandens tėkmiai sukuriai.

4. IŠVADOS

1. Ežero hidrodinamikos modeliavimas parodė, kad vėjo sukeltos tėkmės pirmiausia atsiranda priekrančių zonose, o vėliau, pasiekusios tam tikrą greitį, išjudina vandens mases ežero akvatorijoje. Pietinėje ežero dalyje vandens masių apykaita yra labai lėta. Vilkų įlankos vanduo natūralioje ežero vandens masių apykaitoje faktiškai nedalyvauja. Ežero konfigūracija yra palanki išibėgėti oro masėms iš rytų ir vakarų. Pagal poveikį vandens tėkmių greičiams skirtingų kryptių vėjai išsidėsto tokia seka: rytų > vakarų > pietų > šiaurės. Tokio paties greičio rytų vėjas ežero mases išjudina stipriausiai, o šiaurės vėjas silpniausiai.

2. Ežero-aušintuvo modeliavimo rezultatai rodo, kad net maksimalus, 160 m³/s, aušinimo debito srautas turi įtaką tik didžiausiems tėkmių greičiams ežere, o bendrai tėkmių struktūrai ir vidutiniams tėkmių greičiams didelio poveikio nedaro, pučiant įvairiems vėjams. Pagal sumodeliuotas ežero tėkmių schemas *šiaurės rytų* krypties vėjas yra nepalankiausias pašildytam vandeniui aušinti, nes nukreipia jį AE aušinimui reikalingo vandens paėmimo kanalo link. Pučiant *rytų* vėjui tokia pačia kryptimi nukreipiama tik nedaug aušinimo srauto, o dėl *pietryčių* vėjo įtakos šis vandens srautas teka vandens paėmimo kanalo link, tačiau jo nepasiekia, nes yra įtraukiamas į ežero centre susiformuojantį sūkurį.

3. Ežero tėkmių schemose, sumodeliuotose pučiant 4 pagrindinių kryptių vėjams, išskirtos AE poveikio zonos parodė, kad aušinimo srautas turi stipriausią įtaką vidurinei ežero daliai. Dėl *vakarų* vėjo įtakos formuojasi didžiausio ploto AE poveikio zo-

na, o tai sąlygoja geriausią pašildyto vandens srauto aušinimą. Dėl mažo zonos užimamo ploto ir aušinimo srauto judėjimo krypties, veikiant *rytų* vėjui, susidaro nepalankiausios aušinimo sąlygos.

4. Sumodeliuotos ežero tėkmių schemos dėl natūrinių duomenų trūkumo pateikia tik bendras tėkmių lauko formavimosi įvairiomis sąlygomis tendencijas. Tiksliesniems modeliavimo rezultatams gauti MIKE 21 hidrodinaminio modulio kalibravimui ir verifikavimui būtini tėkmių greičių matavimo vertikalėse duomenys, esant įvairiems AE aušinimo debitams bei skirtingiems vėjų parametrams.

Gauta
2002 05 09

Literatūra

- Šarauskiėnė D., Rimavičiūtė E. Drūkšių ežero terminio režimo analizė taikant GIS duomenų bazę // Geografijos metraštis. 2000. T. 33. P. 417–423.
- Drižius M.-R. Drūkšių ežero vandens srovių cirkuliacijos schemos sudarymas // Lietuvos valstybinės mokslo programos *Atominė energetika ir aplinka*: Mokslinių ataskaitų rinkinys. 1997. P. 6–16.
- Eidukevičius P. Ignalinos atominės elektrinės šiluminės taršos Drūkšių ežere modeliavimas // Energetika. 1999. Nr. 2. P. 26–34.
- Vaitiekūnas P., Petkevičienė J., Katinas V. Hidroterminių trimačių procesų Drūkšių ežere skaitinis modeliavimas. 2. Hidrodinaminiai rezultatai // Energetika. 2001. Nr. 1. P. 55–60.
- Katinas V., Petkevičienė J., Vaitiekūnas P. Hidroterminių trimačių procesų Drūkšių ežere skaitinis modeliavimas. 3. Vėjas. Energetika. 2002. Nr. 1. P. 46–52.
- MIKE 21 Hydrodynamic Module // User Guide and Reference Manual. Danish Hydraulic Institute, 1998.
- Исследование влияния работы первой очереди ИАЭС на гидрологические и гидротермические характеристики оз. Друкшяй / Отчет по научно-исследовательской работе. Каунас, 1988. 68 с.

8. Klimato žinybas. Vėjas. Vilnius, 1996. 175 p.
9. Яблонскис Й. Регрессионные модели поверхностной температуры воды озер Литвы // Труды Академии Наук Литовской ССР. Серия Б. 1986. № 4(155). С. 69–79.

Diana Šarauskienė, Erika Rimavičiūtė

MODELLING THE CURRENT STRUCTURE OF LAKE DRŪKŠIAI USING THE HYDRODYNAMIC MODULE OF THE MIKE 21 MODELLING SYSTEM

S u m m a r y

The biggest Lithuanian lake, Drūkšiai, serves as a cooler for the Ignalina Nuclear Power Plant (NPP) since 1984. The hydrodynamic regime of this water body prior and following the power plant construction has been investigated. For both natural and anthropogenic settings, the current direction and velocity has been simulated using the MIKE 21 modelling system under varying wind speed, wind direction and power plant load conditions. A comparative analysis revealed wind and bathymetry to be the major factors determining the current structure, while the Ignalina NPP has no significant impact on the overall water dynamics of the Lake Drūkšiai.

Key words: lake-cooler, current structure, hydrodynamic modelling

Диана Шараускене, Эрика Римавичюте

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУР ТЕЧЕНИЙ В ОЗЕРЕ ДРУКШЯЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО МОДУЛЯ СИСТЕМЫ MIKE 21

Р е з ю м е

Самое большое озеро Литвы – Друкшяй – является водоемом-охладителем Игналинской атомной электростанции (ИАЭС). Изучался гидродинамический режим озера до и после начала эксплуатации ИАЭС. Направление и скорость течений моделированы при естественных и антропогенных условиях с помощью гидродинамического модуля системы моделирования MIKE 21 для разных направлений и скоростей ветра, а также для разной мощности АЭС. Анализ и сравнение смоделированных структур течений показывают небольшое влияние сбрасываемых АЭС вод на общую гидродинамику озера Друкшяй. Во всех случаях ветер и батиметрия являются основными факторами, определяющими структуру течений озера.

Ключевые слова: водоем-охладитель, структура течений, гидродинамическое моделирование