

Ledo dangos storio Lietuvos ežeruose daugiametė kaita

Kęstutis Kilkus,

Dovilė Vilkelytė

Vilniaus universitetas,
M. K. Čiurlionio g. 21/27,
LT-03101 Vilnius
El. paštas: kestutis.kilkus@gf.vu.lt

Kilkus K., Vilkelytė D. Ledo dangos storio Lietuvos ežeruose daugiametė kaita. *Geografija*. 2010. T. 46(1–2). ISSN 1392-1096.

Žiemą ežerus dengiančios ledo dangos storis priklauso nuo įvairių priežasčių (šilumos atsargų, sukauptų šiltuoju laikotarpiu, klimatinė žiemos sąlygų ir t. t.). Straipsnyje analizuojama maksimalaus ledo storio Lietuvos ežeruose kaita 1967–2000 metais. Tyrimų objektais pasirinkti Tauragno, Totoriškių, Žuvinto, Žeimenų ir Dusios ežerų ledo dangos storio reikšmės stipriai koreliuoja tarpusavyje. Ryšiai yra statistiškai patikimi, kai užsibrėžtas reikšmingumo lygmuo atitinka 1 %. Didesnės koreliacijos koeficientų vertės arčiau esančių ežerų (Dusios ir Žuvinto, Tauragno ir Žeimenų) aiškinamos mikroklimatiniais ypatumais. Tiriamuoju laikotarpiu maksimalių ledo storio verčių vidurkis tiriamuosiuose ežeruose buvo 39 cm, o ekstremumai siekė 61–79 cm. Visuose ežeruose stebima ledo dangos plonėjimo (vidutiniškai 0,56 cm per metus) tendencija, kuri 1967–2000 m. buvo ypač ryški giliuose ežeruose. Ledo storio kaitos parametrai gerai koreliuoja su ežerų gylio rodikliais (vidutiniu gyliu, santykiniu gyliu). Gilesniame ežere maksimalaus ledo storio daugiametis plonėjimas vyksta intensyviau.

Raktažodžiai: ežerai, maksimalus ledo storis, ledo storio ekstremumai, ledo dangos storio kaitos trendai

ĮVADAS

Laikotarpis, kai ežerą užkloja ištisinė ledo danga, yra itin svarbus limnosistemai, nes ji priversta eikvoti iki užšalimo sukauptas deguonies atsargas, o susidariusios atvirkštinės vandens temperatūros stratifikacijos negali suardyti vėjo sąmaiša. Irstant organikai anaerobiniuose hipolimnionuose kaupiasi sieros vandenilis, metanas. Stora ir ypač sniegu užklotą ledo dangą riboja pro vandenį prasiskverbianti regimosios Saulės spinduliuotės (šviesos) kiekį – taigi ir fotosintezės proceso intensyvumą bei endogeninio deguonies gamybą. Atšiauriomis žiemomis ledu gali virsti ženkliai seklaus ežero vandens tūrio dalis, todėl sumažėja ichtiofaunai būtina fizinė erdvė ir dar labiau suprastėja vandens kokybės rodikliai (Jarvet, 2000). Ledo dangos rodikliai, tarp jų ir ledo storis, daugiausia priklauso nuo klimato ir gali būti geri pastarojo kaitos indikatoriai (Skowron, 2009).

Lietuvos ežerų ledo dangos rodikliai tirti palyginti mažai (Kilkus, 1989; Kilkus, Valiuškevičius, 2001), o klimatologus dominantys ledo storio kaitos trendai nuo 1960 m. išvis neanalizuoti. Tokią situaciją nulėmusi priežastis, matyt, yra šis: nors ežerų ledo reiškiniai Lietuvoje stebimi nuo XX a. pirmosios pusės, duomenų sekos yra skirtingo ilgio, o kai kurios – labai trumpos, be to, pastaraisiais dešimtmečiais ežerinių vandens matavimo stočių skaičius drastiškai mažėjo, taigi informacijos kiekis apie ledo storį Lietuvos ežeruose nebeapsipildė naujais duomenimis.

DUOMENYS IR METODIKA

Darbe naudojami Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos prie Aplinkos ministerijos fondų duomenys („Hidrologiniai metraščiai“) apie ledo storį Lietuvos ežeruose. Ledo storis matuojamas 5, 10, 15, 20, 25 ir paskutiniają mėnesio dieną per visą laikotarpį, kai ežerą dengia ledas. Straipsnyje pateikiamiems skaičiavimams buvo atrenkami kasmetiniai ledo storio maksimumai ežeruose. 1967–2000 m. laikotarpis pasirinktas dėl ilgiausių duomenų sekų, kurios visų penkių mūsų tiriamųjų Lietuvos ežerų (Tauragno, Totoriškių, Žuvinto, Žeimenų ir Dusios) yra vienodos. Kadangi šie ežerai skiriasi ne tik savo geografine padėtimi (1 pav.), bet ir morfometriniiais rodikliais (1 lentelė), į tai būtina atsižvelgti atliekant ledo storio kaitos analizę.

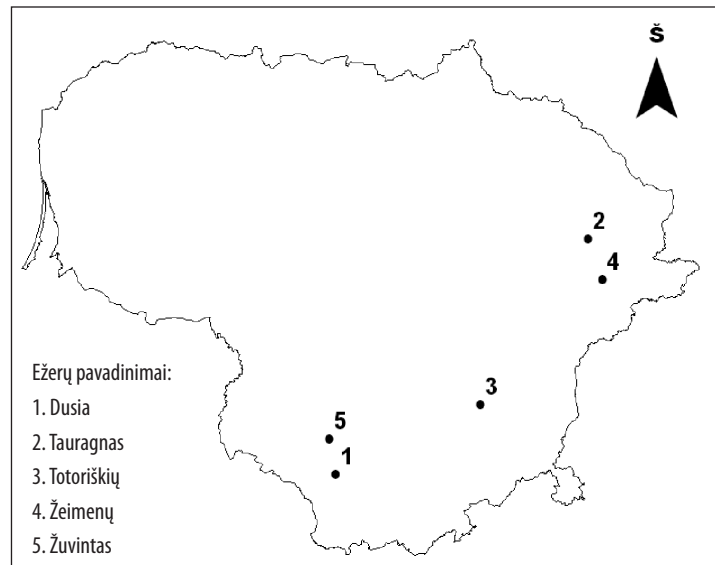
Straipsnyje vartojamos sąvokos yra šiek tiek supaprastintos:

- *ledo dangos storis* yra ežerų maksimalaus ledo storio atitinkamo kiekvienais metais;
- *vidutinis ledo dangos storis* – kasmetinių maksimalių ledo storio reikšmių per analizuojamąjį laikotarpį aritmetinis vidurkis.

Ledo storio kaitos tendencijos tiriamuose ežeruose apibūdintos tiesiniais trendais, kuriuos galima išreikšti regresijos lygtimi:

$$y = ax + b; \quad (1)$$

čia y – ledo dangos storis ežere pasirinktais metais; x – metų skaičius nuo 1967 m. (pvz., 1968 m. $x = 1$, 1989 m. $x = 22$);



1 pav. Tiriųjų ežerų geografinė padėtis
Fig. 1. Geographical location of the selected lakes

1 lentelė. Tiriųjų ežerų morfometrinių rodiklių

Table 1. Morphometric indices of the selected lakes

Ežeras / Lake	Tauragnas	Totoriškių ežeras	Žuvintas	Žeimenų ežeras	Dusia
Vieta / Location	Utenos r.	Trakų m.	Alytaus r.	Švenčionių r.	Lazdijų r.
Plotas km ² / Area, km ²	5,10	0,76	10,30	4,36	23,30
Ilgis km / Length, km	9,5	2,0	5,7	12,0	8,0
Didžiausias plotis km / Maximum width, km	1,1	0,5	3,0	1,6	4,1
Kranto linijos ilgis km / Length of shoreline, km	23,7	5,4	16,5	34,2	21,6
Vidutinis gylis m / Mean depth, m	18,7	15	0,67	6,9	14,6
Didžiausias gylis m / Maximum depth, m	62,5	20,0	3,4	23,5	32,4
Santykinis gylis % / Relative depth, %	2,45	2,04	0,094	1,00	0,60

a – koeficientas, nurodantis ledo storio pokytį per vienerius metus; b – koeficientas, nurodantis ledo dangos storio trendo pradinį tašką (ledo storį analizuojamo laikotarpio pradžioje).

Straipsnyje yra naudojama ežero santykinio gylio sąvoka. Santykinis gylis (D_r , %) yra didžiausias gylis, normuotas pagal ežero vandens paviršiaus plotą. Pasak G. Hutchinsono (1957), jis išreiškiamas lygiapločio skritulio (A_w) skersmens dalimis (%), t. y.:

$$D_r = D_{\max} \pi^{0.5} / 20 A_w^{0.5} = 0.0886 D_{\max} / A_w^{0.5} (\%); \quad (2)$$

čia D_{\max} – didžiausias gylis m; A_w – ežero vandens paviršiaus plotas km².

REZULTATAI

Nors tiriami ežerai telkšo skirtinguose klimato rajonuose bei parajonuose (*Lietuvos TSR atlasas*, 1981) ir iš esmės skiriasi jų morfometrinių rodiklių (1 lentelė), kasmetinio maksimalaus ledo storio duomenų sekos tarpusavyje palyginti gerai koreliuoja (2 lentelė). Visi koreliacijos koeficientai

2 lentelė. Ežerų ledo dangos storio koreliacijos koeficientai

Table 2. Correlation coefficients of ice cover thickness in selected lakes

Ežeras / Lake	Tauragnas	Totoriškių	Žuvintas	Žeimenų	Dusia
Tauragnas		0,85	0,72	0,90	0,71
Totoriškių	0,85		0,87	0,88	0,84
Žuvintas	0,72	0,87		0,84	0,85
Žeimenų	0,90	0,88	0,84		0,76
Dusia	0,71	0,84	0,85	0,76	

yra statistškai patikimi, kai užsibrėžtas patikimumo lygmuo yra 1 %, tačiau koeficientų vertės arčiau esančių ežerų (Dusios ir Žuvinto; Tauragno ir Žeimenų) yra didesnės. Tokiam koreliacijos koeficiento verčių pasiskirstymui įtakos turėjo mikroklimatiniai ypatumai: klimato rajonų bei parajonių besiskiriančios temperatūros, dienų su sniegu danga skaičius ir pan. Taigi tame pačiame klimato parajonyje telkšantys ežerai pasiekia panašias maksimalaus ledo storio reikšmes, todėl ir koreliacija tarp šių ežerų ledo storio rodiklių yra stipresnė.

Būtina paminėti dėl matavimo vietos galimus duomenų netikslumus. Parinkta matavimo vieta kartais nereprezentuoja viso ežero ir jame vykstančių procesų (pvz., įlankoje atlikti matavimai). Duomenys gali būti netikslūs ir dėl žmogiško veiksnio – stebėtojo aplaidumo atliekant matavimus ir pan., tačiau šie netikslumai yra sunivelijuojami apskaičiavus daugiamečius vidurkius.

Suvidurkinus kasmetinius ežerų maksimalaus ledo storio rodiklius, sumenksta mikroklimatinių ypatumų reikšmė. Bendras tiriamųjų ežerų maksimalaus ledo storio vidurkis per visą analizuojamą laikotarpį siekė 39 cm (3 lentelė). Storiausias ledas buvo susidaręs pirmoje, ankstyvojoje, laikotarpio dalyje – 1969 ir 1979 m.: šiomis žiemomis ežeruose užfiksuoti ledo storiai viršijo 60 cm (Tauragno – 63 cm, Totoriškių – 79 cm, Žuvinto – 64 cm, Dusios – 70 cm). Beje, 1969 m. ledo storio ekstremumai buvo užfiksuoti ir Lenkijoje, pavyzdžiui, Mikolajskie ir Studzieniczne ežeruose jie siekė 65 cm (Skowron, 2009). Tokią situaciją nulėmė klimatiniai veiksniai.

Per visą tiriamąjį laikotarpį Lietuvos ežeruose vyravo ledo plonėjimo tendencija (2 pav.), kurią apibūdina tiesės trendai (jų regresijos lygtys pateikiamos 4-oje lentelėje). Koeficientas a nurodo ledo storio pokytį atitinkamame ežere per vienerius metus. Intensyviausiai ledas plonėjo Tauragno ežere – 0,87 cm per metus, o silpniausiai – Žuvinto ežere (0,29 cm per metus). Vidutinis visų tirtų ežerų aptariamo proceso intensyvumas – 0,56 cm per metus, arba 5,6 cm per dešimtmetį. Panašiai yra ir Lenkijos ežeruose: jų ledo danga plonėjo vidutiniškai 0,43 cm per metus (Marszelewski, Skowron, 2006).

Vienoje klimato zonoje telkšančių ežerų šilumos atsargas (jų santykinį dydį) daugiausia lemia morfometriniai rodikliai, ypač dubens gylis ir ežero plotas. Nuo pirmojo rodiklio priklauso šilumos atsargų potencialas, o nuo antrojo – šio potencialo realizavimas, t. y. paviršiniame vandens sluoksnyje sukauptos šilumos persikirstymas, jos turbulentinė pernaša į gilesnius vandens sluoksnius (Kilkus, 2005). Būtent tai atsispindi ir ledo plonėjimo trendus apibūdinančių koeficientų ryšiuose su ežerų gylis rodikliais (3 pav.), ypač su hidrodinaminę prasmę turinčiu santykiniu gyliu: pastarajam

didėjant ežerų ledas intensyviau plonėja. Taigi ir ryšiai tarp ežerų santykinio gylis ir ledo dangos plonėjimo parametrų (tarp D_r ir koeficiento $a - r = -0,95$; tarp D_r ir koeficiento $b - r = 0,93$) gaunami stipresni už tuos, kai skaičiavimams naudojamos ežerų vidutinio gylis reikšmės (tarp D_v ir koeficiento $a - r = -0,82$; tarp D_v ir koeficiento $b - r = 0,83$).

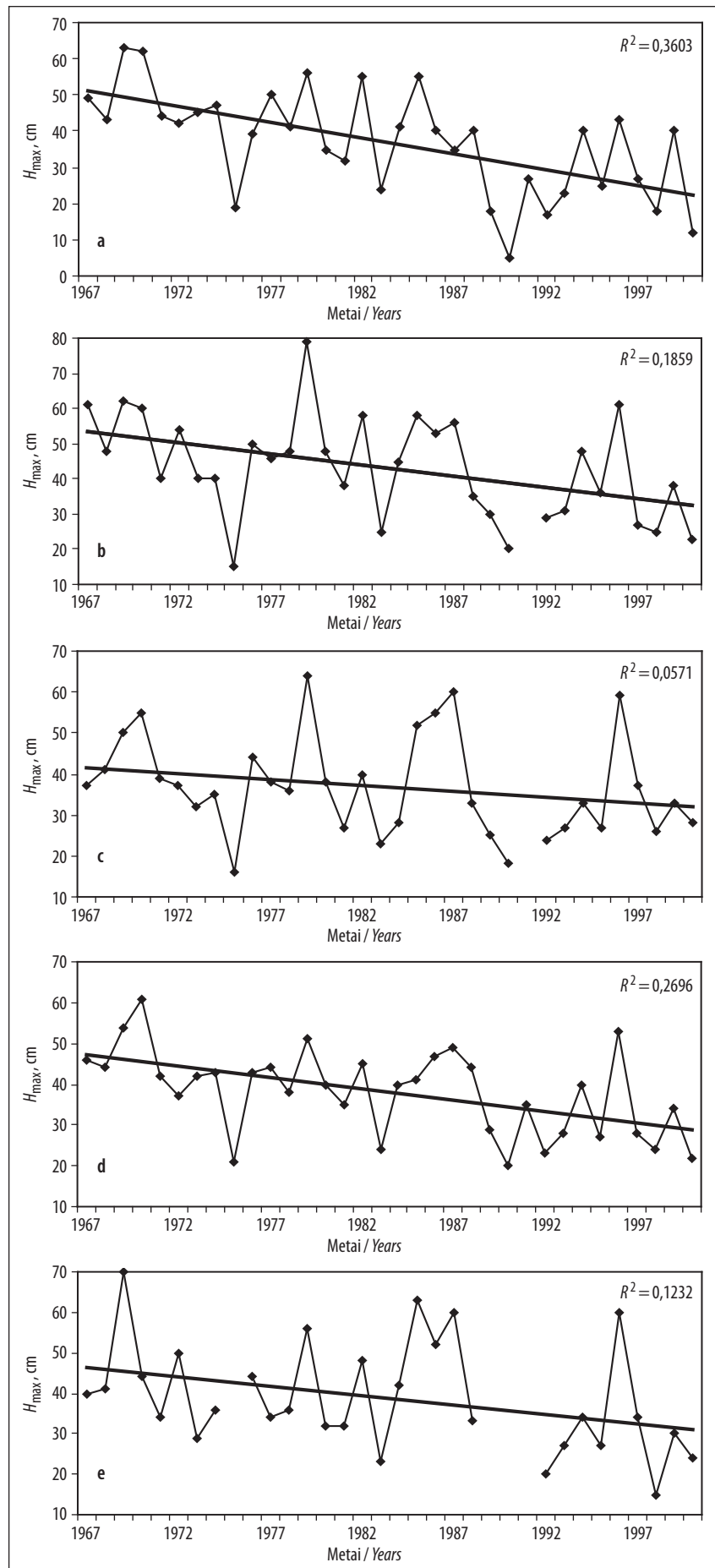
Ledo dangos plonėjimas globaliai yra traktuojamas kaip klimato kaitos pasekmė. Pasak G. Valiuškevičiaus (2007), aktyvi stovinčio vandens telkinių reakcijos į klimato kaitą išraiška – jų užšalimo bei nuledėjimo datų kaita pastaruosius kelis šimtmečius. Šią reakciją užfiksuoti lengviau nei bendrą terminų rodiklių pokytį, nes ledo dangos susidarymo ir kitokių ledo reiškinų datos ežeruose stebimos gana seniai (joms registruoti nereikėjo jokios aparatūros). Manoma, kad lyginant su XIX a. viduriu mūsų dienomis didelių Šiaurės pusrutulio ežerų užšalimo datos vidutiniškai vėluoja daugiau nei 6 paras, o nuledėjimas paankstėjo daugiau nei 5 paromis. Taigi, mūsų manymu, pagrindinė priežastis, lemianti gilesniame ežere intensyvesnį ledo storio plonėjimą (koeficiento a ir ežerų gylis rodiklių priklausomybė; 3 pav.), yra Lietuvoje stebima priešžiemų ilgėjimo, taigi ir upių bei ežerų vėlesnio užšalimo, tendencija (Stonevičius ir kt. 2008). Dėl šios priežasties giliųjų ežerų hipolimnionuose sukaupta šiluma gali keliauti į paviršių (vėjo sukelta turbulentinė sąmaiša) ir stabdyti užšalimo procesą. Sekliuose ežeruose šis šilumos potencialas yra menkas, todėl greičiau ir dažniau išnaudojamas, o daugiamečių ledo plonėjimo tendencija yra silpnesnė.

Tiesioginė priklausomybė sieja ežerų gylis parametrus (vidutinis gylis (D_v , m), santykinis gylis (D_p , %)) ir (1) lygties koeficientą b . Pastarojo vertė atitinka ledo dangos storio reikšmę tiriamojo laikotarpio pradžioje, nes šis koeficientas nurodo ledo dangos storio kaitos trendo pradinį tašką. Koeficiento b reikšmė seklių ežerų yra mažesnė, ir tą galima paaiškinti efektyvesne šilumos pernaša molekulinės difuzijos būdu iš dugno nuosėdų į apatinį ledo paviršių. Dugno nuosėdose sukaupta šiluma stabdo ledo storio prieaugį iš apačios. Gilesniuose ežeruose toks procesas nėra intensyvus arba išvis nevyksta, taigi ledo danga susidaro storesnė.

3 lentelė. Ledo storis Lietuvos ežeruose (1967–2000 m.)

Table 3. Ice thickness in Lithuanian lakes (1967–2000)

Ežeras / Lake	Duomenų sekos ilgis (metais) Length of data continuance (years)	Maksimalus ledo storis cm / Maximum ice thickness, cm	
		Vidurkis / Average	Ekstremumas / Extremum
Tauragnas	33	37	63 (1969 m.)
Totoriškių	32	43	79 (1979 m.)
Žuvintas	32	37	64 (1979 m.)
Žeimenų	33	38	61 (1970 m.)
Dusia	29	39	70 (1969 m.)
Bendras vidurkis / Total average		39	67



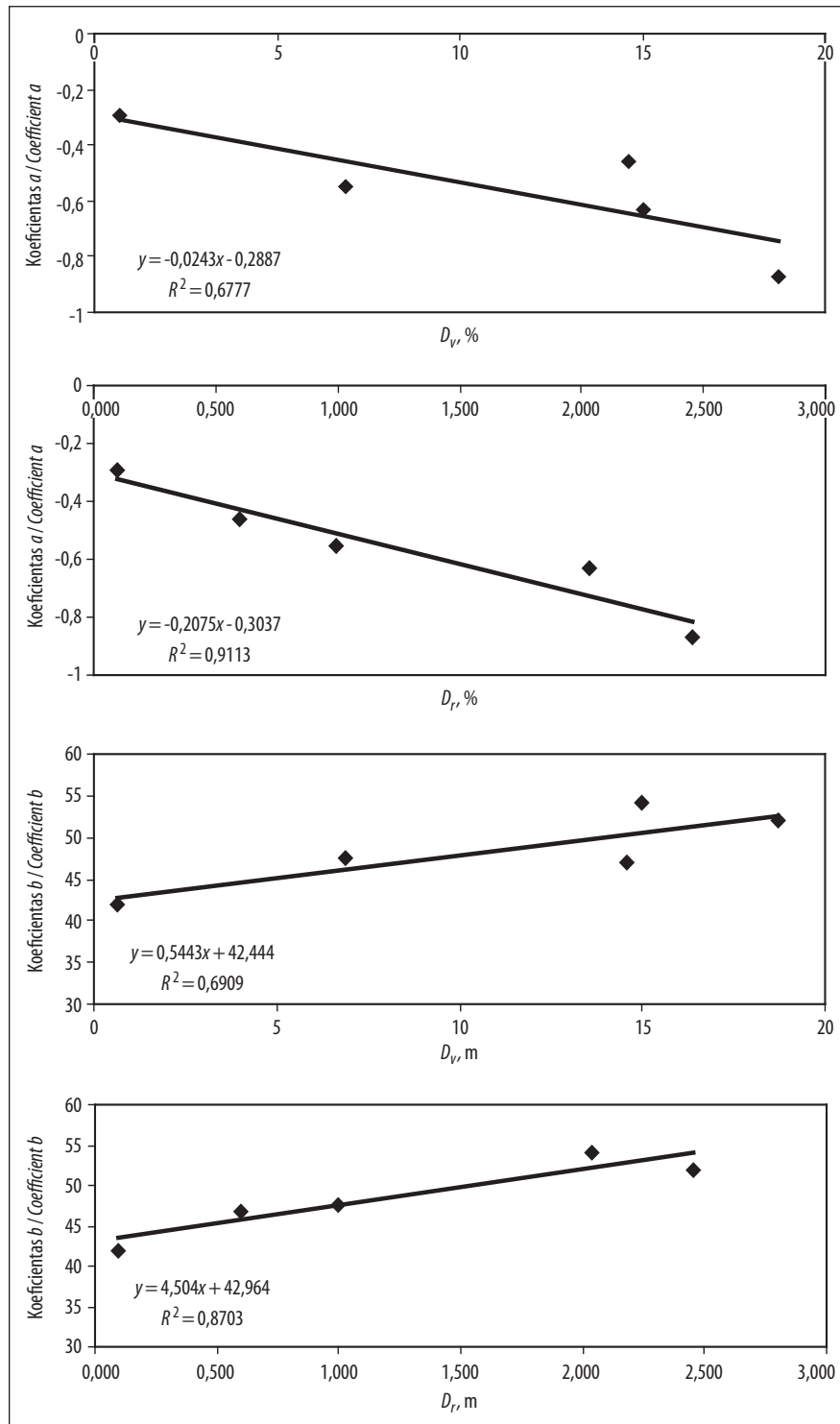
2 pav. Ledo storio kaitos (1967–2000 m.) trendai; a – Tauragno, b – Totoriškių, c – Žuvinto, d – Žeimenų, e – Dusios ežerai

Fig. 2. Trend line of ice thickness fluctuation of the selected lakes in the period 1967–2000. Lakes: a – Tauragnas; b – Totoriškių; c – Žuvintas; d – Žeimenų; e – Dusia

4 lentelė. Ežerų ledo storio kaitos tendų lygtys, koeficientai ir jų vidurkiai (1967–2000 m.)

Table 4. Equations, coefficients and average values of ice thickness trends of the selected lakes for the period 1967–2000

Ežeras / Lake	Lygtis / Equation	Koeficientas a / Coefficient a	Koeficientas b / Coefficient b
Tauragnas	$y = -0,8678x + 52,011$	-0,87	52,01
Totoriškių	$y = -0,6322x + 54,162$	-0,63	54,16
Žuvintas	$y = -0,293x + 41,94$	-0,29	41,94
Žeimenų	$y = -0,5467x + 47,626$	-0,55	47,63
Dusia	$y = -0,4606x + 46,892$	-0,46	46,89
Vidurkis / Average	$y = -0,56x + 48,53$	-0,56	48,53



3 pav. Ledo storio kaitos tiesinių tendų (koeficientų a ir b) priklausomybės nuo ežerų vidutinio (D_v) ir santykinio (D_r) gylio
Fig. 3. Relationships between ice thickness fluctuation coefficients (a and b) and mean (D_v) as well as relative (D_r) depths of the selected lakes

IŠVADOS

1. Ežerų ledo storio duomenų sekos tarpusavyje palyginti gerai koreliuoja: visi koreliacijos koeficientai yra statistiškai patikimi, kai užsibrėžtas patikimumo lygmuo yra 1 %, tačiau koeficientų vertės arčiau esančių ežerų (Dusios ir Žuvinto; Tauragno ir Žeimenų) yra didesnės. Tam turi įtakos mikroklimatiniai ypatumai.

2. Maksimalaus ledo storio vidurkis tirtuose ežeruose 1967–2000 m. buvo 39 cm. Nepaisant skirtingos ežerų morfometrijos ir geografinės padėties ledo storio vidurkių reikšmės yra panašios. Mikroklimatiniai ypatumai beveik neturi poveikio ledo storio daugiamečiams rodikliams.

3. 1967–2000 m. visuose tirtuose ežeruose stebėta ledo dangos plonėjimo tendencija – vidutiniškai 0,56 cm per vienerius metus.

4. Ledo plonėjimo trendo lygčių parametrai patikimai koreliuoja su ežerų gylio rodikliais. Ryšiai tarp ežerų santykinio gylio ir ledo dangos plonėjimo parametrų (tarp D_r ir koeficiento $a - r = -0,95$; tarp D_r ir koeficiento $b - r = 0,93$) gauti stipresni už tuos, kai skaičiavimams naudojamos ežerų vidutinio gylio reikšmės (tarp D_v ir koeficiento $a - r = -0,82$; tarp D_v ir koeficiento $b - r = 0,83$).

5. Gilesniame ežere ledo storis plonėja intensyviau (Tauragno – 0,87 cm per metus, Žuvinto – 0,29 cm per metus). Tokį procesą paaiškina ežero šilumos atsargų potencialas, nes sukaupta šiluma pristabdo ledo atsiradimą ir storėjimą.

Gauta 2010 10 06

Priimta 2010 10 30

Literatūra

1. Balevičius A., Bukantis A., Bukelskis E., Ignatavičius G., Kutorga E., Mierauskas E., Rimkus E., Rukšėnienė J., Sinkevičius S., Stankūnavičius G., Valiuškevičius G., Zemlys P., Žaromskis R. P. 2007. *Globali aplinkos kaita*. Vilnius: Vilniaus universiteto leidykla.
2. Hutchinson G. 1957. *A Treatise on Limnology*. I: *Geography, Physics and Chemistry*. New York: John Wiley & Sons.
3. Järvet A. 2000. Water regime of lake Võrtsjärv – Estonia. *Geographical Studies*. 8: 72–88.
4. Kilkus K. 1989. *Lietuvos ežerų hidrologija*. Vilnius: Mokslas.

5. Kilkus K., Valiuškevičius G. 2001. Klimato svyravimų atspindžiai ežerų ir upių hidrologiniuose bei hidrofizikiniuose rodikliuose. *Klimato svyravimų poveikis fiziniams geografiniams procesams Lietuvoje*. Geografijos institutas, Vilniaus universitetas. 194–232.
6. Kilkus K. 2005. *Ežerotyra*. Vilnius: Vilniaus universiteto leidykla.
7. *Lietuvos TSR atlasas*. 1981. Maskva. GUGK.
8. Marszelewski W., Skowron R. 2006. Ice cover as an indicator of winter air temperature changes: case study of the Polish Lowland lakes. *Hydrological Sciences Journal*. 51(2).
9. Skowron R. 2009. Changeability of ice cover on the lakes of Northern Poland in the light of climatic changes. *Bulletin of Geography. Physical Geography Series*. 1: 103–124.
10. Stonevicius E., Stankunavicius G., Kilkus K. 2008. Ice regime dynamics in the Nemunas River, Lithuania. *Climate Research*. 36: 17–28.

Kęstutis Kilkus, Dovilė Vilkelytė

MULTIANNUAL FLUCTUATIONS OF ICE COVER THICKNESS IN LITHUANIAN LAKES

Summary

Winter is a period when Lithuanian lakes are usually ice-covered. Ice cover thickness differs annually for many various reasons (heat accumulation in summer, weather conditions in winter, etc.). Our research dealt with ice cover thickness fluctuations during the period 1967–2000. Five Lithuanian lakes (Tauragnas, Totoriškių, Žuvintas, Žeimenys, Dusia) were selected for the research. Ice cover data of the Lithuanian hydrometeorological service archives were used and the space correlation analysis of the data was made. A statistically significant correlation at a 1% level was noted among the ice thickness data of the selected lakes.

During the study period, the mean ice thickness in the study lakes was 39 cm. The maximum values of ice cover thickness were recorded in 1969 and 1979 when they exceeded 60 cm.

Over the period 1967–2000, a decreasing tendency in ice cover thickness was observed, and the linear negative trend of 0.56 cm per year was calculated. The main features of the trends depend on both the mean and the relative depths which control the heat storage of water bodies and heat exchange between deep and surface water layers during the shortening freeze-up periods.

Key words: lakes, maximum ice thickness, ice thickness extremes, ice thickness fluctuations, ice thickness decrease