

# Rininių ežerų vandens balanso struktūra

Kęstutis Kilkus, Edvinas Stonevičius

Vilniaus universitetas

El. paštas: [kestutis.kilkus@gf.vu.lt](mailto:kestutis.kilkus@gf.vu.lt)

## ĮVADAS

Ežero vaidmuo vandens apytakos cikle gali būti labai įvairus ir priklauso nuo šio ciklo erdvės ir laiko mastelio, paties ežero padėties hidrografinėje sistemoje, ežero ir jį maitinančio baseino plotų santykio, požeminių vandenų drenažo gylis ir kt. Šią įvairovę kiekybiškai apibūdina ežero vandens balansas, t. y. algebrinė visų vandens pajamų ir išlaidų suma. Santykį tarp balanso pajamų ir išlaidų, taip pat tarp atskirų komponentų nulemia skaičiuojamojo laikotarpio trukmė, todėl palyginamuosiuose tyrimuose ji turi būti vienoda. Šiame straipsnyje nagrinėjama metinė vandens balanso struktūra Tauragno ir Žeimenų ežeruose, taip pat dviejose rininių ežerų sistemoje – Lakajų (Juodųjų Lakajų ir Baltųjų Lakajų) ir Trakų (Galvės, Skaisčio, Totoriškių, Lukos ir Nerėpinkos ežerai), nes visuose minėtuose ežeruose kadaise veikė arba tebeveikia Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos vandens matavimo stotys, todėl yra bent jau minimali tokiems tyrimams būtina informacija (apie ežerų vandens lygio svyravimą, vandens paviršiaus temperatūrą, nuotėkį, kritulius).

## TYRIMO OBJEKTAI

Tauragnas – takoskyrinis ežeras (plotas  $f = 5,1 \text{ km}^2$ ), telkšantis 164,8 m aukštyje virš jūros lygio ir maitinamas palyginti didelio ( $F = 68,5 \text{ km}^2$ ) baseino. Ežero ploto rodiklis  $K_L = f / (f + F) \times 100 = 6,9\%$ . Iš pietrytinės jo dalies išteka Tauragnos upelė, kuri per sausrą visiškai išdžiūsta. Nuo 1955 m. iki šiol ežero vandens lygį ir temperatūrą matuoja prie Tauragnų miestelio esanti vandens matavimo stotis. Tauragnos upelės debitus išmatavo Vilniaus universiteto hidrologai.

Galvės, Skaisčio, Totoriškių, Lukos ir Nerėpinkos ežerai sudaro bendrą tame pačiame absoliučiaame aukštyje (148,4 m BS) telkšančių ir tarpusavyje susijusių takoskyrinių ežerų sistemą (bendras plotas  $f = 8,4 \text{ km}^2$ ), kurios vanduo nuplaukia ties Žydiškių kaimu esančiu upeliu (kanalu). Pastarojo debi-

tai išmatuoti VU hidrologų. Nors sistemą maitinantis baseinas apima ir Akmenos ežerą, šiuo metu egzistuojanti paviršinė hidrografinė jungtis tarp Akmenos ir Galvės ežerų yra visiškai formali ir išties veiklaus baseino plotas yra tik  $24 \text{ km}^2$  (Kilkus, 1988). Tuomet Trakų ežerų sistemos ploto indeksas  $K_L = 25,9\%$ . Totoriškių ežero vandens lygis stebimas nuo 1952 m.

Hidrologiniu požiūriu Baltieji ir Juodieji Lakajai taip pat yra vienas ežeras (bendras plotas  $f = 12 \text{ km}^2$ ), išsiliejęs 145,1 m aukštyje virš jūros lygio ir surenkantis nuotėkį iš  $240 \text{ km}^2$  baseino ( $K_L = 4,8\%$ ). Vandens perteklių nuplukdo Lakajos upė, ištekanti iš Juodųjų Lakajų ežero. 1936–1969 m. upės nuotėkį ir Juodųjų Lakajų ežero vandens lygį (1939–1953 m.) matavo Lakajos stotis; 1945–1957 m. veikė Mindūnų stotis, matavusi Baltųjų Lakajų vandens lygį ir vandens paviršiaus temperatūrą.

Žeimenų ežeras ( $f = 4,5 \text{ km}^2$ ) telkšo dviejų rinų sankirtoje ir yra žemiausia (138,3 m BS) didelio ( $766,7 \text{ km}^2$ ) ežeryno grandis. Dėl šios priežasties ežeras yra itin pratakus ( $K_L = 0,6\%$ ), iš jo išteka Žeimenos upė. Pastarosios nuotėkį nuo 1961 m., o Žeimenų ežero vandens lygį nuo 1960 m. iki šiol matuoja (be pertraukų) Kaltanėnų stotis.

## DUOMENYS IR METODIKA

Tirtųjų ežerų metinio vandens balanso struktūrą apibūdinta ši lygtis:

$$P + I = E + O \pm S; \quad (1)$$

čia  $P$  – krituliai, iškrentantys tiesiog ant ežero vandens paviršiaus,  $I$  – prietaka (paviršinė ir požeminė) į ežerą,  $E$  – garavimas iš vandens paviršiaus,  $O$  – nuotėkis iš ežero,  $S$  – vandens akumuliacija ežere per metus.

Kritulius įvertinome pagal šalia ežerų esančių meteorologijos stočių (Tauragnų, Trakų, Mindūnų ir Ignalinos) duomenis, kuriuos patikrinome, o esant būtinybei pataisėme arba užpildėme spragas remdamiesi aukštesnės kategorijos meteorologinių stočių duomenimis.

Garavimą nuo Tauragno ir Trakų ežerų vandens paviršiaus apskaičiavome kas mėnesį taikydami Rusijos hidrologijos instituto formulę. Būtinai parametrai įvertinti pagal ežerų vandens paviršiaus temperatūrą ir Utenos bei Trakų Vokės meteorologijos stočių duomenis. Šių skaičiavimų metodika išdėstyta ankstesniame mūsų darbe (Kilkus, 2001), todėl aptarsime tik naujoves, pritaikytas Lakajų ir Žeimenų ežerams. Garavimas iš pastarųjų apskaičiuotas pagal ryšį su vandens paviršiaus temperatūra (anksčiau nustatyta Tauragno ežerui) ir išskirtas mėnesių grupes (1 lentelė).

Paviršinis nuotėkis iš Lakajų sistemos ir Žeimenų ežero apskaičiuotas pagal Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos stočių (Lakajos ir Kaltanėnų) duomenis, o iš Tauragno ir Trakų ežerų – panaudojus ištakų debitų kreives, api-

1 lentelė. Ryšys tarp garavimo nuo vandens paviršiaus  $E$  (mm) ir vandens paviršiaus temperatūros  $T$  (°C) pagal mėnesių grupes  
Table 1. Relationships between evaporation  $E$  (mm) from free water surface and water temperature  $T$  (°C) for different months

Mėnesiai Months	Regresijos lygtis Regression line	Koreliacijos koeficientas Correlation coefficient
balandis–gegužė april–may	$E = 4,43 T - 1,3$	0,86
birželis–liepa june–july	$E = 9,8 T - 75$	0,83
rugpjūtis–rugsėjis august–september	$E = 7,21 T - 27$	0,81
spalis–gruodis october–december	$E = 4,51 T + 19$	0,79

būdinančias ryšį tarp vandens lygio ežeruose ir vandens debito ištakose; nuotėkis apskaičiuotas mėnesio intervalu pagal vidutinį vandens lygį (Kilkus, 1988; 2001). Vandens akumuliacija ežeruose per metus įvertinta pagal vandens lygio skirtumus iki kiekvienų metų sausio 1 d., priskiriant šiai datai penkių paeiliui dienų vandens lygio vidurkį.

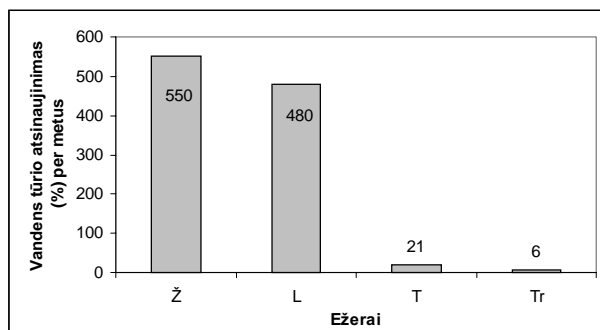
Vandens prietaka į ežerus (paviršinė ir požeminė) kasmet apskaičiuota pagal vandens balanso lygties liekaną. Gauti Tauragno ir Trakų ežerų rezultatai patikslinti įvertinus vandens nuostolį dėl filtracijos (Kilkus, 2001). Visų vandens balanso komponentių vidurkiai apskaičiuoti: 1956–1992 m. – Tauragno, 1954–1981 m. – Trakų ežerų, 1947–1956 m. – Lakajų sistemos ir 1961–1999 m. – Žeimenų ežero.

Komponentė mm Constituent, mm	Ežeras (ežerų sistema) Lake (system of lakes)			
	Žeimenys	Lakajai	Tauragnas	Trakų
Krituliai Precipitation	665	582	687	710
Suminė prietaka Total inflow	38 075	5 926	3 801	696
Garavimas Evaporation	562	562	596	700
Paviršinis nuotėkis Surface outflow	38 201	5 938	1 126	184
Požeminis nuotėkis Outseepage	–	–	2 766	522

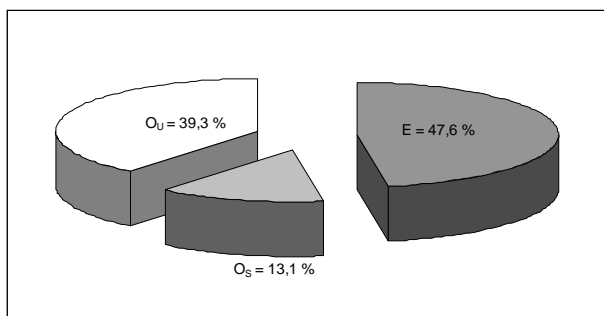
## REZULTATAI IR JŲ APITARIMAS

Ežerų vandens balanso vertikalųjų komponentių – kritulių ir garavimo – vidutinės metinės vertės yra labai panašios (2 lentelė) ir skirtumai, matyt, būtų dar mažesni, jei sutaptų skaičiuojamųjų laikotarpių trukmė. Kitaip yra su horizontaliosiomis vandens balanso komponentėmis – prietaka ir nuotėkiu, kurių santykinės vertės (sluoksniai) priklauso nuo ežero ploto rodiklio: pastarajam didėjant, prietaka ir nuotėkis mažėja, todėl ilgėja ežero vandens masės atsinaujinimo laikas (1 pav.), pavyzdžiui, Trakų sistemoje jis siekia 16–17 metų, o Žeimenų ežere – tik 2 mėnesius.

Pagal vandens balanso lygties liekaną apskaičiuotieji prietakos į Žeimenų ir Lakajų sistemos ežerus hidromoduliai (atitinkamai 8,7 ir 8,9 l s<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup>) gerai dera su metinio nuotėkio izolinijų žemėlapiu (Gailiūšis, Jablonskis, Kovalenkovičienė, 2001), taigi galima teigti, kad ežerai priklauso regioniniam dre-



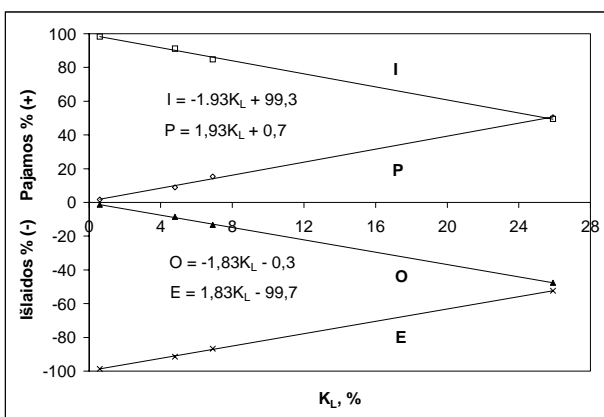
1 pav. Žeimenų (Ž), Lakajų (L), Tauragno (T) ir Trakų (Tr) ežerų vandens tūrių atsinaujinimas per metus  
Fig. 1. Annual water renewal rate of Lake Žeimenys (Ž), Lakajai Lakes (L), Lake Tauragnas (T) and Trakai Lakes (Tr)



2 pav. Trakų sistemos ežerų vidutinio metinio vandens balanso išlaidų struktūra:  $E$  – garavimas iš vandens paviršiaus,  $O_S$  – paviršinis nuotėkis,  $O_U$  – požeminis nuotėkis (filtracija)

Fig. 2. Outcome part of mean annual water balance of Trakai Lakes:  $E$  – evaporation,  $O_S$  – surface outflow,  $O_U$  – outseepage

nažo lygmeniui (Drwal, 1985), be to, nemaitina požeminio vandens sluoksnių. Kitaip yra takoskyrinuose Tauragno ir Trakų sistemos ežeruose. Jei pasirinksiame prielaidą, kad iš šių ežerų ištekančios upelės nuplukdo visą juos maitinančių baseinų nuotėkį, vidutinės nuotėkio hidromodulio reikšmės būtų atitinkamai 2 ir 2,5 l s<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup>, t. y. 3,5–4 kartus mažesnės už regionines šių rodiklių vertes. Anksčiau mums pavyko nustatyti, kad Tauragno ežero vandens balanso išlaidose labai svarbi ir požeminio nuotėkio (filtracinė) komponentė (Kilkus, 2001). Įvertinus pastarąją pagal vandens balanso lygties liekaną apskaičiuotoji paviršinė prietaka ir paties ežero suminis nuotėkis (nuotėkio hidromoduliai) jau atitinka re-



3 pav. Ežerų vidutinio metinio vandens balanso komponentių ( $I$  – suminės prietakos,  $P$  – kritulių,  $O$  – suminio nuotėkio,  $E$  – garavimo), išreikštų procentais nuo vandens balanso pajamų ir išlaidų, priklausomybė nuo ežero ploto rodiklio  $K_L$

Fig. 3. Relationships between total inflow ( $I$ ), precipitation ( $P$ ), total outflow ( $O$ ) and evaporation ( $E$ ), expressed as the percentage of total income and total outcome of mean annual water balance, respectively, and lake area – catchment area ratio ( $K_L$ )

gioninį foną. Panašiai yra ir Trakų sistemos ežeruose (2 pav.), t. y. kaip ir Tauragnas jie priskirtini elementariam drenažo lygmeniui (Drwal, 1985).

Įvertinus visą ežerų nuotėkį (paviršinį ir požeminį) galima pastebėti (3 pav.), kad vidutinio metinio vandens balanso struktūra kinta labai dėsningai ir priklauso tik nuo ežero ploto rodiklio  $K_L$ : šiam didėjant mažėja horizontaliųjų vandens apykaitos komponentių dalys ežero vandens balanso pajamose ir išlaidose ir, priešingai, padidėja vertikalųjų komponentių (kritulių ir garavimo) indėlis. Pusiausvyra tarp šių komponentių pasiekama, kai ežero ploto rodiklis  $K_L = 26$ –27%.

## IŠVADOS

1. Takoskyrinių rininių ežerų vandens balanse itin reikšminga gali būti požeminio nuotėkio (filtracinė) komponentė; Trakų ežeryje jai tenka 39%, o Tauragno ežere – net 62% vidutinio metinio vandens balanso išlaidų.

2. Žemiau telkšantys ežerai priklauso regioniniam drenažo lygmeniui, todėl jų paviršinis nuotėkis gali būti įvertintas pagal nuotėkio izolinių žemėlapius.

3. Didėjant ežero ploto rodikliui, ilgėja vandens tūrio atsinaujinimo laikas ir mažėja horizontaliųjų vandens apykaitos komponentių santykinės vertės.

Gauta 2003 04 14

Parengta 2004 01 16

## Literatūra

Drwal J. (1985). Jeziora w egzoreicznych systemach pojezierzy mlodoglacjalnych. *Zeszyty naukowe wydziału biologii, geografii i oceanologii uniwersytetu Gdanskiego*. 14: 7–15.

Gailiūšis B., Jablonskis J., Kovalenkoviėnė M. (2001). *Lietuvos upės: hidrografija ir nuotėkis*. Kaunas: Lietuvos energetikos institutas.

Kilkus K. (1988). Trakų ežerų hidrologijos bruožai. J. Tamošaitis, I. Klimkaitė (red.). *Trakų ežerų hidrochemija ir sedimentacijos procesai*. Vilnius: Mokslas.

Kilkus K. (2001). Tauragno ežero vandens balanso struktūros ypatumai. *Geografija*. 37(2): 13–17.

Kęstutis Kilkus, Edvinas Stonevičius

Vilnius University

## WATER BALANCE STRUCTURE OF GLACIAL TUNNEL LAKES

### S u m m a r y

Mean annual water balances for four glacial tunnel lakes and lake systems located in young glacial terrains of East Lithuania have been studied (Table 2). Two lakes (Lake Tauragnas and Trakai Lakes) lay close to the topographical divides and represent an elementary drainage level

showing the first features of a concentrated outflow form and also feeding the underground water circulation in the lakeland hydrographic systems. The mean annual surface outflow of such lakes is especially low and takes 2–2.5 litres per second per 1 km<sup>2</sup> only, but, on the other hand, the outseepage contributes to the distribution of water surplus significantly and takes up to 39% and 62% of the total water losses of Lake Tauragnas and Trakai Lakes, respectively (Fig. 2). The last two lakes (Lakajai Lakes and Lake Žeimenys) belong to the regional drainage level, and their principal function is to collect surface and underground water to the system they are integrated in; the outflow of the lakes has fully developed regional features.

The water balance structure of the lakes depends on the lake area – catchment area ratio: an increase of the latter leads to a decrease of the percentage of horizontal constituents in both parts of the total income and the total outcome, respectively (Fig. 3). It is easy to note that the equilibrium between the vertical and the horizontal constituents of the balance becomes settled (as the diagram shows by points of intersecting curves) at a value of the ratio of 26–27%. Due to the slow rate of horizontal water exchange and great water volumes of the glacial tunnel lakes located close to the topographical divides, the annual water renewal rate of the lakes decreases exponentially as the value of lake area–catchment area ratio increases (Fig. 1).