# Tauragno ežero vandens balanso struktūros ypatumai

**Kęstutis Kilkus**

*Vilniaus universitetas*
*El.paštas: kestutis.kilkus@.gf.vu.lt*

## ĮVADAS

Paskutiniojo žemyninio apledėjimo pakraštinių darinių zoną raižo labai specifiškos morfoskulptūros, kurias vokiečių geomorfologas P. Woldstedtas praeito šimtmečio pradžioje pavadino rinomis. Bendras jų ilgis Lietuvoje siekia apie 2300 km (Garunkštis, 1975). Vienos rinos yra sausos, nes buvo nudrenuotos formuojantis hidrografiniam tinklui tuoj poledynmečiu, kitos užpelkėjo, o trečiose iki šiol telkšo ežerai. G. Hutchinsonas (1957) juos išskyrė į atskirą genetinį tipą ir pavadino ledo tunelių ežerais (angl. *glacial tunnel lakes*), o Č. Kudaba (1983) – dubakloniais. Tauragnas yra kaip tik toks ežeras (vandens paviršiaus plotas 5,1 km$^2$, ilgis 9,5 km, vidutinis plotis 0,54 km, didžiausias ir vidutinis gylis – atitinkamai 60,5 m ir 18,7 m). Ežerą maitinantis baseinas yra ganėtinai didelis (68,5 km$^2$) ir vandeningas (metinio nuotėkio norma siekia 8,5 l/s km$^2$), tačiau ištekanti Tauragnos upelė nuolat išdžiūsta, ir jos metinis nuotėkis yra itin žemas (2,5 l/s km$^2$). Šitokia hidrologinė anomalija yra gana paradoksali, nes ežero dubuo privalėtų drenuoti net ir gilius tarpsluoksninius vandenis (Galčienė, 1974), t. y. nuotėkis, priešingai, turėtų būti anomaliai didelis. Kadangi hidrogeologinė informacija yra skurdi ir labai generalizuota, anomalijos priežastims tirti buvo pasitelkti hidrologiniai metodai. Šiame straipsnyje pateikiami pagrindiniai šio tyrimo rezultatai.

## DUOMENYS IR METODAI

Tirtas Tauragno ežero metinis vandens balansas per 1956–1992 m. laikotarpį. Pirmajame tyrimo etape priėmėme hipotezę, kad metinio vandens balanso struktūrą apibūdina ši lygtis:

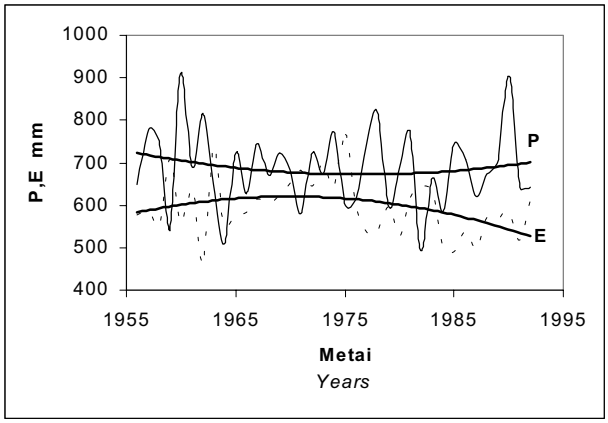
$$P + I = E + O_S \pm S; \qquad (1)$$

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

Kritulius įvertinome pagal šalia ežero esančios Tauragnų hidrometeorologinės stoties matavimų duomenis, kuriuos patikrinome remdamiesi aukštesnės kategorijos Utenos meteorologinės stoties duomenimis (koreliacijos koeficientas $r$ = 0,87). Metinių kritulių sumos (1 pav.) kito nuo 493 iki 909 mm (variacijos koeficientas $C_V$ = 0,14), o jų vidurkis ($P''$) per tirtus 37 metus siekė 687 mm.

Garavimą iš vandens paviršiaus ($E$) apskaičiavome mėnesio intervalais pagal *Penmano* tipo formulę:

$$E = 0{,}14n\ (e_0 - e_{200})\ (1 + 0{,}72\ w_{200}); \qquad (2)$$



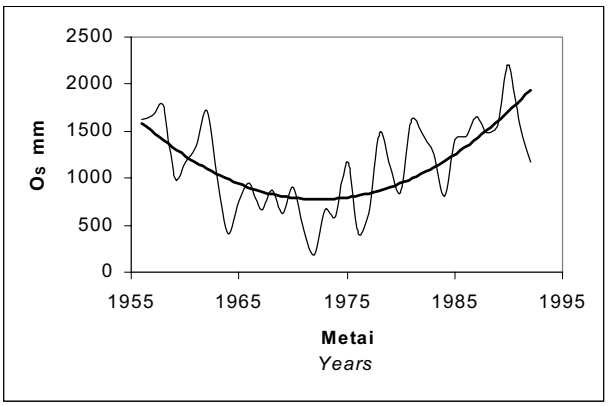

1 pav. Metinės kritulių sumos ($P$) (ištisinė linija) ir garavimo ($E$) (punktyrinė linija) daugiamečiai svyravimai bei trendai (storos linijos) Tauragno ežere
Fig. 1. Long-term fluctuations and trends (bold lines) of precipitation $P$ (solid line) and evaporation $E$ (dashed line) in Lake Tauragnas

čia $n$ – dienų skaičius mėnesyje; $e_0$ – vandens garų maksimalus stangrumas, įvertintas pagal Tauragno ežero vandens paviršiaus temperatūrą (Tauragnų hidrologinės stoties duomenys); $e_{200}$ ir $w_{200}$ – atitinkamai oro drėgmė ir vėjo greitis 200 cm aukštyje virš ežero vandens paviršiaus; pastarieji parametrai įvertinti pagal Utenos meteorologinės stoties duomenis, juos transformuojant Tauragno ežero sąlygoms (Bogoslovskij, Samochin, Ivanov, Sokolov, 1984). Garavimas per 1956–1992 m. laikotarpį kito nuo 458 iki 766 mm ($C_V$ = 0,12), o daugiametis vidurkis $E''$ = = 596 mm. Pažymėtina, kad garavimo daugiametės kaitos trendai yra priešingi kritulių trendams (1 pav.).

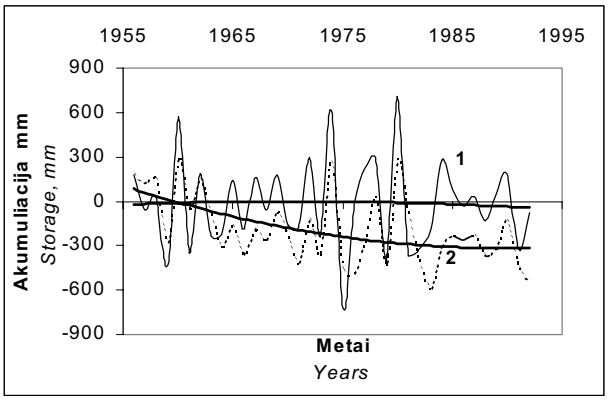
Paviršiniam nuotėkiui iš ežero apskaičiuoti panaudojome ištakos (Tauragnos upelės) debitų kreivę, apibūdinančią ryšį tarp vandens lygio ežere (Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos 1956–1992 m. sistemingi duomenys) ir vandens debito ištakoje (autoriaus atlikti epizodiški matavimai). Nuotėkis apskaičiuotas mėnesio intervalais pagal vidutinį vandens lygį ežere. Metinis nuotėkis (2 pav.), išreikštas ežero vandens sluoksniu, kito nuo 188 iki 2197 mm ($C_V$ = 0,41), o jo vidurkis $O''_S$ = 1126 mm.

Vandens akumuliacija ežere per metus apskaičiuota pagal vandens lygio skirtumus iki kiekvienų metų sausio 1 d., priskiriant šiai datai penkių paeiliui einančių dienų (gruodžio 30 d. – sausio 3 d.) vandens lygio vidurkį. Šia procedūra bandyta eliminuoti atsitiktines matavimų klaidas bei vandens lygio deniveliacijų nulemtus efektus. Metinė akumuliacija per tiriamąjį laikotarpį buvo beveik stacionari, tačiau kumuliatyvinė akumuliacija, taigi ir vandens atsargos ežere, progresyviai mažėjo (3 pav.).

Suminę prietaką į ežerą (toliau ją vadinsime fiktyvia prietaka ($I_1$)) apskaičiavome pagal (1) lygties liekaną kiekvieniems metams. Jos daugiamečiai svyravimai ir ypač trendai panašūs į paviršinio nuotėkio iš ežero pokyčius, o vidutinė reikšmė $I''_1$ = 1023 mm.




2 pav. Tauragno ežero paviršinio nuotėkio ($O_S$) daugiametė kaita bei trendai (stora linija)
Fig. 2. Long-term fluctuations and trends (bold line) of surface outflow of Lake Tauragnas




3 pav. Metinės (*1*) ir kumuliatyvinės (*2*) akumuliacijos kaita Tauragno ežere
Fig. 3. Changes in the annual (*1*) and cumulative (*2*) storages of Lake Tauragnas

## PIRMINĖS DARBO HIPOTEZĖS PANEIGIMAS

Pirmajame tyrimo etape gauta suminė prietaka į Tauragno ežerą $I''_1$ = 1023 mm negalėjo mūsų tenkinti, nes ji atitiktų metinio nuotėkio hidromodulį $M''_1$ = = 2,4 l/s km$^2$, kuris būtų 3,5 karto mažesnis už rajoninę nuotėkio normą (Macevičius, 1969). Pastarąją galima dar pakoreguoti pagal J. Jablonskio ir R. Janukėnienės (1978) pasiūlytą empirinę formulę:

$$I''_2 = 0{,}95\ P'' - 370. \qquad (3)$$

Įtraukę į ją realų kritulių kiekį ($P''$ = 687 mm) ir išreiškę apskaičiuotąją prietaką iš baseino ežero vandens sluoksniu, gautume $I''_2$ = 3801 mm. Nedermė su $I''_1$ yra milžiniška ir jos neįmanoma paaiškinti apskaičiavimų klaidomis (atskirų metų $I_1$ apskaičiavimo klaida neturėtų viršyti 30%, o vidurkio $I''_1$, suprantama, yra dar mažesnė). Rezultatų skirtumą galima paaiškinti tik tuo, kad (1) lygtimi apibūdinta vandens balanso struktūra yra nereali ir stokoja dar vieno svarbaus vandens išlaidų elemento – filtracijos iš ežero ($O_U$) (požeminio nuotėkio). Įvertinus pastarąją, Tauragno ežero vandens balanso struktūra per daugiametį laikotarpį turėtų atrodyti šitaip:

$$I'' + P'' = E'' + O''_S + O''_U. \qquad (4)$$

Tarę, kad mūsų anksčiau apskaičiuotieji $P''$, $E''$, $O''_S$ ir $I''_2$ tenkina vidutinio daugiamečio laikotarpio sąlygas, iš (3) lygties liekanos gauname $O''_U$ = 2766 mm, t. y. ežero požeminis nuotėkis yra daugiau nei 2 kartus didesnis už paviršinį nuotėkį, kuris išplaukia Tauragnos upele. Ar tai realu?

Atsakyti į šį klausimą padeda ežero vandens balanso tiksliniai tyrimai, atlikti vasaros nuosėkio laikotarpiais be kritulių, kai paviršiniai intakai yra vi-

sai išdžiūvę. Trumpalaikę vandens balanso struktūrą galima apibūdinti šitaip:

$$I_U - O_S - O_U - E = \pm S \quad (5)$$

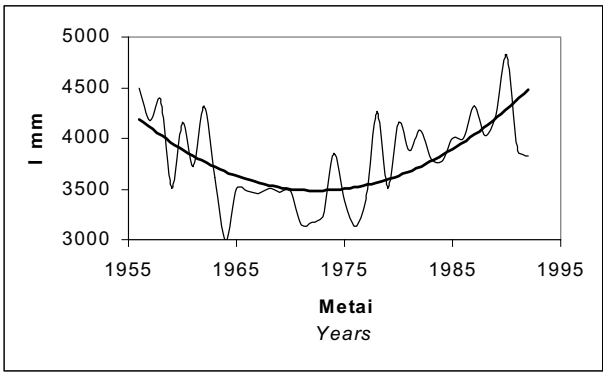
arba

$$I_U - O_U = E + O_S \pm S. \quad (6)$$

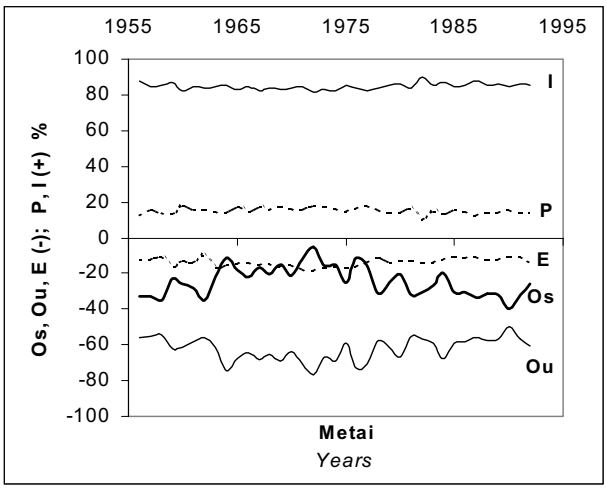
Nors pagal (5) lygties liekaną mes galėjome įvertinti tik rezultatyvią filtraciją (požeminė prietaka į ežerą ($I_U$) minus požeminis nuotėkis iš ežero ($O_U$)), vis dėlto pastebėjome (Kilkus, 1989; 1998), kad itin sausomis vasaromis, pavyzdžiui, 1975 m., ji buvo neigiama, t. y. $O_U$ nuostoliams padengti jau nepakako požeminės prietakos ($I_U$) (ji lieka nežinoma), todėl buvo eikvojamos statinės ežero vandens atsargos ($S$ = – 730 mm; 3 pav.). Apie filtracijos galimybę ir net filtracinių srautų kryptį galima spręsti iš kaimyninio Pliaušio ežero, telkšančio 15 m žemiau Tauragno ežero ir turinčio tik vieno km$^2$ baseiną, nuotėkio, kuris yra anomaliai didelis ir net sausą vasarą siekia 25 l/s km$^2$. Gruntinio vandens veidrodžio nuolydis ir šaltinių išsidėstymas Pliaušio ežero duburyje byloja, kad didžioji dalis vandens yra „pasiskolinta“ iš Tauragno (Kilkus, 1998). Dar didesnis „skolininkas“ yra Pakaso ežeras, drenuojantis Tauragno ežerą ir formaliai (per efemeriškai tekančią Tauragnos upelę), ir realiai: požeminės prietakos hidromodulis vasarą yra anomaliai didelis ir siekia 20 l/s km$^2$ (Kilkus, 1989), o tai yra 5–6 kartus daugiau už rajoninę normą.

## REZULTATŲ APTARIMAS

Kadangi požeminio nuotėkio (filtracijos) iš Tauragno ežero faktas nekelia abejonių, vidutinio daugiamečio vandens balanso struktūrą galima apibūdinti lentelėje pateiktais skaičiais. Koks yra požeminis nuotėkis konkrečiais metais? Atsakyti į šį klausimą be




4 pav. Suminės (paviršinės ir požeminės) prietakos ($I$) į Tauragno ežerą daugiamečiai svyravimai ir trendai
Fig. 4. Long-term fluctuations and trends of total (surface and underground) inflow $I$ to Lake Tauragnas

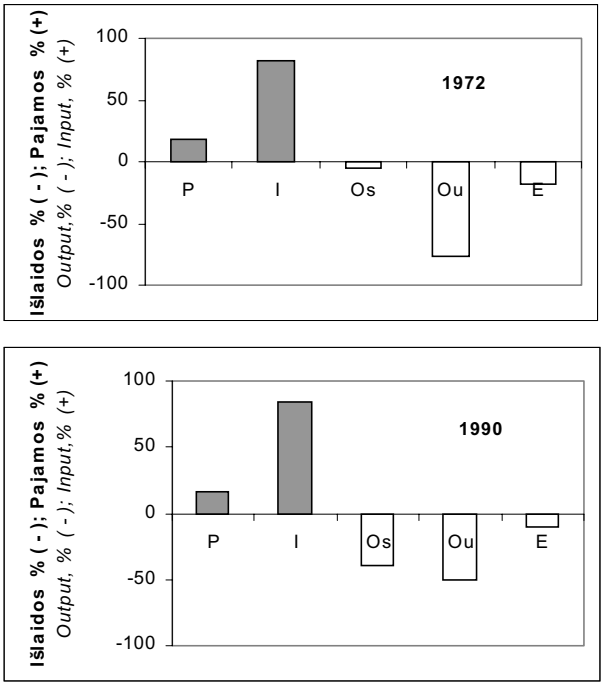



5 pav. Tauragno ežero vandens balanso komponenčių (kritulių ($P$) ir suminės prietakos ($I$) – % nuo pajamų dalies; garavimo ($E$), paviršinio nuotėkio ($O_S$), požeminio nuotėkio ($O_U$) – % nuo išlaidų dalies) daugiamečiai svyravimai
Fig. 5. Long-term fluctuations of water balance constituents of Lake Tauragnas; precipitation $P$ and total inflow $I$ are expressed as percentage of total input (+); evaporation $E$, surface outflow $O_S$ and outseepage $O_U$ are expressed as percentage of total output (–)

Lentelė. **Tauragno ežero vidutinis metinis vandens balansas**
Table. **Mean annual water balance of Lake Tauragnas**

| Pajamos<br>Income | | | Išlaidos<br>Outcome | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Komponentė<br>Constituent | mm | % | Komponentė<br>Constituent | mm | % |
| Krituliai<br>Precipitation | 687 | 15,3 | Garavimas<br>Evaporation | 596 | 13,3 |
| Suminė prietaka<br>Total inflow | 3801 | 84,7 | Paviršinis nuotėkis<br>Surface outflow | 1126 | 25,1 |
| – | – | – | Požeminis nuotėkis<br>Outseepage | 2766 | 61,6 |
| Iš viso<br>Total | 4488 | 100 | Iš viso<br>Total | 4488 | 100 |

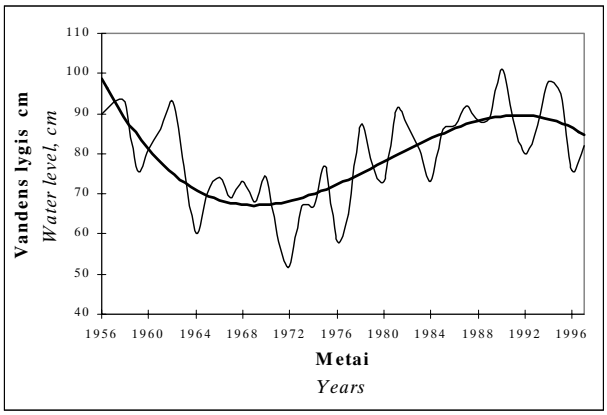
specialios hidrogeologinės informacijos kol kas neįmanoma, todėl tenka priimti hipotezę, kad $O_U$ = = const. = 2766 mm. Taigi būtent šitokiu dydžiu reikia padidinti anksčiau apskaičiuotą pagal (1) lygties liekaną fiktyviąją prietaką į ežerą ($I_1$) kiekvienais metais, kad ji taptų realia prietaka ($I_2$). Pastarosios daugiamečių svyravimų trendai nuo šito nepasikeičia (4 pav.), tačiau vandens balanso struktūros santykinė išraiška keičiasi iš esmės (5 pav.): bendrosios prietakos dalis vandens pajamose stabilizuojasi, o nuotėkio komponenčių santykis vandens išlaidose tampa priklausomas nuo metų vandeningumo (6 pav.).




6 pav. Tauragno ežero vandens balanso struktūra sausais (1972) ir vandeningais (1990) metais
Fig. 6. Water balance structure of Lake Tauragnas in dry (1972) and wet (1990) years

Požeminė filtracija ežero vandens balanse yra itin reikšminga, kai iš eilės eina keli mažo vandeningumo metai. Tokiais laikotarpiais labai krinta ežero vandens lygis (7 pav.), o Tauragnos upelė tampa sausvage. Antai 1956–1976 m. ežeras visai neturėjo paviršinio nuotėkio, t. y. formaliai buvo uždaras apie 40 mėnesių (16–17% viso laikotarpio trukmės).

Ar Tauragno ežero atvejis yra specifinis? Taip, bet ne išskirtinis. Kiek galima spręsti iš turimų duomenų (Kilkus, 1988), panašią vandens balanso struktūrą turi ir persikertančių rinų sistema, kuri tradiciškai yra vadinama Trakų ežerais (Akmena, Galvė, Skaistis ir kt.). Kita vertus, žinomi rininiai ežerai (Vilkokšnis, Virintos aukštupio ežerai), esantys panašioje geomorfologinėje aplinkoje, tačiau turintys




7 pav. Tauragno ežero vidutinio metinio vandens lygio svyravimai ir trendai
Fig. 7. Long-term fluctuations and trends of mean annual water level of Lake Tauragnas

anomaliai didelę požeminę prietaką (Kilkus, 1989). Taigi priežastys glūdi, matyt, labai margoje kvartero darinių hidrogeologijoje, kuri tokiame erdvės mastelyje, kokiame yra minėtieji ežerai, dažnai yra nenuspėjama.

## IŠVADOS

1. Vertinant Tauragno ežero vandens masės visos apykaitos (atsinaujinimo) laiką ir su juo susijusius procesus, būtina įvertinti ir filtraciją: apykaitos laikas, apskaičiuotas pagal ežero tūrio ir paviršinio nuotėkio santykį, būtų 17 metų, o įskaitant filtraciją – tik 5 metai.

2. Baseino ežeringumą įvertinantys koeficientai, kurie yra naudojami inžineriniuose nuotėkio skaičiavimuose, dažnai neturi jokios hidrologinės prasmės, nes įvertina tik paviršinio nuotėkio transformaciją. Ežerai yra aktyvūs „nuosavo“ nuotėkio gamintojai, ir jų hidrologinis vaidmuo tame pačiame upės baseine gali iš esmės skirtis.

3. Neįvertinus požeminės filtracijos, ežero vandens išteklių valdymas ir naudojimas, pavyzdžiui, ežerą patvenkus, gali būti apsunkintas ir net neįmanomas.

Gauta 2001 08 23
Parengta 2001 11 16

**Literatūra**

Bogoslovskij B. B., Samochin A. A., Ivanov K. E., Sokolov D. P. (1984). *Obščaja gidrologija*. Leningrad: Gidrometeoizdat.
Galčienė J. (1974). Vriezy oziornych kotlovin v Jugo-Vostočnoj Litvie. *Trudy LitNIGRI*. *27*: 55–59.
Garunkštis A. (1975). *Sedimentacionnyje procesy v oziorach Litvy*. Vilnius: Mokslas.

Hutchinson G. E. (1957). *A treatise on limnology*. New York: John Wiley & Sons.
Jablonskis J., Janukėnienė R. (1978). *Lietuvos upių nuotėkio kaita*. Vilnius: Mokslas.
Kilkus K. (1988). Trakų ežerų hidrologijos bruožai. J. Tamošaitis, I. Klimkaitė (red.). *Trakų ežerų hidrochemija ir sedimentacijos procesai*. Vilnius: Mokslas.
Kilkus K. (1989). *Lietuvos ežerų hidrologija*. Vilnius: Mokslas.
Kilkus K. (1998). Hydrogeological approach in limnology. *Limnological Research. 1*: 51–59.
Kudaba Č. (1983). *Lietuvos aukštumos*. Vilnius: Mokslas.
Macevičius J. (1969). *Lietuvos upių hidrologinių charakteristikų skaičiavimo metodai*. Kaunas: KPI leidykla.

**Kęstutis Kilkus**

**PECULIARITIES OF THE WATER BALANCE STRUCTURE OF LAKE TAURAGNAS**

S u m m a r y

Lake Tauragnas is the deepest (maximum depth 60.5 m) in Lithuania, and it a is *rinnen* or, according to Hutchinson, a *glacial tunnel* lake in origin. Its basin cuts through the glacial deposits (morains) of the Wurm and Riss glacials, and even deep confined aquifers might be drained by the lake. As such a logical supposition contradicted the data of especially low outflow through the surface outlet (Tauragna River), detail water balance studies of the lake have been carried out. Yearly water balances for the period 1956–1992 have been calculated. The components of the balances were estimated or calculated on the basis of direct data (records of precipitation and water stage) or the procedures requiring such data (water surface temperature and meteorological parameters for the estimates of evaporation; discharges of the outflowing Tauragna River which have been used for the lake water stage-outlet discharge graph and the estimates of monthly outflow, consequently), and only the total inflow into the lake was calculated as a residual of water balance equation. The latter results were adjusted later on the mean value of seepage losses which had been evaluated by the mean annual water balance method as the difference between total output and total input. Outseepage is a characteristic feature of Lake Tauragnas and takes about 62% of total losses. That is why the water renewal time calculated as the ratio between lake water volume and mean annual surface outflow volume is not real, and the seepage losses should be included in the calculation. The seepage losses become more significant, especially in case of several-year-long sequences of dry years resulting in an extremely low water level of the lake and dry bed of the outflowing river. So, during the period 1956–1976 Lake Tauragnas was lacking the surface outflow, *i.e.* was a closed lake, formally for 40 months. The influence of the outseepaging flow on the water balance of the lakes located close to Lake Tauragnas is also discussed, and the conclusion is been made that the hydrological role of lakes lying in the same catchment can be quite different and dependent on micro-scale hydrogeology.