ISSN 1648–6897
JOURNAL OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
AND LANDSCAPE MANAGEMENT
http:/www.vtu.lt/english/editions

2005, Vol XIII, No 3, 132–140

MINERALINIO AZOTO IR FOSFATŲ SRAUTŲ UPIŲ VANDENYJE POKYČIAI ĮVAIRAUS VANDENINGUMO LAIKOTARPIAIS

Lina Bagdžiūnaitė-Litvinaitienė

Hidraulikos katedra, Vilniaus Gedimino technikos universitetas,
Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius-40, Lietuva, el. paštas: hk@ap.vtu.lt

Įteikta 2005 01 10, priimta 2005 05 11

Santrauka. Biogeninės medžiagos, kaip labiausiai apibūdinančios vandens kokybės būklę, nagrinėjamos medžiagų srautais. Tačiau analizuojant mokslinę literatūrą pastebėta, kad medžiagų srautai skaičiuojami skirtingais metodais. Todėl vienas iš straipsnio tikslų yra išnagrinėti įvairius biogeninių medžiagų srautų skaičiavimo metodus ir palyginti skirtumus. Išnagrinėti keturi biogeninių medžiagų skaičiavimo metodai. Esminis jų skirtumas yra laikotarpis, per kurį skaičiuojamas nuotėkio tūris, turintis didelės įtakos srautų dydžiui.
Lietuvai įstojus į Europos Sąjungą pagrindinis dokumentas, apibrėžiantis vandens kokybės nustatymo bei valdymo prioritetus, yra Bendroji vandenų direktyva (2000/60/EB), kurioje numatyta optimizuoti vandens mėginių ėmimo per metus skaičių. Todėl kitas šio straipsnio tikslas – nustatyti vandens mėginių ėmimo skaičiaus mažinimo galimybes. Kaip statistinis parametras analizei pasirinktas variacijos koeficientas, rodantis biogenų koncentracijos svyravimus per tam tikrą laiką. Pagal gautus rezultatus nustatytos vandens mėginių ėmimo mažinimo galimybės apskaičiuojant mineralinio azoto ir fosfatų koncentracijas paviršiniuose upių vandenyse.

Raktažodžiai: mineralinis azotas, fosfatai, biogeninių medžiagų srautai, nuotėkio tūris, variacijos koeficientas.

FLUCTUATIONS OF MINERAL NITROGEN AND PHOSPHATE IN RIVER WATER DURING PERIODS OF VARIOUS WETNESS

L. Bagdžiūnaitė-Litvinaitienė

Dept of Hydraulics, Vilnius Gediminas Technical University,
Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius-40, Lithuania, E-mail: hk@ap.vtu.lt

Received 10 Jan 2005; accepted 11 May 2005

Summary. Biological indicators are the best indicators of water quality, since they are interpretive of a variety of stressors. Analysis of scientific literature shows that substance flows are calculated using different methods. One of the goals of this work is to investigate various methods for calculating biological indicator flows and to compare differences among them. For the four biological substance calculation methods which were studied, an essential difference among them was the period during which the volume of run-off was calculated, that largely influences the size of flows.
Upon Lithuania's entry into the European Union, the Water Framework Directive (2000/60/EC) is the principle document defining priorities in the establishment and management of water quality. It foresees optimizing the number of water samplings per year. Therefore, another goal of this work is to identify possibilities for reducing water sampling frequency. The variation coefficient, as a statistical parameter showing fluctuations in the concentration of biogenic substances over the course of time, was selected for the analysis. Possibilities for reducing water sampling frequency for establishing the concentration of mineral nitrogen and phosphates in river surface waters were determined according to the obtained results.

Keywords: mineral nitrogen, phosphates, biogenic material flows, run-off volume, variation coefficient

1. Įvadas

Bendroji vandenų direktyva (2000/60EB), Nitratų direktyva (91/676/EEB) bei kiti teisiniai dokumentai, reglamentuojantys aplinkosauginius vandenų srities reikalavimus bei nuostatas, – Lietuvai svarbūs dokumentai, kuriais remiantis kuriamas paviršinio vandens baseininis valdymas, siekiant mažinti upių vandens taršą biogeninėmis medžiagomis.

Biogeninės medžiagos, daugelio tyrinėtojų [1–4] duomenimis, daugiausia lemia upių vandens kokybės būklę. Jų koncentracijų kaitos priklausomumą nuo vandeningumo, ūkinės veiklos ar fizinių-geografinių sąlygų tikslinga analizuoti tiriant šių medžiagų srautus, nes tuomet galima palyginti upes, kurių baseinuose gamtinės arba ūkinės veiklos sąlygos skirtingos. Srautais vadinamas medžiagos kiekis (svorio vienetais), vandens tėkmės pernešamas nagrinėjamuose upių skerspjūviuose per tam tikrą laikotarpį. Tačiau analizuojant mokslinę literatūrą pastebėta, kad medžiagų srautai skaičiuojami skirtingais metodais. Dažniausiai – pagal upės vidutinį mėnesio debitą ir vieną momentinę biogeninių medžiagų koncentracijos reikšmę, nustatytą tą mėnesį. Kiti [5] srautus skaičiuoja linijinės interpoliacijos metodu arba linijinės interpoliacijos metodu normalizuojant nuotėkį [6–7]. Daugelis užsienio autorių taiko pirmąjį metodą, atmesdami vandeningumo kaitos galimybes, nes jas įvertinti labai sudėtinga [8–9].

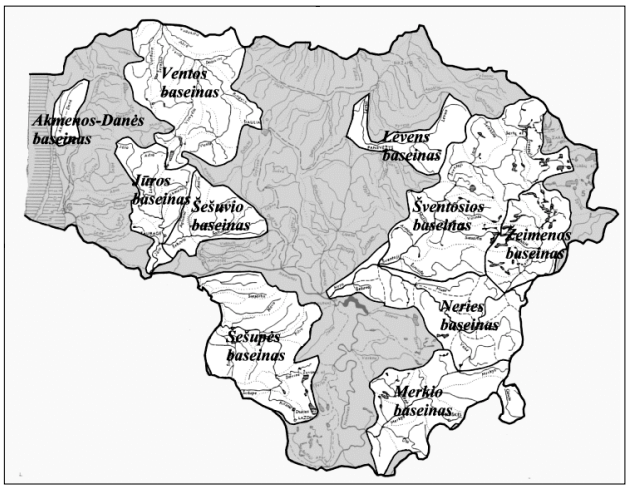
Vykdant į paviršinius vandenis patenkančių teršalų kontrolę remiamasi 1997 m. priimtu LR Aplinkos monitoringo įstatymu, kuriame numatyta vandens mėginius imti kartą per mėnesį, tačiau pagal Bendrąją vandenų direktyvą mėginių skaičių galima mažinti iki vieno karto per 3 mėnesius. Upių baseinai savo savybėmis (fizinėmis-geografinėmis, klimatinėmis sąlygomis bei ūkinės veiklos intensyvumu) labai skirtingi. Todėl būtina analizuoti daugiamečius vandens kokybės duomenis ir nustatyti optimalų vandens mėginių ėmimo skaičių, atsižvelgiant į vykdomo monitoringo rezultatų informatyvumą.

Šio darbo tikslas yra išnagrinėti įvairius biogeninių medžiagų srautų skaičiavimo metodus ir palyginti skirtumus bei nustatyti vandens mėginių ėmimo skaičiaus mažinimo galimybes.

2. Tyrimų objektas ir metodika

Tirti pasirinktos trijų skirtingų Lietuvos hidrologinių sričių upės: Merkys, Šventoji, Žeimena, Neris, Lėvuo, Šešupė, Venta, Akmena-Danė, Jūra ir Šešuvis (1 pav.). Šių upių baseinuose fizinės-geografinės sąlygos įvairios, būdingos visai Lietuvos teritorijai. Detali baseinų charakteristika pateikta ankstesnėse mūsų publikacijose [10].

Straipsnyje nagrinėjama upių vandenyje esančių biogeninių medžiagų (mineralinio azoto ir fosfatų) koncentracijos ir srautai bei upių vandeningumą apibūdinantys debitų ir nuotėkio dydžiai. Darbe panaudoti 1993–2003 m. biogenų koncentracijų duomenys, sukaupti Aplinkos apsaugos agentūroje, bei upių debitų 1974–2003 m. duomenys iš Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos leidžiamų metraščių [11–12]. Taip pat eksperimentui ėmėme vandens mėginius 2003 m. pavasario ir vasaros sezonais Pietryčių Lietuvos upėse, sudažnindami matavimų skaičių iki 3 kartų per mėnesį. Šie eksperimentiniai duomenys leido išsamiau išnagrinėti srautų skaičiavimo metodų ypatumus bei skirtumus.



1 pav. Nagrinėjamų upių baseinai

Fig 1. River basins studied

Skaičiuojant biogeninių medžiagų srautus buvo nagrinėjami 4 metodai. Pirmuoju metodu biogeninių medžiagų srautai S_1 skaičiuojami pagal šią formulę:

$$S_1 = \sum_{i=1}^{n} \frac{C_{ti} \cdot W_{ti}}{1000}, \qquad (1)$$

čia C_{ti} – biogenų koncentracija, nustatyta vieno stebėjimo per mėnesį metu, mg/l; W_{ti} – nuotėkio tūris, apskaičiuotas pagal mėnesio vidutinį debitą, m^3; n – stebėjimų skaičius per nagrinėjamą laikotarpį.

Šis metodas būtų visiškai tikslus, jeigu biogenų koncentracijos visą mėnesį būtų pastovios ir kistų šuoliais tik keičiantis mėnesiui. Kad šios koncentracijų kitimo prielaidos yra artimos realybei, mažai tikėtina. Todėl šiuo metodu apskaičiuotoms biogenų srautų reikšmėms būdinga didelės paklaidos, ypač biogenų, kurių didelis variacijos koncentracijos koeficientas.

Antruoju metodu biogeninių medžiagų srautai S_2 skaičiuojami pagal tokią formulę:

$$S_2 = \sum_{i=1}^{n} \frac{C_{gi} \cdot W_{gi}}{1000}, \qquad (2)$$

čia C_{gi} – biogenų koncentracijų aritmetinis vidurkis, apskaičiuotas iš dviejų gretimų stebėjimų duomenų, mg/l; W_{gi} – nuotėkio tūris, apskaičiuotas pagal vidutinį debito dydį per laikotarpį tarp dviejų gretimų vandens mėginių ėmimų datų, m^3; n – stebėjimų skaičius per nagrinėjamą laikotarpį.

Antrasis metodas yra dviem aspektais patobulintas pirmasis metodas. Pirma, vietoje fiksuotų bazinių laikotarpių (mėnesių) imami laikotarpiai tarp dviejų gretimų

tiriamo biogeno koncentracijos matavimų. Antra, vietoje vienos ar kitos koncentracijos imamas jų vidurkis. Šis metodas visiškai tikslus, jeigu, pavyzdžiui, upės nuotėkis per bazinį laikotarpį nekito, o biogeno koncentracija kito tiesiškai. Nors šios prielaidos iš dalies neatitinka tikrovės (pavyzdžiui, pavasario potvynių metu), tačiau jomis apibūdintas koncentracijų kitimo procesas kai kuriais laikotarpiais (pavyzdžiui, žiemą) gana gerai aproksimuoja realiai vykstantį procesą.

Trečiuoju metodu biogeninių medžiagų srautai S_3 skaičiuojami pagal šią formulę:

$$S_3 = \sum_{i=1}^{n} \frac{C_{li} \cdot W_{li}}{1000}, \qquad (3)$$

čia C_{li} – biogenų koncentracija, nustatyta vieno stebėjimo per mėnesį metu, mg/l; W_{li} – nuotėkio tūris, apskaičiuotas pagal vidutinį debito dydį per laikotarpį, kurio pradžia laikoma 15 dienų iki vandens mėginių ėmimų datos ir 15 (arba 16) dienų po jos, m^3; n – stebėjimų skaičius per nagrinėjamą laikotarpį.

Trečiasis metodas taip pat yra patobulintas pirmasis metodas, nes vietoje fiksuotų bazinių laikotarpių (mėnesių) imami 31 dienos trukmės laikotarpiai, kurių vidurys sutampa su biogeno koncentracijos matavimo data. Natūralu tikėtis, kad laikotarpio viduryje registruota koncentracija geriausiai atspindi viso laikotarpio koncentracijas. Šis metodas visiškai tikslus remiantis ir pirmojo ir antrojo metodų aprašymuose minėtomis prielaidomis. Todėl tam tikra prasme jis yra ir antrojo metodo patobulinimas.

Kadangi Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos metraščiuose pateikiami kiekvienos dienos upių debitai, skaičiuodami nuotėkio tūrį per laikotarpį 15 dienų prieš ir 15 dienų po mėginių ėmimo datų, galime tiksliau įvertinti nuotėkio kaitą per laikotarpius tarp mėginių ėmimų datų.

Ketvirtuoju metodu biogeninių medžiagų srautai S_4 skaičiuojami pagal formulę:

$$S = \frac{Q_1 t\left(C_1 + \frac{\Delta C}{n} j\right) + Q_2 t(C_1 + \frac{\Delta C}{n} j)}{} + \frac{Q_3 t(C_1 + \frac{\Delta C}{n} j) + ... + Q_j t\left[C_1 + \frac{\Delta C}{n} j\right]}{1000}, \qquad (4)$$

čia Q_j – kiekvienos dienos vidutinis debitas, m^3/s; t – paros laikas, s; C_1 – pradinė nagrinėjamo laikotarpio biogenų koncentracija, mg/l; dC – galutinės ir pradinės koncentracijų skirtumai, mg/l; j – dienų eilės numeris, 1, 2 … (n – 1); n – dienų skaičius per nagrinėjamą laikotarpį.

Ketvirtasis metodas (kaip ir antrasis) yra pagrįstas tiesinės interpoliacijos principu. Visos tarpinės tiriamo biogeno koncentracijos reikšmės laikotarpiu tarp dviejų gretimų matavimų apskaičiuojamos remiantis prielaida, kad tuo laikotarpiu koncentracija kito tiesiškai. Jei ši prielaida išpildyta, metodas yra visiškai tikslus. Nors esant staigiems koncentracijų šuoliams šio metodo paklaidos gali būti gana ženklios, tačiau jeigu koncentracijos kinta gluodžiai, jis yra tiksliausias iš visų anksčiau minėtų metodų. Be to, skirtingai negu kiti metodai, jis leidžia nagrinėti kintančius biogenų koncentracijų srautus, neprisirišant prie konkrečių bazinių laikotarpių ir matavimo datų.

Ketvirtasis metodas pasirinktas palyginimui su trimis minėtaisiais metodais todėl, kad, mūsų nuomone, jis matematinės statistikos požiūriu yra tiksliausias.

Norėdami palyginti kelių skirtingo baseinų dydžio upių biogenų srautų duomenis, srautus, apskaičiuotus nagrinėjamuose upių skerspjūviuose, perskaičiavome į srautus, tenkančius 1 km^2 baseino ploto.

Biogeninių medžiagų srautų skaičiavimų metodų palyginamoji analizė atlikta naudojant 1993–2003 m. laikotarpio koncentracijų duomenis. Analizuojant įvairaus vandeningumo laikotarpius, metų vandeningumo tikimybės nustatytos remiantis 1973–2003 m. upių debitų duomenimis. Metai pagal upių vandeningumą skiriami į tris grupes: vandeningi (iki 33 % tikimybės), vidutinio vandeningumo (33–66 % tikimybės) ir mažo vandeningumo (didesnės už 66 % tikimybės) metai.

Vandens mėginių ėmimo skaičiaus mažinimo galimybėms nustatyti taikėme matematinės statistikos metodus. Pagal Bendrąją vandenų direktyvą vandens mėginių ėmimo skaičius per metus gali kisti nuo 4 iki 12 kartų. Skaičiuota biogenų koncentracijų statistiniai parametrai – variacijos koeficientai, turint 12, 8, 6 ir 4 matavimų duomenis per metus. Siekdami išnagrinėti biogenų koncentracijų variaciją įvairaus vandeningumo sezonais bei mėnesiais, rėmėmės upių nuotėkio mėnesinio ir sezoninio pasiskirstymo skirtingo vandeningumo metais tyrimų duomenimis [13]. Nuotėkio pasiskirstymo per sezoną duomenys apskaičiuoti pagal faktinius 38–68 m. laikotarpio duomenis visų upių, esančių 3-ose skirtingose hidrologinėse srityse. Remdamiesi šiais duomenimis ir analizuodami biogenų koncentracijų kaitą, esant mažesniam negu 12 matavimų per metus skaičiui, pasirinkome būdingiausius pagal nuotėkio dydį atitinkamų sezonų mėnesius: atliekant 8 matavimus per metus – sausio, kovo, balandžio, gegužės, liepos, spalio, lapkričio ir gruodžio mėnesius, analizuojant 6 matavimų duomenis – balandžio, gegužės, liepos, spalio, gruodžio ir sausio, o analizuojant 4 matavimų per metus duomenis – balandžio, liepos, spalio ir gruodžio mėnesius.

3. Tyrimų rezultatai

3.1. Biogeninių medžiagų srautų kitimų analizė

Nagrinėjant biogeninių medžiagų srautus, tenka spręsti klausimą, kokiu metodu skaičiuoti srautus, kad gautieji rezultatai labiausiai atspindėtų realią situaciją. Suprantama, biogeninių medžiagų koncentracijų kitimams įtakos turi daugybė veiksnių, juos visus įvertinti sunku, todėl ir srautus skaičiuojant bei juos analizuojant sudėtinga atsižvelgti į visus įtakos turinčius elementus.

Analizavome įvairaus vandeningumo metų pavasario ir vasaros sezonais biogeninių medžiagų srautų skaičiavimo metodus. Juos lyginome apskaičiuodami absoliučiuosius skirtingų metodų skirtumus ir santykinius dydžius procentine išraiška.

Gautieji rezultatai parodė, kad vandeningų metų pavasario sezoną ketvirtuoju metodu apskaičiuotų mineralinio azoto srautų dydžiai yra artimi antruoju metodu apskaičiuotiems dydžiams. Srautų reikšmės skyrėsi nuo 8 iki 27 %. 2 pav. iliustruojami mineralinio azoto srautai, apskaičiuoti skirtingais metodais vandeningų metų pavasario sezoną.

Iš pateiktų duomenų matome, kad Vidurio ir Vakarų Lietuvos upių srautų 3 metodu apskaičiuotos reikšmės labiausiai nutolusios nuo lyginamo 4 metodo rezultatų. Pietryčių Lietuvos upių šie skirtumai kinta nuo 1,10 iki 35,4 kg/km^2, Vidurio Lietuvos upių – nuo 39,9 iki 93,4 kg/km^2, o Vakarų Lietuvos upių – nuo 102,5 iki 188,5 kg/km^2. Vidutinio vandeningumo metais Pietryčių Lietuvos upių mineralinio azoto srautų dydžiai artimiausi dydžiams, apskaičiuotiems 3 metodu. Jie skiriasi nuo 4,75 iki 37,9 kg/km^2, o Vidurio ir Vakarų Lietuvos upių nagrinėjamų medžiagų srautai, apskaičiuoti 4 metodu, artimiausi 1 ir 2 metodų duomenims. Mažo vandeningumo metais visų hidrologinių sričių upių nagrinėjamų medžiagų srautai artimiausi 2 metodo rezultatams. Taigi iš šios analizės galima daryti išvadas, kad mineralinio azoto srautai, nagrinėti įvairiais metodais didelio, vidutinio ir mažo vandeningumo metais pavasario sezoną, artimiausi 1 ir 2 metodu apskaičiuotiems srautų dydžiams.

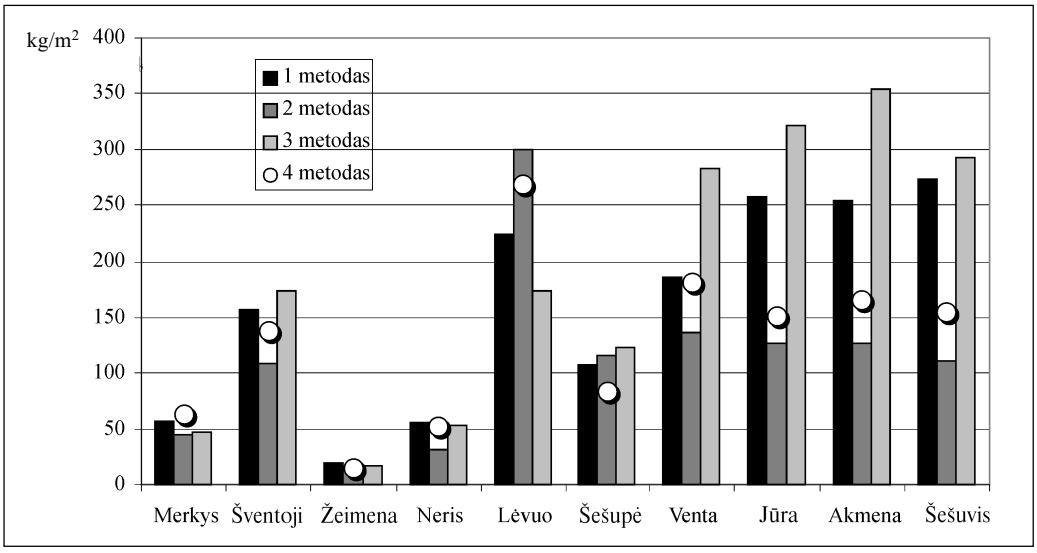
Lyginant 4 metodu apskaičiuotų fosfatų srautų dydžius su gautaisiais kitais trim metodais, nustatyta, kad įvairaus vandeningumo metais pavasario sezoną visose Lietuvos hidrologinėse srityse jie artimiausi srautams, apskaičiuotiems 1 metodu. Vandeningais metais medžiagų srautų Pietryčių Lietuvos upėse dydžiai skyrėsi nuo 0,6 iki 5,5 %, Vidurio Lietuvos upėse – nuo 13 iki 48 %, o Vakarų Lietuvos upėse – nuo 3 iki 15 %. Vidutinio vandeningumo metais fosfatų srautų reikšmės, apskaičiuotos 1 ir 4 metodais, Pietryčių Lietuvos upių, skyrėsi nuo 7 iki 12 %, Vidurio Lietuvos upių – apie 7 %, o Vakarų Lietuvos upių – nuo 3 iki 6 %. Mažo vandeningumo metais fosfatų srautų Pietryčių Lietuvos upėse dydžiai skyrėsi nuo 1 iki 43 %, Vidurio Lietuvos upėse – apie 31 %, Vakarų Lietuvos upėse – apie 27 %.

Apskaičiavus fosfatų vasaros sezoną srautus, gauta, kad įvairaus vandeningumo metais visų Lietuvos hidrologinių sričių upių srautų dydžiai artimiausi apskaičiuotiems 2 ir 4 metodais.

3 pav. pateikti fosfatų srautai, apskaičiuoti skirtingais metodais mažo vandeningumo metais.

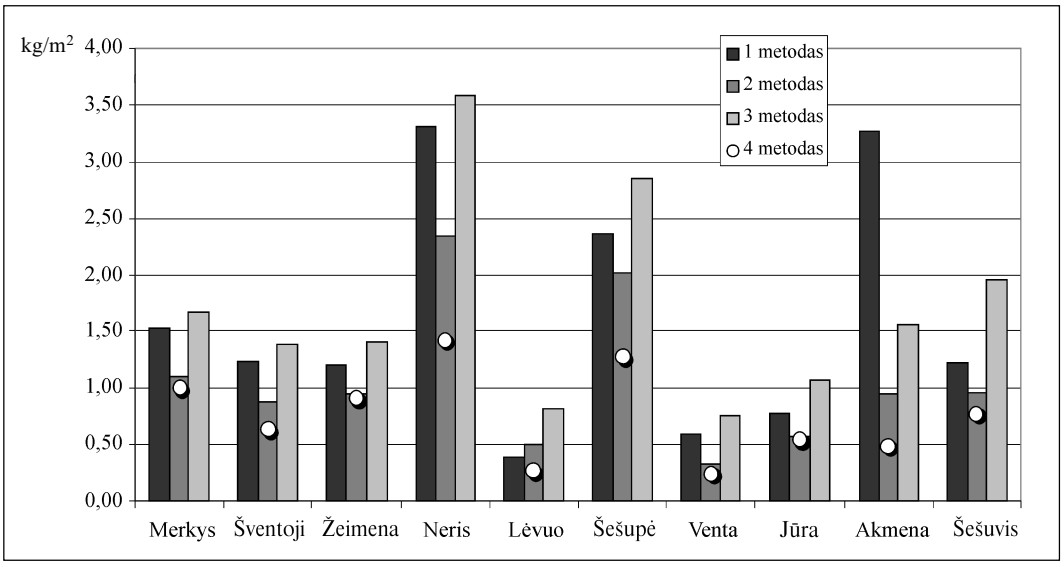
Iš pateiktų duomenų matome, kad skirtumas tarp matematiškai tiksliausiu 4 metodu apskaičiuotų srautų reikšmių ir 2 metodu apskaičiuotų reikšmių kito nuo 4,6 iki 50 %.

Remiantis šios analizės rezultatais, galima teigti, kad pirmuoju ir antruoju metodais apskaičiuoti biogeninių medžiagų srautų dydžiai yra artimiausi dydžiams, apskaičiuotiems mūsų pasirinktuoju tiesinės interpoliacijos metodu. Šiai išvadai patvirtinti naudoti eksperimentinių tyrimų duomenys, gauti 2003 metų pavasario ir vasaros sezonais atlikus tyrimus Pietryčių Lietuvos upėse. Eksperimentinių srautų reikšmės artimiausios matematiškai tiksliausio srautų skaičiavimo metodo reikšmėms. Tyrimų esmė yra tai, kad buvo padidintas mėginių ėmimo skaičius iki 3 kartų per mėnesį. Visais keturiais metodais apskaičiuotieji biogeninių medžiagų srautai tarpusavyje buvo palyginti. Gautieji rezultatai parodė, kad tokių didelių skirtumų tarp metodų nėra, kaip nagrinėjant duomenis, kai imama po 1 mėginį. 4 pav. pateikti pavasario sezoną atliktų eksperimentinių tyrimų rezultatai, iš kurių matyti, kad esant mažesniam upės nuotėkiui, mažesni ir skirtumai tarp mineralinio azoto srautų, skaičiuotų įvairiais metodais.



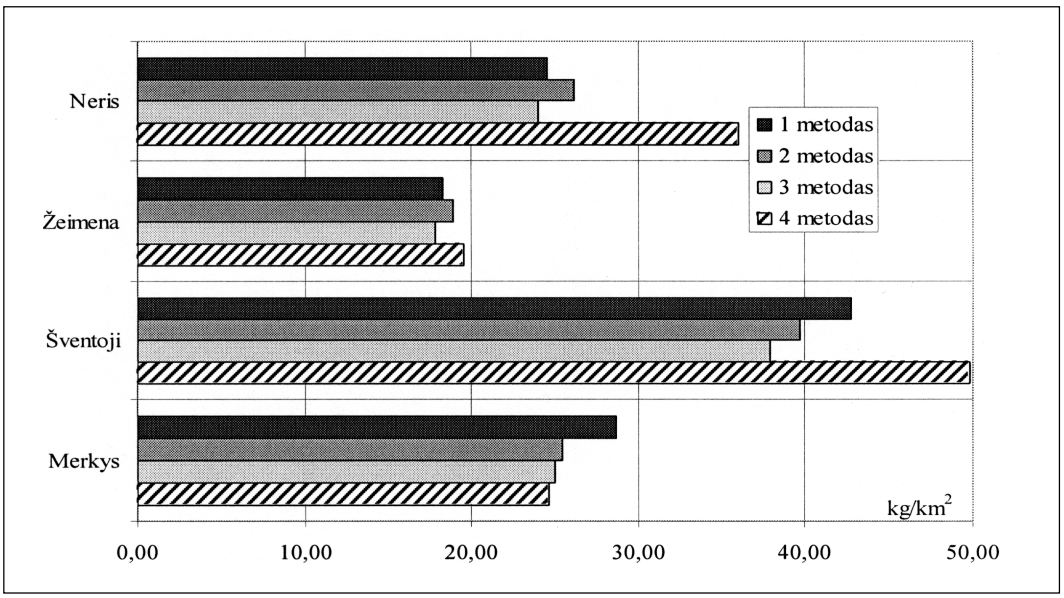
2 pav. Mineralinio azoto srautai, apskaičiuoti įvairiais metodais vandeningų metų pavasario sezoną

Fig 2. Mineral nitrogen flows calculated by various methods during the spring of a wet year



3 pav. Fosfatų srautai, apskaičiuoti įvairiais metodais mažo vandeningumo metais vasaros sezoną

Fig 3. Phosphate flows calculated by various methods during the summer of a dry year



4 pav. Mineralinio azoto srautų kaita 2003 m. pavasario sezoną, imant tris vandens mėginius

Fig 4. Fluctuations in mineral nitrogen flows during the spring of 2003 according to 3 water samplings

Žeimenos ir Merkio mineralinio azoto srautų pavasario sezoną reikšmės, apskaičiuotos įvairiais metodais, nedaug tarpusavyje skiriasi – atitinkamai nuo 0,61 iki 1,69 kg/km^2 ir nuo 0,31 iki 3,97 kg/km^2. Mažiausi srautų Žeimenoje skirtumai gauti apskaičiavus 4 ir 2 metodais, o srautų Merkyje – 4 ir 3 metodais. Tačiau visai priešingi rezultatai gauti nagrinėjant vasaros sezono duomenis. Merkio mineralinio azoto srautų reikšmėms, apskaičiuotoms 4 metodu, artimesni duomenys, gauti apskaičiavus 1 metodu, o Žeimenos – 3 metodu. 1 lentelėje pateiktos įvairiais metodais apskaičiuotos biogeninių medžiagų srautų reikšmės bei santykiniai skirtumai.

Didesni Šventosios ir Neries įvairiais metodais apskaičiuotų mineralinio azoto srautų reikšmių skirtumai. Lygindami ketvirtuoju metodu gautas reikšmes su kitais trim metodais gautomis reikšmėmis, nustatėme, kad mažiausias santykinis skirtumas tiriant Šventosios srautus yra tarp 1 ir 4 metodų duomenų –14 %, o Neries – tarp 2 ir 4 metodų – 27 %. Išnagrinėjus šių upių mineralinio azoto srautų per vasaros sezoną duomenis gauta, kad iš visų srautų skaičiavimo metodų artimiausi yra 2 ir 4 metodų rezultatai, jų santykiniai skirtumai atitinkamai yra 5,9 % ir 12,8 %.

Taigi apibendrinant gautuosius rezultatus galima teig-

1 lentelė. Biogeninių medžiagų srautų skirtumai pavasario ir vasaros sezonais

Table 1. Fluctuations in biogenic substance flows during spring and summer seasons

Upė	1 metodas		2 metodas		3 metodas		4 metodas
	srautai, kg/km^2	santykiniai skirtumai, %	srautai, kg/km^2	santykiniai skirtumai, %	srautai, kg/km^2	santykiniai skirtumai, %	srautai, kg/km^2
	Mineralinis azotas Pavasario sezonas						
Merkys	28,63	16,09	25,49	3,34	24,97	1,25	24,66
Šventoji	42,73	14,26	39,68	20,36	37,92	23,91	49,83
Žeimena	18,29	6,46	18,94	3,13	17,87	8,64	19,55
Neris	24,59	31,71	26,16	27,37	24,03	33,28	36,01
	Vasaros sezonas						
Merkys	13,78	4,06	13,92	5,12	13,82	4,36	13,24
Šventoji	7,23	25,97	9,19	5,92	7,17	26,59	9,77
Žeimena	11,95	20,48	12,55	26,60	11,61	17,02	9,92
Neris	14,59	20,33	15,96	12,83	14,65	20,00	18,31
	Fosfatai Pavasario sezonas						
Merkys	1,67	2,63	1,72	0,45	1,61	5,86	1,71
Šventoji	3,93	46,04	4,70	35,35	3,79	47,86	7,28
Žeimena	0,74	16,28	0,83	5,26	0,72	18,42	0,88
Neris	0,67	37,75	0,74	31,15	0,66	38,54	1,08
	Vasaros sezonas						
Merkys	1,60	9,98	1,74	19,65	1,59	9,44	1,46
Šventoji	1,18	22,37	1,20	24,75	1,18	22,70	0,96
Žeimena	2,14	5,63	2,23	10,15	2,17	7,26	2,03
Neris	2,31	22,07	2,44	17,59	2,41	18,75	2,96

2 lentelė. Mineralinio azoto srautų (kg/km^2) kaitos amplitudės įvairaus vandeningumo metais

Table 2. Amplitudes of mineral nitrogen flows (kg/km^2) during years of various wetness

Upė	Metai		
	vandeningi	vidutiniai	mažo vandeningumo
Merkys	208–263	223–229	155–277
Šventoji	195–573	241–338	130–381
Žeimena	157–218	110–124	94–189
Neris	246–367	242–270	137–300
Lėvuo	575–670	65–675	61–124
Šešupė	522–763	193–462	109–458
Venta	529–695	500–739	168–451
Jūra	342–1264	528–703	385–789
Akmena	1626 (38 % tikimybės)*	789–1530	425–938
Šešuvis	596–979	297–763	308–421

***Pastaba**: vandeningų metų (iki 33 % tikimybės) per 1993–2003 m. laikotarpį nebuvo

ti, kad eksperimentiniai tyrimai patvirtino prieš tai atliktos analizės rezultatus. Vandens kokybę matuojant kartą per mėnesį ar matavimus sudažninus iki 3 kartų, 1 ir 2 metodais skaičiuotų biogeninių medžiagų srautų reikšmės artimiausios matematiškai tiksliausiu srautų skaičiavimo metodu gautoms reikšmėms.

Metiniai mineralinio azoto srautai, apskaičiuoti pirmuoju metodu, pateikti 2 lentelėje. Iš pateiktų duomenų matome, kad srautų amplitudės labai didelės. Didžiausi srautai nustatyti Vakarų Lietuvos upėse, vandeningais metais jie viršijo net 1000 kg/km^2. Vidutinio vandeningumo metais srautai šiose upėse svyravo nuo 297 iki 1530 kg/km^2, o mažo vandeningumo metais – nuo 168 iki 938 kg/km^2. Mažiausi srautai buvo Pietryčių Lietuvos upėse – vandeningais metais – nuo 157 iki 573 kg/km^2, vidutinio vandeningumo – nuo 110 iki 338 kg/km^2,

3 lentelė. Fosfatų srautų (kg/km^2) amplitudės įvairaus vandeningumo metais

Table 3. Amplitudes of phosphate flows (kg/km^2) during years of various wetness

Upė	Metai		
	vandeningi	vidutiniai	mažo vandeningumo
Merkys	13–24	12–13	8–11
Šventoji	6–11	7–8	7
Žeimena	6–9	5–6	4–8
Neris	13–17	11–17	8–13
Lėvuo	13–43	6–21	3–7
Šešupė	8–23	13–20	11–20
Venta	6–15	7–10	5–13
Jūra	9–12	6–15	3–17
Akmena	18 (38 % tikimybės)*	13–34	8–42
Šešuvis	6–15	9–12	4–11

***Pastaba**: vandeningų metų (iki 33 % tikimybės) per 1993–2003 m. laikotarpį nebuvo

o mažo vandeningumo metais – nuo 94 iki 381kg/km^2.

Vidutiniškai per 1993–2003 m. laikotarpį metiniai mineralinio azoto srautai Pietryčių Lietuvos upėse kito nuo 145 iki 327 kg/km^2, Vidurio Lietuvos upėse – nuo 252 iki 445, o Vakarų Lietuvos – nuo 475 iki 1044 kg/km^2. Per šį laikotarpį absoliučiai didžiausias srautas 1998 m. buvo nustatytas Akmenoje (1626 kg/km^2), o mažiausias – 2002 m. Lėvenyje, jis tesiekė tik 61 kg/km^2.

Analizuodami ir mineralinio azoto, ir fosfatų srautų dydžių pokyčius, nustatėme, kad jie pagal metų sezonus yra panašūs į upių nuotėkio reikšmių pasiskirstymą per metus [10].

Mažiausiąją metų nuotėkio dalį (vidutiniškai 16,0 %) sudaro vasaros nuotėkis, o pavasario bei rudens-žiemos sezonų nuotėkis atitinkamai esti 43,3 ir 40,7 %.

Analizuojant mineralinio azoto srautus įvairiais sezonais, nustatyta, kad daugiausiai jo pernešama rudens-žiemos sezoną. Pietryčių Lietuvos upėse šį sezoną pernešama vidutiniškai 51,7 % metinio srautų dydžio, Vidurio Lietuvos upėse – 51,9, o Vakarų Lietuvos upėse – 65,4 %. Mažiausiai – per vasaros sezoną. Tada srautai upėse pagal minėtas hidrologines sritis atitinkamai sudaro 13,7 %; 13,1 % ir 7,2 %. Pavasarį – atitinkamai 34,6 %; 35,0 % ir 27,4 % metinio dydžio.

Fosfatų metinių srautų dydžiai pateikti 3 lentelėje. Analizuodami šiuos duomenis matome, kad, pirma, srautų absoliutieji dydžiai yra daug mažesni negu mineralinio azoto, antra, jų kaitos tendencija panaši kaip ir mineralinio azoto.

Tačiau srautų kaitos amplitudės akivaizdžiai mažesnės, ir nėra tokių ryškių skirtumų tarp srautų dydžių upių, esančių skirtingose hidrologinėse srityse.

Didžiausi srautai nustatyti Pietryčių Lietuvos upėse, – nuo 4 iki 24 kg/km^2, Vidurio Lietuvos upėse – nuo 3 iki 43, o Vakarų Lietuvos upėse – nuo 4 iki 42 kg/km^2.

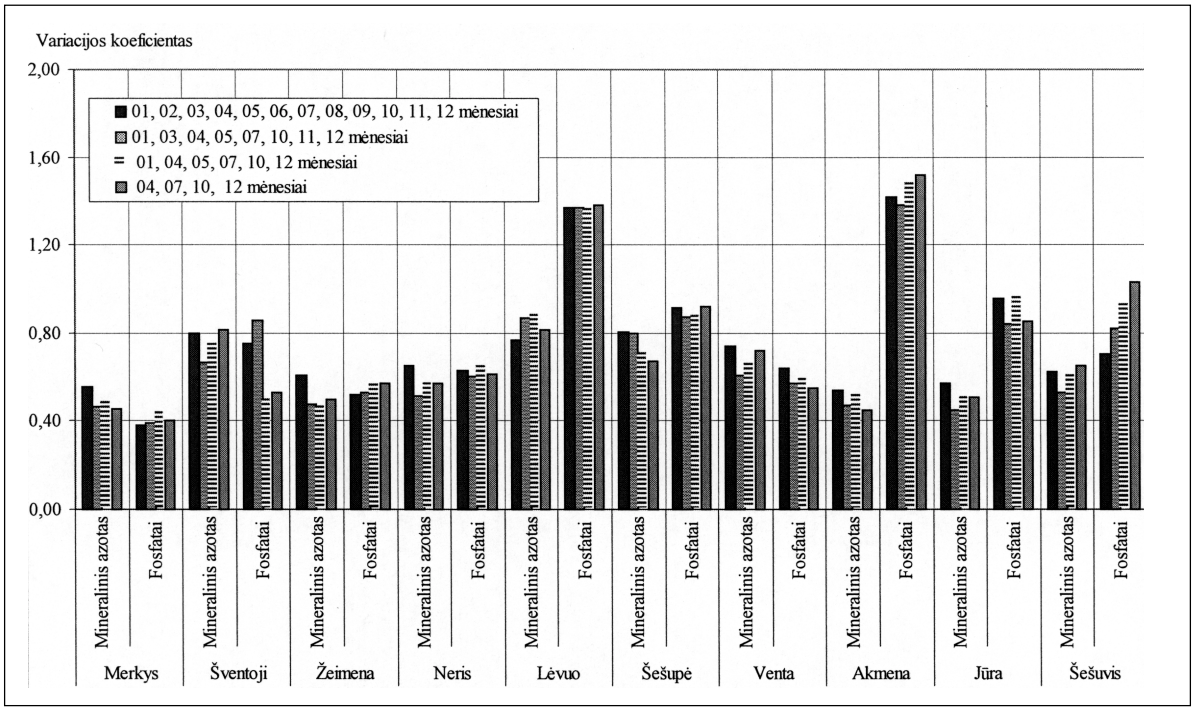
3.2. Vandens mėginių ėmimo skaičiaus mažinimo galimybių analizė

Upių vandens mėginių ėmimo skaičių aktualu mažinti, nes pagal Bendrąją vandenų direktyvą būtina patikslinti esamą monitoringo programą, joje turi būti numatytas vandens mėginių ėmimo skaičius per metus. Suprantama, matavimų dažnumas turi būti numatomas atsižvelgiant į parametrų svyravimą dėl gamtinių ir antropogeninių sąlygų. Stebėjimų laikas turi būti toks, kad sezoninių svyravimų įtaka būtų kuo mažesnė, ir taip būtų galima užtikrinti, kad rezultatai atspindėtų dėl antropogeninio poveikio pokyčių vandens telkinyje įvykstančius pokyčius.

Analizei pasirinktas variacijos koeficientas, rodantis biogenų koncentracijų svyravimus per 1993–2003 m. laikotarpį. Ši matematinės statistikos skaitinė charakteristika apskaičiuojama kaip standartinio nuokrypio ir vidurkio (daroma prielaida, kad vidurkis yra teigiamas) santykis ir atspindi tiriamo rodiklio atsitiktinių svyravimų santykinį dydį (santykinę paklaidą). Biogenų srautų vidurkių, dispersijų bei variacijos koeficientų reikšmės buvo išnagrinėtos 12, 8, 6 ir 4 mėginių ėmimo per metus atvejais. Nežymus dispersijų bei variacijos koeficientų svyravimas netiesiogiai rodo, kad ir sumažinus ėmimo skaičių ir absoliutusis, ir santykinis srautų kintamumas atspindimas gana adekvačiai.

5 pav. pateikiama biogeninių medžiagų koncentracijų variacijos koeficientų kaita atliekant 12, 8, 6, 4 matavimus per metus.

Sumažinę vandens mėginių ėmimo skaičių prarandame dalį informacijos apie vandens kokybę, todėl, norėdami atsakyti į esminį klausimą, kurios upės srautų matavimų skaičių galima sumažinti, turime biogenų koncentracijų variacijos koeficientus gauti artimus, kai matavimų skaičius per metus skirtingas. Mineralinio azoto koncentracijų variacijos koeficientų mažiausia kaita būdinga Lėveniui, – nuo 0,76 iki 0,88, Ventai – nuo 0,61 iki 0,74, Akmenai – nuo 0,45 iki 0,54, o didžiausioji – Žei-



5 pav. Biogeninių medžiagų koncentracijų variacijos koeficientų kaita per 1993–2003 m. laikotarpį

Fig 5. Fluctuations of variation coefficient of biogenic substance concentrations during 1993–2003

menai – nuo 0,46 iki 0,60. Nagrinėjant fosfatų koncentracijų kaitą, pastebėta, kad mažiausiai svyruoja Lėvens variacijos koeficientai – nuo 1,36 iki 1,37, o labiausiai Šventosios – nuo 0,49 iki 0,85.

4 lentelėje pateiktos santykinės variacijos koeficientų reikšmės tarp maksimalių ir minimalių dydžių, apskaičiuotų pagal skirtingą vandens mėginių ėmimo per metus skaičių. Šie skaičiavimai atlikti, kad labiau išryškėtų, kurių upių variacijos koeficientai kinta mažiausiai.

Iš pateiktų rezultatų matome, kad Lėvens ir mineralinio azoto, ir fosfatų koncentracijų kaita mažiausia, palyginti su kitų nagrinėjamų upių, todėl galima teigti, kad stebėjimų šioje upėje skaičių galima mažinti. Kitose upėse biogenų koncentracijos kinta nevienodai. Tačiau jei spręstume pagal mineralinį azotą, – matavimų skaičių galima mažinti Ventoje, Akmenoje, o sprendžiant tik pagal fosfatų koncentracijų svyravimus, – Šešupėje, Žeimenoje.

4. Išvados

1. Atlikus biogeninių medžiagų srautų vandeningų, vidutinio ir mažo vandeningumo metų pavasario ir vasaros sezonais skaičiavimo keturiais metodais palyginamąją analizę nustatyta, kad 1 ir 2 metodais apskaičiuoti medžiagų srautų dydžiai artimiausi matematiškai tiksliausio 4 metodo rezultatams. Sudažninus vandens mėginių ėmimą iki 3 kartų per mėnesį, skirtumai tarp srautų dydžių, apskaičiuotų skirtingais metodais, sumažėjo iki 15 %.

2. Išanalizavus mineralinio azoto srautus skirtingais sezonais, nustatyta, kad jo daugiausiai pernešama rudens-žiemos sezoną. Pietryčių Lietuvos upėse – vidutiniškai 51,7 % metinio srautų dydžio, Vidurio Lietuvos upėse – 51,9, o Vakarų Lietuvos upėse – 65,4 %. Mažiausioji metų srauto dalis tenka vasaros sezonui.

3. Fosfatų srautų įvairių sezonų metu nustatyti dydžiai žymiai mažesni negu mineralinio azoto, tačiau jų kaitos tendencija per metus panaši kaip ir mineralinio azoto. Didžiausi srautai apskaičiuoti Pietryčių Lietuvos upėse – nuo 4 iki 24 kg/km^2, Vidurio Lietuvos upėse – nuo 3 iki 43, o Vakarų Lietuvos upėse – nuo 4 iki 42 kg/km^2.

4. Nagrinėjant vandens mėginių ėmimo skaičiaus mažinimo galimybes nustatyta, kad Lėvenyje ir mineralinio azoto, ir fosfatų koncentracijų kaita mažiausia. Kito-

4 lentelė. Mineralinio azoto ir fosfatų koncentracijų variacijos koeficientų santykinės reikšmės

Table 4. Relative values of variation coefficient of mineral nitrogen and phosphate concentrations

Mineralinis azotas	Lėvuo	Akmena	Šešupė	Venta	Merkys	Šešuvis	Šventoji	Jūra	Neris	Žeimena
	1,16	1,20	1,21	1,21	1,22	1,23	1,23	1,24	1,25	1,30
Fosfatai	Lėvuo	Šešupė	Neris	Žeimena	Akmena	Jūra	Merkys	Venta	Šešuvis	Šventoji
	1,01	1,06	1,08	1,10	1,10	1,14	1,16	1,16	1,47	1,73

se upėse biogenų koncentracijos kinta nevienodai, todėl, vertinant pagal mineralinio azoto koncentracijų svyravimus, matavimų skaičių galima mažinti Ventos, Akmenos upėse (iki 4 kartų per metus), o sprendžiant tik pagal fosfatus, stebėjimų skaičių galima mažinti Šešupėje, Žeimenoje (iki 4 kartų per metus). Kitų upių dėl didesnės variacijos koeficiento kaitos vandens mėginių skaičiaus mažinti nepatartina.

Literatūra

1. Franko, U. Stickstoff – ein Nährstoff aus dem Gleichgewicht Ergebnisse aus dem Workshop. N-Deposition in Agrarökosystemen von 2. bis 3. Mai 2002. UFZ-Bericht, Nr. 16/2002, Leipzig.
2. Tumas, R. Ūkininkavimas ir upių vandens kokybė. *Aplinkos inžinerija*, Nr. 2(8). Vilnius Technika, 1997, p. 25–30.
3. Tumas, R. Water Ecology: Hydrochemical and Hydrobiological Evaluation of Lithuanian Rivers. Water Management Engineering. Transactions. *Vandens ūkio inžinerija*, 14 (36), 2001, p 41–47.
4. Haferkorn, U.; Müller, K.; Mallentin, U. und Fahl, J. Möglichkeiten und Grenzen der Stofftransportmodellierung Nitrat am Beispiel des Parthegebietes. 2003. UFZ-Bericht, 14, Leipzig.
5. Berankienė, L.; Narvidas, A. Metinė amonio azoto kaita Šušvės upėje. *Vandens ūkio inžinerija*, Nr. 23. Kėdainiai, 2003, p.193–199.
6. Šileika, S. A.; Kutra, S.; Berankienė, L. Azotas ir fosforas Lietuvos paviršinio vandens maitinimo upėse. *Melioracija,* Nr. 3, 1999, p. 52–60.
7. Povilaitis, A. Biogeninių medžiagų trendai pagal normalizuotą upių nuotėkį. *Vandens ūkio inžinerija*, 23(43)–24 (44), 2003, p 33–42.
8. Grimvall, A.; Stalnacke, P.; Tonderski, A. Time scale of nutrient losses from land to sea – a European perspective. *Ecological Engineering*, No 14, 2000, p. 363–371.
9. Stalnacke, P.; Grimvall, A.; Sundbland, K. Estimation of riverrine loads of nitrogen and phosphorus to the Baltic Sea, 1970–1993. *Environmental Monitoring and Assessment,* No 58. Netherlands, 1999, p 173–200.
10. Bagdžiūnaitė-Litvinaitienė, L.; Lukianas, A. Upių vandeningumo įtakos biogeninių medžiagų koncentracijos kaitai įvertinimas. Iš: Vandens telkinių apsauga ir valdymas. Kaunas, 2004, p. 20–26.
11. Hidrologijos metraštis, 1974–2003. Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba.
12. Lietuvos upių vandens kokybės metraštis, 1974–2003. Lietuvos Respublikos Aplinkos ministerija.
13. Gailiušis, B.; Jablonskis, J.; Kovalenkovienė, M. Lietuvos upės. Hidrografija ir nuotėkis. Kaunas, 2001, p. 792.

Lina BAGDŽIŪNAITĖ-LITVINAITIENĖ. Master doctoral student, Dept of Hydraulics, Vilnius Gediminas Technical University (VGTU).

Master of Science (environmental protection engineering), VGTU, 2001. Bachelor of Natural Sciences, Vilnius Pedagogical University (VPU), 1999. Research interests: environmental engineering and landscape management.