

# Kauno HE žemutinio Nemuno ruožo savivalos tyrimai

Adelė Vaidelienė<sup>1</sup>,

Vytautas Vaidelys<sup>2</sup>,

Juozas Savickas<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Lietuvos energetikos institutas,  
Hidrologijos laboratorija, Breslaujos g. 3,  
LT-44403 Kaunas  
El. paštas: avaidel@mail.lei.lt

<sup>2</sup> Kauno technologijos universitetas,  
Fizikos katedra, Studentų g. 50,  
LT-51367 Kaunas  
El. paštas: vytautas.vaidelys@ktu.lt

<sup>3</sup> Lietuvos energetikos institutas,  
Atsinaujinančių energijos šaltinių  
laboratorija, Breslaujos g. 3,  
LT-44403 Kaunas

Prie tvenkinių yra statomos hidroelektrinės. Tvenkiniuose kaupiasi įvairios nuosėdos. Dirbant elektrinei, per užtvanką yra išleidžiamas vanduo. Todėl labai svarbu, koku režimu dirbs elektrinė, nes išleistas vanduo teršia upę žemiau užtvankos.

Medžiagos, kurias perneša upės vanduo, yra suspenduotos, tirpios organinės bei mineralinės.

Vanduo, ištekėjęs per užtvanką, teršia upę ir po tam tikro laiko upėje teršalų kiekis pasiskirsto netolygiai. Matematinė šio proceso analizė rodo, kad skaičiuojant savivalos charakteristikas, reikia įvertinti kokybinius ir kiekybinius teršiančių medžiagų duomenis, jų pasiskirstymą. Taip pat būtina atsižvelgti į vagos matmenis bei vandens tėkmės greitį.

Šio darbo tikslas – įvertinti upės savivalos procesą žemutiniame upės ruože.

**Raktažodžiai:** tvenkiniai, užtvanka, tėkmė, tarša, savivala, ištirpęs deguonis, difuzija

## 1. ĮVADAS

Vandens energijos panaudojimo Lietuvoje istorija sena. Pirmieji hidroenergetiniai įrenginiai, naudojantys sukaupto vandens potencinę energiją, buvo vandens malūnai. Jie buvo statomi ant užtvenktų upių. Ilgainiui Lietuvoje atsirado daugybė tvenkinių. Vieni jų sunyko ir neteko savo energetinės reikšmės, kiti išliko, bet, pakeitę savo paskirtį, imti naudoti rekreaciniais tikslais. Tik nedaug Lietuvoje esančių tvenkinių yra naudojami šiuolaikinės energetikos ar ūkinės veiklos reikmėms. Žmonijai pasiekus šiuolaikinę technologijų lygį ir nuolat didėjęs gamybos apimtims bei energijos poreikiams labai svarbiu veiksniu tampa šalutinis energijos gamybos poveikis aplinkai tiek vietinė, tiek globaline reikšme. Šiuo požiūriu svarbiu veiksniu tampa vandens kokybė, todėl remiantis daugiamečiais vandens savybių bei cheminės sudėties stebėjimais užtvankų vietose, sudarytas savaiminio vandens savivalos modelis žemutiniame upės ruože. Ne menkiau svarbus ir ekonominis veiksnys, t. y. siekis išgauti energiją mažiausiomis sąnaudomis. Šie veiksniai verčia energetikus vis labiau kreipti žvilgsnius į mažąją hidroenergetiką. Šio darbo tikslas – nustatyti Kauno HE ir vandenvals įmonės įtaką upės savivalai žemutiniame upės ruože.

Savivalos procesams tirti buvo pasirinktas Nemunas. Ši upė buvo suskaidyta į 2 ruožus:

- aukštutinį (nuo Baltarusijos sienos iki Kauno HE),
- žemutinį (nuo Kauno HE).

Vandens kokybei modeliuoti panaudotas Streeter ir Phelps modelis [1, 2]. Matematinis savivalos modelis išryškino svarbiausias Nemuno baseino savybes bei ypatumus, vandens kokybės kintamųjų ciklus bei kokybę veikiančius procesus. Tiriant Nemuno upę buvo parinktas vienos dimensijos kvazidinaminis modelio tipas, kai hidrologiniai parametrai pastovūs, o vandens kokybės kintamieji aprašomi diferencialinėmis lygtimis. Buvo priimta, kad žemiau teršalų išleidimo vietų upėje teršalai visiška susimaišo su vandeniu. Pagrindiniai vandens kokybės kintamieji yra ištirpęs deguonis, bendrosios organinės medžiagos, organinis azotas, amonis ( $\text{NH}_4$ ), nitritai, nitratai, organinis fosforas, ištirpęs fosforas ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), bendras fitoplanktonas. Į šį modelį įtraukti tokie procesai: reaeracija, organinių medžiagų irimas, organinių medžiagų sedimentacija, deguonies suvartojimas sedimentų oksidacijai, organinio azoto hidrolizė, nitrifikacija, amonio išplovimas iš sedimentų, amonio bei nitratų suvartojimas fitoplanktonui augti, organinio fosforo irimas, fosfatų išplovimas iš sedimentų, ištirpusio fosforo suvartojimas fitoplanktonui augti, bendrojo fitoplanktono augimas.

Žemutinis Nemuno ruožas suskaidytas į dar smulkesnes atkarpas, atsižvelgiant į natūralias upės savybes bei antropogeninį poveikį vandens kokybei [3]. Atlikta atskirų Nemuno vietų vandens kokybę sąlygojančių procesų analizė. Upės vagoje vykstantiems procesams aprašyti pritaikyta dinamikos lygtis. Modelis leidžia įvertinti organinio azoto ir ištirpusios anglies organinių medžiagų bei įvairių formų suspenduotų dalelių skersinę dispersiją.

Skaitmeninis modeliavimas pagrįstas JAV aplinkos apsaugos agentūroje sukurta QUAL2K [4, 5] programa, kuri remiasi minėtu Streeter ir Phelps modeliu [2].

## 2. UPIŲ SAVIVALOS MATEMATINIS MODELIAVIMAS

Natūraliose upėse organinės medžiagos asimiliuojasi įvairių procesų metu. Visų pirma tai teršalų nusėdimas, kurį papildo mechaninis bei biologinis skaidymas, cheminė oksidacija bei žalingų ir patogeninių mikroorganizmų žūtis, kurią sukelia saulės šviesa. Benoit teigia [6], kad svarbiausias savivalos procesas yra biocheminė oksidacija, t. y. aerobinis organinių medžiagų skaidymas, kurį atlieka mikroorganizmai. Biologiškai suskaidytos organinės medžiagos palaipsniui eliminuojamos labai panašiais būdais, kaip ir nuotekų valymo įrenginiuose. Sudėtingos organinės molekules suskaidomos į paprastas neorganines molekules procesais, kuriems reikia deguonies. Savivalos procese dalyvauja mikroorganizmai (perifitonai), nuo kurių priklauso savivalos sparta.

Ištirpusio deguonies koncentracija yra veikiamą tokių veiksnių kaip temperatūra, BDS<sub>5</sub> ir druskingumas, o deguonies nykimą stabdo reaeracija. Tam tikromis aplinkybėmis gali būti svarbi ir fotosintezė, kaip deguonies šaltinis. Svarbus parametras yra deguonies tirpimo vandenyje sparta, labiausiai priklausanti nuo deguonies koncentracijos tirpale soties koncentracijos atžvilgiu, t. y. nuo deguonies stygiaus. Deguonies koncentracija gali siekti iki 200%, kai vanduo audringai teka per krioklius, slenksčius ir užtvankas. Persotinimas taip pat galimas labai saulėtomis dienomis dėl fotosintezės [7, 8], kai yra gausu dumblių. Abiem atvejais deguonies koncentracija greitai grįžta į pusiausvyrą, nes perteklinio deguonies netenkama.

Deguonies koncentracija vandenyje tampa pastovi dėl vandens maišymosi, o jeigu jo nėra, dėl molekulių difuzijos. Difuzijos sparta yra proporcinga koncentracijos gradientui, kurį nusako Fiko dėsnis [9]:

$$\frac{dM_v}{dt} = K_d A_0 \frac{dC}{dx}; \quad (1)$$

čia  $M_v$  – masės pernešimas laiko momentu  $t$  (masės persistūmimo sparta),  $K_d$  – difuzijos koeficientas,  $A_0$  – skerspjūvio, per kurį vyksta difuzija, plotas,  $C$  – koncentracija,  $x$  – persiskirstymo atstumas.

Kai koncentracija yra tolygi:

$$\frac{dM}{dt} = K_d A_0 \frac{(C_s - C_t)}{x}; \quad (2)$$

čia  $C_s$  – soties koncentracija,  $C_t$  – koncentracija praėjus laikui  $t$ . Lygtį galima spręsti taip [10]:

$$C_t = C_s - 0,811(C_s - C_0) (e^{-K_d t} + (1/9)e^{-9K_d t} + (1/25)e^{-25K_d t} + \dots); \quad (3)$$

čia  $C_0$  – koncentracija, kai  $t = 0$ , o

$$K_d = \frac{K_{d_0} \pi^2 t}{4 x^2}; \quad (4)$$

čia  $K_{d_0}$  – deguonies difuzijos koeficientas vandenyje, kai vandens temperatūra – 20°C.

Aeracijos procesą išreiškia ši lygtis:

$$\frac{dC_t}{dt} = K_2 (C_s - C_t). \quad (5)$$

Suintegravę (5) lygtį, imdami integralų ribas nuo  $C_0$  iki  $C_t$  ir nuo 0 iki  $t$ , gausime:

$$\int_{C_0}^{C_t} \frac{dC_t}{C_s - C_t} = K_2 \int_0^t dt; \quad (6)$$

$$\ln \frac{(C_s - C_t)}{(C_s - C_0)} = -K_2 t. \quad (7)$$

Kai  $C_0$  ir  $C_t$  yra ištirpusio deguonies koncentracijos pradiniam nuliniam laike ir laike  $t$  ir šias koncentracijas pažymėsime –  $D_0$  ir  $D_t$ , tai  $K_2$  bus reaeracijos spartos koeficientas. Tada (7) lygtį užrašome šitaip:

$$\ln \frac{D_t}{D_0} = -K_2 t, \quad (8)$$

tada

$$D_t = D_0 e^{-K_2 t}. \quad (9)$$

Didėjant temperatūrai, gali padidėti reaeracijos sparta, ir atvirkščiai. Reaeracijos spartos koeficientą  $K_2$  galime išreikšti kaip temperatūros  $T$  funkciją [11]:

$$K_2(T) = K_2(20) \Theta^{(T-20)}, \quad (10)$$

čia  $\Theta$  – Arenijaus koeficientas [12]. Arenijaus koeficiento kitimo ribos yra  $\Theta \in [1,005-1,091]$ .

Reaeracijai turi įtakos keli fiziniai veiksniai. Vanduo yra įsotinamas deguonimi, kai pastarasis skverbiasi į vandenį per oro-vandens skiriamąjį paviršių. Jeigu vandenyje vyksta turbulencija (tai būna per užtvankas besiveržiančiuose srautuose), tolygus oro-vandens skiriamasis paviršius suardomas ir spartesnį įsotinimą lemia vandens maišymasis su oru. Kai maišymosi nėra, deguonis difunduoja per vandens sluoksnį. Kartais difuzijos sparta gali būti nepakankama mikrobu deguonies poreikiams tenkinti gilesniuose vandens sluoksniuose. Upėse reaeracijos spartai didžiausios įtakos turi tėkmės greitis, gylis ir temperatūra.

Vandens kokybės modeliavimo pradininkais yra laikomi Streeter ir Phelps, dar prieš 80 metų tyrę ištirpusio deguonies koncentracijos kitimą upės atkarpoje, kurioje yra tik taškinis taršos šaltinis. Pagal Thomann [13], Streeter ir Phelps padėjo ištirpusio deguonies ir biocheminio deguonies sąnaudų skaičiavimo upės ruože pagrindus. Čia daromos šios prielaidos:

- teršiančios medžiagos yra tik turinčios anglies organinės medžiagos,
- vandenį teršia tik vienas koncentruotas šaltinis,
- vertinama tik reaeracija,
- nagrinėjama tik statinė būseną.

Šias prielaidas taikysime ir Nemunui, nes ši plati upė turi ilgas tolygias atkarpas tarp taškinių taršos šaltinių, mažą fotosintezės įtaką, todėl pagrindiniais veiksniais, kurie lemia deguonies kiekį vandenyje, yra deguonies suvartojimas ir reaeracija. Organinių medžiagų biocheminės oksidacijos sparta proporcinga likusių neoksiduotų organinių medžiagų koncentracijai [14].

Streeter ir Phelps matematinis modelis pagrįstas šiomis priklausomybėmis:

$$\frac{dL_t}{dt} = -K_1 L_t, \quad (11)$$

$$L_t = L_0 - D_t \cdot d(L_0 - D_t) = -D_t, \quad (12)$$

taigi

$$\frac{dD_t}{dt} = K_1 L_t. \quad (13)$$

Reaeracija, kai deguonies nesuvartojamas

$$\frac{dC_t}{dt} = K_2 (C_s - C_t), \quad (14)$$

todėl

$$\frac{d(C_s - C_t)}{dt} = K_2 D_t, \quad (15)$$

$$\frac{dD_t}{dt} = -K_2 D_t. \quad (16)$$

Tiek deguonies poreikį, tiek aeraciją galima išreikšti deguonies deficito pokyčiu ( $\frac{dD_t}{dt}$ ):

$$\frac{dD_t}{dt} = K_1 L_t - K_2 D_t; \quad (17)$$

čia  $D_t$  – ištirpusio deguonies deficitą laiko momentu  $t$ ,  $L_t$  – organinių medžiagų oksidacijai biocheminės deguonies sąnaudos (BDS) laiko momentu  $t$ ,  $L_0$  – pradinė organinių medžiagų koncentracija,  $K_1$  – organinių medžiagų irimo spartos koeficientas.

Priėmę, kad deguonis yra neribojantis veiksnys, gausime, jog deguonies poreikis nepriklauso nuo deguonies deficito.  $L_t$  galime užrašyti lygtimi:

$$L_t = L_0 e^{-K_1 t}, \quad (18)$$

$$\frac{dD_t}{dt} = K_1 L_0 e^{-K_1 t} - K_2 D_t. \quad (19)$$

Suintegravę gauname:

$$D_t = \frac{K_1 L_0}{(K_2 - K_1)} \left\{ e^{-K_1 t} - e^{-K_2 t} \right\} + D_0 e^{-K_2 t}. \quad (20)$$

Ši priklausomybė yra vadinama Streeter ir Phelps lygtimi.

Mažiausia ištirpusio deguonies koncentracija (kritinis taškas), esant didžiausiam deguonies deficitui  $D_p$ , bus

$$\frac{dD_t}{dt} = 0,$$

todėl

$$\frac{dD_t}{dt} = K_1 L_0 - K_2 D_t; \quad (21)$$

$$\text{ir } D_C = \frac{K_1}{K_2} \cdot L_0 e^{-K_1 t_C}. \quad (22)$$

Taškas  $D_C$  nustato maksimalią leistiną išleidžiamų teršalų koncentraciją. Šis taškas dar vadinamas kritiniu deficito tašku, o medžiagų pernešimo laikas iki to taško – kritiniu laiku  $t_C$ .

Irašę (22) lygtį į (21) lygtį gausime:

$$t_C = \frac{1}{K_2 - K_1} \cdot \ln \left\{ \frac{K_2}{K_1} \left[ 1 - \frac{(K_2 - K_1) D_0}{K_1 L_0} \right] \right\}. \quad (23)$$

(23) lygtis parodo ištirpusio deguonies koncentracijos kaitą upės atkarpoje, kai yra taškinis taršos šaltinis.

### 3. EKSPERIMENTINIS SAVIVALOS MODELIO TAIKYMAS

Šiame darbe Nemuno upę suskaidėme į du pagrindinius ruožus: aukštutinį ir žemutinį. Aukštutiniu ruožu laikėme upės atkarpą nuo Baltarusijos sienos iki Kauno HE, o žemutiniu – nuo Kauno HE iki Smalininkų. Modeliuojant šie upių ruožai buvo suskirstyti į dar smulkesnius ruožus (žr. 1 pav.). Kiekvieno upės ruožo pradiniai duomenys buvo panaudoti kitam upės ruožui, kaip pradiniai duomenys.

Nemuno vandens savivalos analizei panaudojome Aplinkos apsaugos ministerijos Lietuvos upių vandens kokybės tyrimų duomenis [15, 16], Nemuno vandens matavimo stočių duomenis (VMS) [17] ir Hidrologijos laboratorijos 2005-07-14 ekspediciono metu gautus duomenis.

Naudojant QUAL2K programą, daugelį parametrų reikia apskaičiuoti, pasirenkant tam tikrus metodus. Nemuno, Neris ir Nevėžio upių išilginės dispersijos koeficientui  $D_L$  skaičiuoti pasirinkome Fischer [18] metodą. Tirtuose Nemuno upės ruožuose  $D_L$  kito nuo 2500 iki 6000 m<sup>2</sup>/s, Neryje  $D_L$  kito nuo 600 iki 1000 m<sup>2</sup>/s, Nevėžyje ties santaka  $D_L = 40$  m<sup>2</sup>/s.

Anglies organinių medžiagų irimo spartos  $K_C$  koeficiento vidutinės reikšmės buvo apskaičiuotos kiekvienam upės ruožui. Nemuno upėje priklausomai nuo upės ruožo  $K_C$  kito nuo 0,11 iki 0,39 1/parą, Neryje – nuo 0,6 iki 0,25 1/parą. Vienas svarbiausių parametrų yra reaeracijos koeficientas  $K_2$ . Nemune  $K_2$  kinta nuo 0,5 iki 2,3 1/parą.

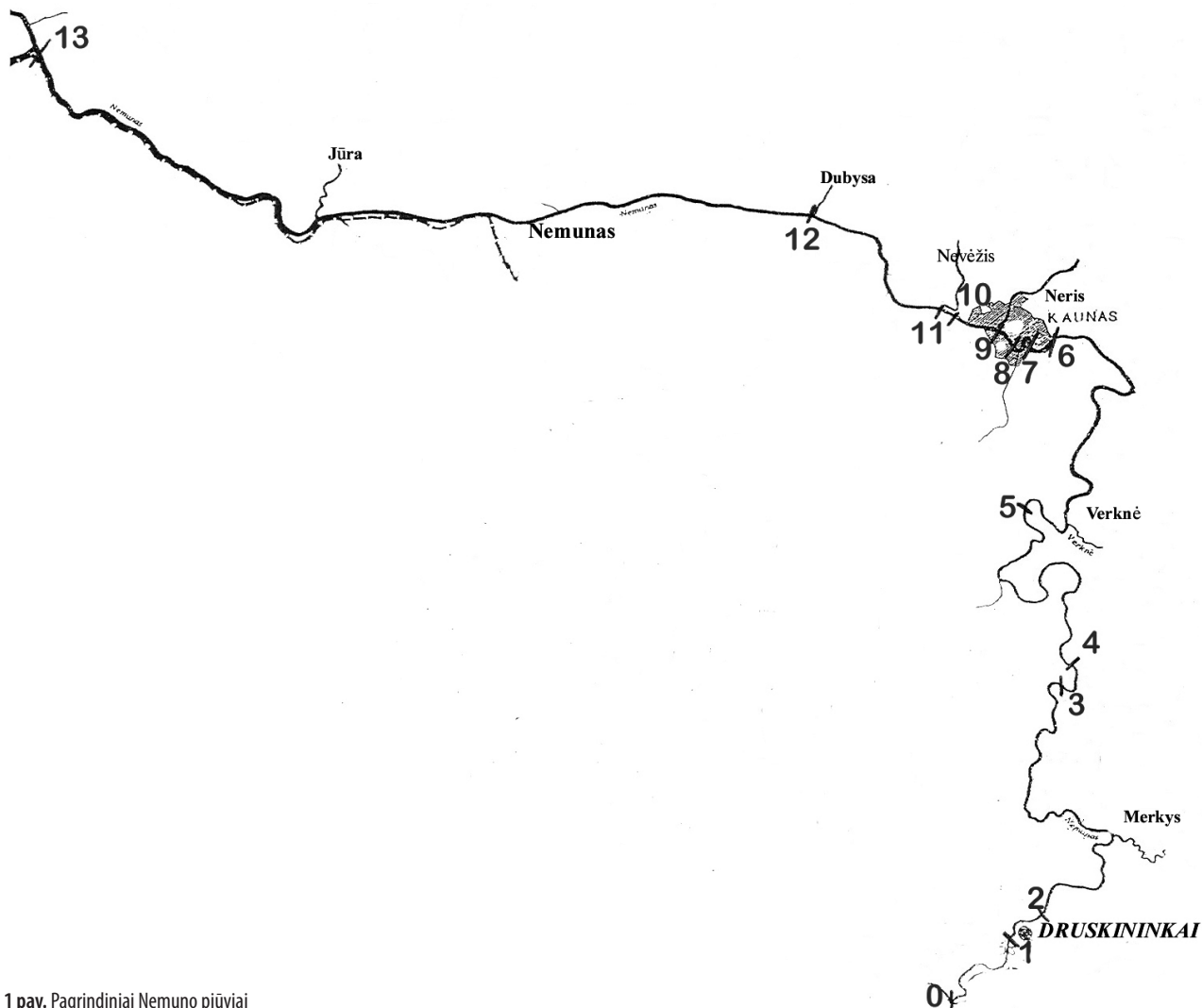
**Ribinės sąlygos.** Kaip ribines reikšmes priėmėme vandens kokybės parametrus, vandens temperatūrą ir koncentracijas. Nemuno upėje gavome tokius parametrų kitimo spartos koeficientus:

- BDS<sub>5</sub> irimo spartos koeficientas  $K_1 = [0,05-0,4]$  1/parą;
- BDS<sub>5</sub> nusėdimo spartos koeficientas  $K_3 = [0,01-0,3]$  1/parą;
- SOD koeficientas  $K_4 = [0,1-4,0]$  mg O<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/parą;
- Organinio N mineralizacijos spartos koeficientas  $\beta_3 = [0,02-0,1]$  1/parą;
- Organinio N nusėdimo spartos koeficientas  $\sigma_4 = [0,1-0,5]$  1/parą;
- NH<sub>3</sub> oksidacijos į NO<sub>2</sub> spartos koeficientas  $\beta_1 = [0,05-10,0]$  1/parą;
- NO<sub>2</sub> oksidacijos į NO<sub>3</sub> spartos koeficientas  $\beta_2 = [0,001-0,9]$  1/parą;
- Organinio P irimo spartos koeficientas  $\beta_4 = [0,0001-0,3]$  1/parą.

Upės skerspjūviuose buvo apskaičiuoti tėkmės greičiai ir vidutiniai gyliai. Bet kurioje upės vietoje galima nustatyti upės tėkmės greitį ir gylį pagal šias formules [12]:

$$U = aQ^b; H = \alpha Q^\beta, \quad (24)$$

čia  $Q$  – debitas,  $a, b, \alpha, \beta$  – empiriniai koeficientai. Koeficientų  $b$  ir  $\beta$  pradinės reikšmės parinktos taip, kad  $b + \beta \leq 1$ . Brown ir



1 pav. Pagrindiniai Nemuno pjūviai

Barnwell [19] siūlo priimti tokias koeficientų reikšmes:  $b = 0,43$ ;  $\beta = 0,45$ .

**Modelio kalibravimas.** Ištirpusio deguonies, biocheminio deguonies sąnaudų ir nitratų parametruų upės išilginiame profilyje reikšmės sukalibruotos, keičiant irimo spartos koeficientą  $K_1$ , nusėdimo spartos koeficientą  $K_3$ , organinio azoto oksidacijos spartos koeficientą  $\beta_1$ . Ištirpusio deguonies (ID) pasiskirstymas Nemuno ruože nuo Baltarusijos sienos iki Smalininkų parodytas 2 pav. Koreliacijos koeficientas tarp išmatuotų ir suskaičiuotų reikšmių yra 0,99. Kalibravimo proceso metu nustatyta, kad tinkamiausias organinių medžiagų irimo spartos koeficientas  $K_1 = 0,4$  l/parą.

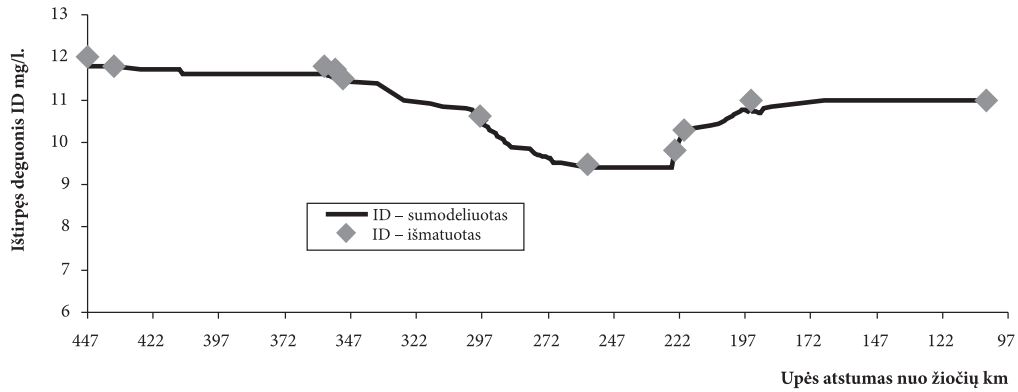
Biocheminio deguonies sąnaudų ( $BDS_5$ ) koncentracijos pasiskirstymas Nemune pavaizduotas 3 pav. Kalibravimo proceso metu nustatyta, kad tinkamiausias organinių medžiagų irimo spartos koeficientas  $K_1 = 0,4$  l/parą, o nusėdimo spartos koeficientas  $K_3 = 0,3$  l/parą.

Organinio azoto pasiskirstymas išilginiame Nemuno profilyje parodytas 4 pav.  $NH_3$  koncentracijos pasiskirstymo grafikas Nemune pateiktas 5 pav. Kalibravimo proceso metu nustatyta, kad tinkamiausias  $NH_3$  oksidacijos spartos koeficientas  $\beta_1 = 0,1$  l/parą.

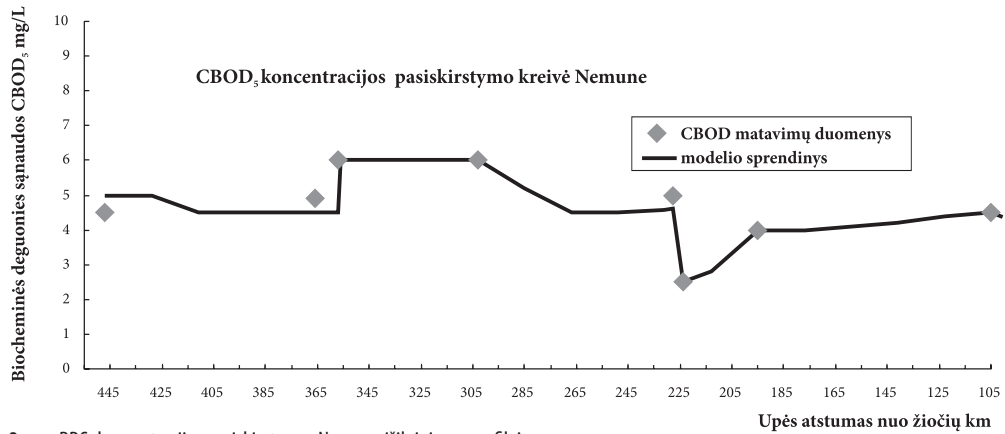
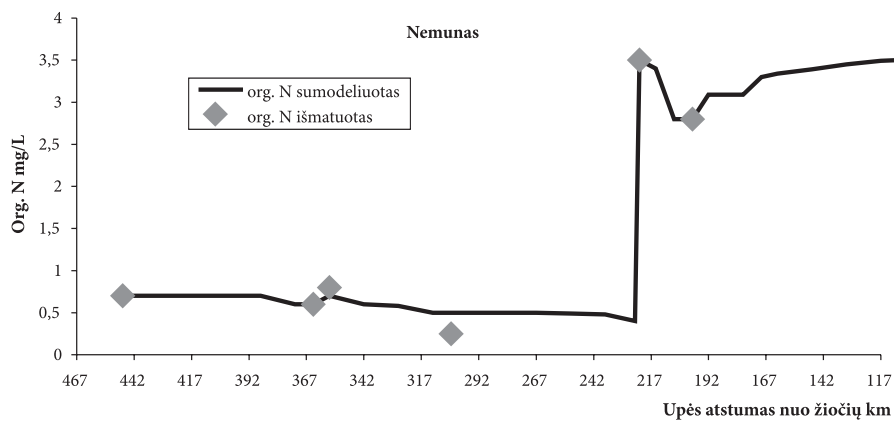
Atlikę modelio kalibravimą, nustatėme įvairių koeficientų kitimo ribas analizuojamuose Nemuno upės pjūviuose.

**Sąveikos spartos koeficientai.** Visuose Nemuno pjūviuose  $K_1$  kinta nuo 0,05 iki 0,1 l/parą.  $BDS_5$  organinių medžiagų sedimentacijos spartos koeficientas  $K_3$  Nemune kito nuo 0,01 iki 0,3 l/parą. Deguonies sąnaudos  $K_4$ , reikalingos dugno sedimentų oksidacijos procesui Nemune, kito nuo 0,01 iki 1,0  $mg\ O_2/m^2/parą$ . Modeliavimo metu nustatyta, kad šio koeficiento kaita priklauso nuo antropogeninio poveikio. Natūraliam režimui vidutinė  $K_4$  koeficiento reikšmė Nemunui būtų 0,1  $mg/m^2/parą$ . Kauno mariose  $K_4$  dėl nuosėdų kinta nuo 1,5–4,0  $mg/m^2/parą$ . Priklausomai nuo upės tėkmės greičio, žemiau užtvankos  $K_4$  kinta nuo 0,5 iki 0,8  $mg/m^2/parą$ . Įtekėjus Neriai ir Nevėžiui į Nemuną, matyti didelis  $K_4$  pokytis.

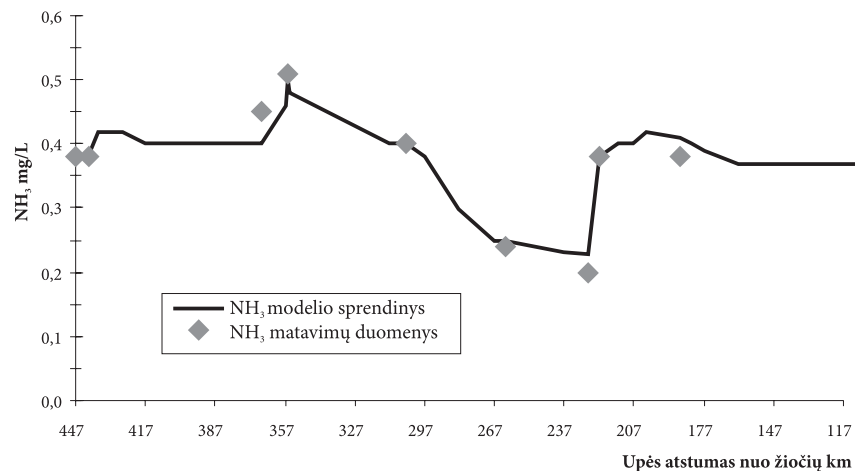
**Azoto ciklas.** Organinio azoto mineralizacijos spartos koeficientas  $\beta_3$  Nemune kinta nuo 0,02 iki 0,1 l/parą. Ties Nemuno ir Neries santaka bei Nemuno ir Nevėžio santaka  $\beta_3$  sumažėja iki 0,02 l/parą. Organinio azoto sedimentacijos sparta  $\sigma_4$  Nemune kinta nuo 0,01–0,5 l/parą. Atmetus antropogeninį poveikį  $\sigma_4 = 0,1$  l/parą,  $\sigma_4$  skaitinė reikšmė padidėja Nemune žemiau Alytaus nuo 0,1 iki 0,5 l/parą. Kauno mariose ir žemiau Kauno

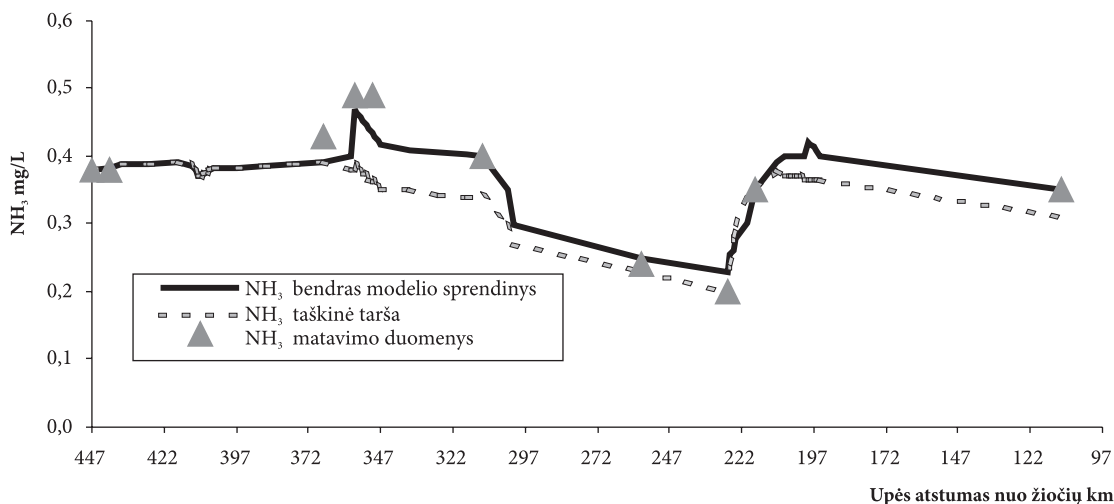


2 pav. Ištirpęs deguonis Nemuno išilginiame profilyje

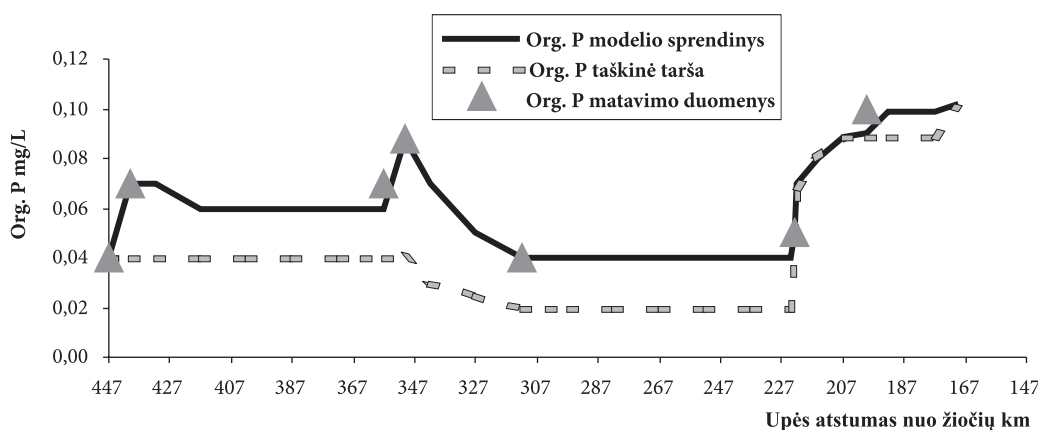
3 pav. BDS<sub>5</sub> koncentracijos pasiskirstymas Nemuno išilginiame profilyje

4 pav. Organinio azoto pasiskirstymas Nemuno ruože nuo Druskininkų iki Smalininkų

5 pav. NH<sub>3</sub> koncentracijos pasiskirstymas Nemuno išilginiame profilyje



6 pav. NH<sub>3</sub> koncentracijos pasiskirstymas Nemuno išilginiame profilyje. Ištininė linija yra bendras modelio sprendinys. Punktyrinė linija – modelio sprendinys, įvertinantis tik taškinę taršą. Trikampiais pažymėti NH<sub>3</sub> matavimo duomenys



7 pav. Organinio fosforo pasiskirstymo Nemune profilis. Ištininė linija yra bendras modelio sprendinys. Punktyrinė linija – modelio sprendinys, įvertinantis tik taškinę taršą. Trikampiais pažymėti organinio fosforo matavimo duomenys

HE  $\sigma_4 = 0,1$  l/parą. NH<sub>3</sub> oksidacijos į NO<sub>2</sub> spartos koeficientas  $\beta_1$  Nemune kinta nuo 0,05 iki 10,0 l/parą. Tarp Druskininkų ir Alytaus  $\beta_1 = 0,05$ , o žemiau Alytaus padidėja nuo 0,1 iki 0,9 l/parą. Kauno mariose  $\beta_1 = 0,1$  l/parą. Nuo Kauno HE iki Smalininkų  $\beta_1$  pakinta nuo 0,9 iki 0,8 l/parą. Mineralinio azoto NH<sub>3</sub> išplovimo iš nuosėdų spartos koeficientas  $\sigma_3$  Nemune kinta nuo 1 iki 10 mg/m<sup>2</sup>/parą. Kauno mariose  $\sigma_3 = 15$  mg/m<sup>2</sup>/parą. NO<sub>2</sub><sup>-</sup> oksidacijos į NO<sub>3</sub><sup>-</sup> spartos koeficientas  $\beta_2$  Nemune kinta nuo 0,001 iki 0,9 l/parą. Kauno mariose  $\beta_2$  kinta nuo 0,005 iki 0,01 l/parą.

**Fosforo ciklas.** Organinio P irimo sparta  $\beta_4$  Nemune kinta nuo 0,001 iki 0,01 l/parą. Kauno mariose  $\beta_4 = 0,2$  l/parą ir čia įgyja didžiausią reikšmę. Kauno HE–Smalininkų ruože  $\beta_4 = 0,01$  l/parą. Organinio P dalelių nusėdimo spartos koeficientas  $\sigma_5$  Nemune kinta 0,001–0,5 l/parą. Kauno mariose dėl dumblių  $\sigma_5 = 0,02$  l/parą. Ruože Kaunas – Smalininkai  $\sigma_5 = 0,001$  l/parą. Ištirpusio P nusėdimo spartos koeficientas  $\sigma_2$  Nemune kinta nuo 0,001–1,0 mg/m<sup>2</sup>/parą. Kauno mariose  $\sigma_2 = 15$  mg/m<sup>2</sup>/parą, o Kauno–Smalininkų ruože kinta nuo 1,0 iki 0,0001 mg/m<sup>2</sup>/parą.

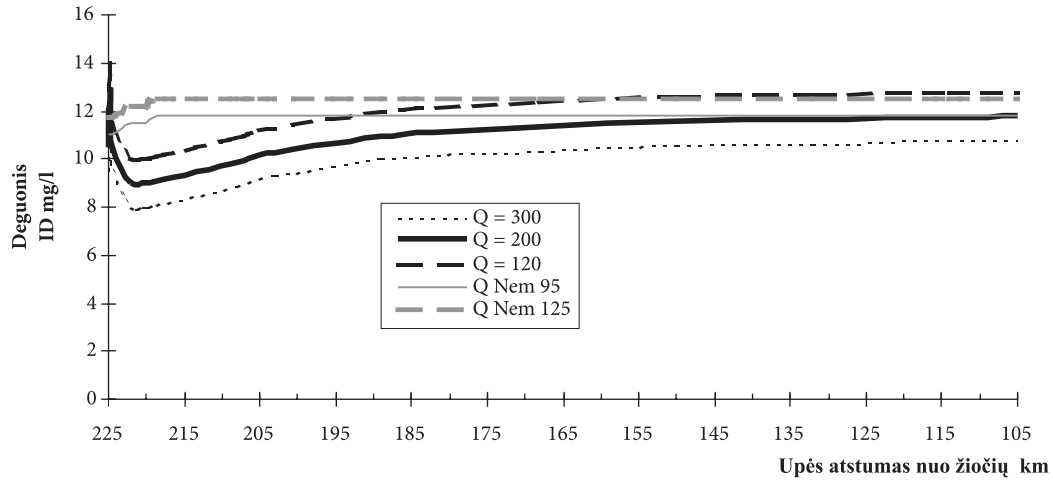
Upių vandens teršimo šaltiniai yra dviejų rūšių: taškiniai (koncentruotos taršos) ir išsklaidytos (difuzinės) taršos. Dėl šios priežasties taškinės ir išsklaidytos taršos šaltinių komponentes

naudinga modeliuoti atskirai. Nemuno išsklaidytos taršos ir taškinės taršos atskirų komponentių NH<sub>3</sub>, organinio fosforo skaičiavimo rezultatai pateikti 6, 7 pav.

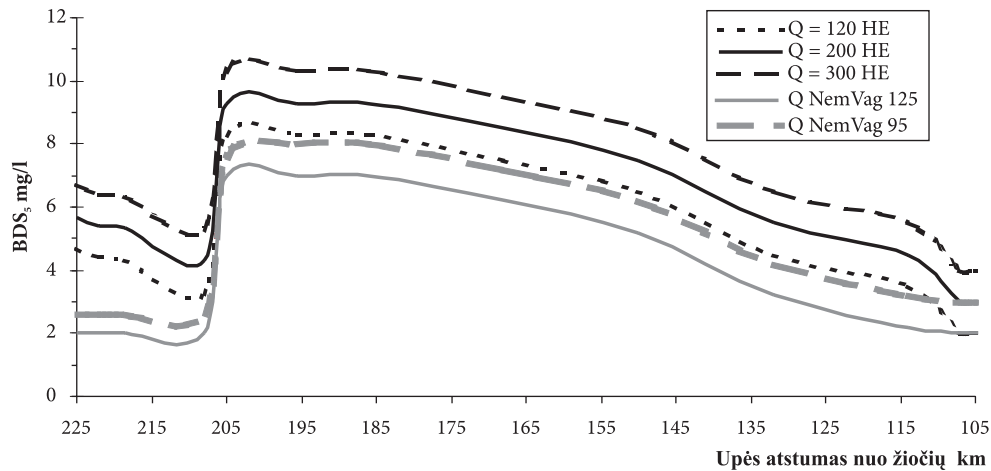
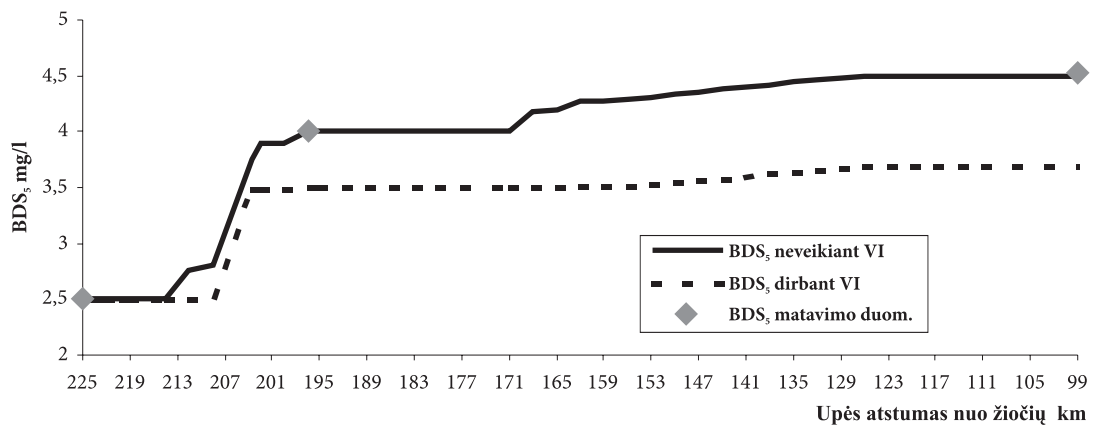
#### 4. VANDENINGUMO ĮTAKA SAVIVALOS PROCESUI

Kintantis upės debitas sukelia konservatyviųjų ir nekonservatyviųjų medžiagų koncentracijos kitimus. Upės debitas didėja arba mažėja dėl tam tikrų gamtinių sąlygų, t. y. dėl kritulių, gruntinio vandens infiltracijos, garavimo bei ūkinio naudojimo. Esant gruntinio vandens prietakai, teršiančiųjų medžiagų koncentracija upėje mažėja, nes jos atskiedžiamos santykinai švaresniu gruntiniu vandeniu. Kadangi upę teršiančios medžiagos neišgaruoja [20], tai šiuo atveju teršiančiųjų medžiagų koncentracija upėje didėja.

Mūsų tirtu atveju Nemuno aukštutiniame ruože savivalai turi įtakos Merkys ir Verknė. Žemutiniame ruože savivalą veikia Kauno HE, Neris, Kauno vandenvalos įmonė, Nevėžis, Dubysa ir Mituva. Didžiausią įtaką Nemuno savivalos procesui turi Kauno HE ir Kauno vandenvalos įmonė, todėl šią jų įtaką panagrinėsime atskirai.



8 pav. Debito įtaka ID pasiskirstymui Nemune be Kauno HE ir su Kauno HE

9 pav. Debito įtaka BDS<sub>5</sub> pasiskirstymui Nemune be Kauno HE ir su Kauno HE10 pav. BDS<sub>5</sub> koncentracijos pasiskirstymas Nemuno (nuo Kauno HE) žemutiniame ruože kartu su Kauno vandenvals įmone

Kauno HE buvo pastatyta 1959 metais. Tvenkinio plotas 63,5 km<sup>2</sup>, o gylis ties užtvanka 20 metrų. HE įtaką Nemuno savivalos procesui įvertinome kompiuterine QUAL2K programa [19], sumodeliavę ištirpusio deguonies ir BDS<sub>5</sub> pasiskirstymo kreives dviem atvejais: kai HE veikia ir tuo atveju, jei jos nebūtų. Ištirpusio deguonies pasiskirstymo kreivės, kai per Kauno HE praleidžiami skirtingi debitai, parodytos 8 pav. Modeliavimo rezultatai pateikti nuo Kauno HE šeštojo iki tryliktojo pjūvio (žr. 1 pav.).

Tyrimo metu sumodeliavome ID koncentracijų pasiskirstymo kreives Nemune, jeigu nebūtų Kauno HE. Modeliuojant ištirpusio deguonies koncentraciją Nemune ties Kauno HE, pasirinkome du atvejus: kai debitas  $Q_{80\%} = 125 \text{ m}^3/\text{s}$  ir kai debitas –  $95 \text{ m}^3/\text{s}$ . 8 pav. matyti, jog ištirpusio deguonies koncentracija upėje (jei nebūtų HE) ties tvenkiniu didesnė, negu esant HE. Be to, ID reikšmės sutampa ties 170 kilometru, kai veikia HE, kurios debitas  $120 \text{ m}^3/\text{s}$ , ir kai Nemuno vagos ties HE

debitas  $125 \text{ m}^3/\text{s}$  (be hidroelektrinės). Iš čia galime daryti išvadą, jog ištirpusio deguonies koncentracija, išleidžiant pro užtvanką  $120 \text{ m}^3/\text{s}$ , pasiekia natūralųjį upės režimą po 55 kilometrų.

Biocheminio deguonies sąnaudų koncentracijos pasiskirstymo kreivės, kai per Kauno HE praleidžiami skirtingi debitai, parodytos 9 pav.

Tyrimo metu taip pat modeliavome biocheminio deguonies sąnaudų koncentracijos pasiskirstymo kreives Nemune, jeigu nebūtų Kauno HE. 9 pav. matyti, jog BDS koncentracija yra didesnė, kai veikia HE, o BDS<sub>5</sub> reikšmės sutampa ties 107 kilometru.

Nemuno žemutiniame ruože yra taršos šaltinis – Kauno vandenvalos įmonė. Todėl buvo atlikta šios įmonės įtakos upės vandens kokybei analizė (10 pav.). Priimta, kad visos Kauno m. pramoninės ir buitinės nuotekos yra valomos vandenvalos įmonėje. Nuotekų, BDS<sub>5</sub>, azoto ir fosforo koncentracijos buvo pasirinktos pagal nutekamųjų vandenų reikalavimus vandenvalos įmonei [21]: nuotekų debitas yra  $5 \text{ m}^3/\text{s}$ , BDS<sub>5</sub> koncentracija  $5 \text{ mg/l}$ , bendrojo azoto  $25 \text{ mg/l}$  ir bendrojo fosforo  $1,5 \text{ mg/l}$ .

Nustatyta, kad vandenvalos įmonės nuotekos Nemuno biocheminio deguonies sąnaudų koncentraciją sumažina nuo 4 iki  $3,3 \text{ mg/l}$ .

## 5. IŠVADOS

1. Nemuno vandens savivalos proceso analizė parodė nepatenkinamą upės būklę.

2. Naudojant nuotekų reguliavimo ir matematinį vandens savivalos modelį nustatyta:

– ištirpusio deguonies koncentracija pasiekia natūralųjį upės režimą po 55 kilometrų;

– biocheminio deguonies sąnaudų koncentracija pasiekia leistinas normas tik po 120 kilometrų nuo HE;

– veikiant Kauno vandenvalos įmonei net ir gilus biologinis Kauno miesto nuotekų valymas neužtikrins geros Nemuno būklės daugiau kaip 120 km upės ruože žemiau Kauno HE.

3. Nemunas žemiau Kauno HE priklauso ir priklausys rizikos telkiniams.

Gauta 2007 06 15  
Priimta 2007 12 10

## Literatūra

- Fischer H. B. Transport Models for inland and Coastal Waters. NY: Academic Press, 1981. 302 p.
- Streeter H. W., Phelps E. B. A study of pollution and natural purification of the Ohio River // Bull. 146. Washington: US Public Health Service, D. C., 1925.
- Vaidelienė A., Kadiša S., Glemžienė R. Estimation of power potential for dams envisaged for small hydro electrical power // Proceedings of the Third International Scientific Conference Energy Efficiency and Agricultural Engineering EE & AE' 2006, Rousse, Bulgaria, June 7–9, 2006. Bulgaria, 2006. P. 129–134.
- Langler J. G., Smith C. Effects of habitat enhancement on 0-group in a lowland river // Regulated Rivers. Res. Manage. 2001. Vol. 17. P. 677–686.
- Brown L. C., Barnwell T. O. The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL2E and QUAL2EU. EPA/600/3-87/007. UAS, Athens, GA, 30613. 1987. 189 p.
- Benoit R. J. Self purification in natural waters // Water and Water Pollution Handbook. New York, 1971. Vol. 1. 63 p.
- O'Connor D. J., Muellrr J. A., Farley K. J. Distribution of kepone in the James River Estuary // ASCE J. Environ. Engrg. 1983. Vol. 109. P. 396–413.
- Doyle M. W., Stanley E. H., Harbor J. M. Hydrogeomorphic controls on phosphorus retention in stream // Water Resources Research. 2003. Vol. 39. No. 6. P. 11.
- Яворский Б. М., Детлаф А. А. Справочник по физике. Москва, 1974. 211 с.
- Bovee K. D., Lamb B., Bartholow J., Stalkner C., Taylor J., Henriksen J. Stream Habitat Analysis Using the Instream Flow Incremental Methodology. U.S. Geological Survey, Biological Resources Division. 1998. 130 p.
- Collings M. R., Smith R. W., Higgins G. T. The Hydrology of Four Streams in Western Wasington as Related to Several Pacific Salmon Species. U.S. Geological Survey Water Supply Paper, 1972. 109 p.
- Chapra S. C. Surface water – quality modeling. EPA/600/3-85/040. USEPA, Athens, Georgia. 1997. P. 12–54.
- Thomann R. V. System Analysis and Water Quality Management. McGraw–Hill, 1972. 286 p.
- Schroepfer G. J., Robins M. L., Susag R. H. Research program on Mississippi River in the Vicinity of Minneapolis and St. Paul. Advances // Water Pollution Resarch. 1964. Vol. 1. Part 1. P. 145.
- Lietuvos Respublikos aplinkos apsaugos departamento Centrinės aplinkos tyrimų laboratorijos Lietuvos upių vandens kokybės tyrimų duomenys. Vilnius, 1994. 37 p.
- Lietuvos Respublikos Aplinkos apsaugos ministerijos Lietuvos upių vandens kokybės tyrimų duomenys. Vilnius, 2000. 37 p.
- Hidrologijos metraščiai per 1922–2005 m. laikotarpį. Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba, 2006.
- Fischer H. B., List E. J., Imberger J., Brooks N. H. Mixing in Inland and Coastal Waters. NY: Academic Press, 1979. 483 p.
- Brown L. C., Barnwell T. O. Materials of Workshop on Water Quality Modeling using QUAL2EU. Imperial College, London. 1994. 250 p.
- Barnwell T. O., Brown L. C., Mareck W. Application of expert system technology in water quality modeling // Water Sci. Tech. 1989. Vol. 21(8–9). P. 1045–1056.
- Staniškis J., Vincevičienė V. Application of models for the Nemunas River water quality management // Aplinkos tyrimai, inžinerija ir vadyba. 1996. Nr. 1(2). 42 p.



Adelė Vaidelienė, Vytautas Vaidelys, Juozas Savickas

#### INVESTIGATION OF SELF-PURIFICATION OF THE NEMUNAS RIVER DOWNSTREAM THE KAUNAS HYDROPOWER PLANT

##### *Summary*

On the bottom of the dam usually various sediments concentrate. If on the dam a hydropower station is built, water of the functioning station streams through the dam and lifts sediments from the bottom. Though the process of sediment mixing with water depends on the mode of the plant functioning in all cases the downstream water after the dam is polluted with substances of different origin. All these substances mixed with water may be regarded as suspended or diluted organic and mineral impurities.

The paper deals with the mathematical description of the process of river water self-purification after a hydropower plant stream down the river. The mathematical model includes many parameters of water stream as well the distribution of pollution through a section of the river channel. Several trends of relations between the stream parameters and the pollution parameters are presented.

**Key words:** dam, stream, pollution, self-purification

Аделе Вайдялене, Витаутас Вайдялис, Юозас Савицкас

#### ИССЛЕДОВАНИЕ САМООЧИЩЕНИЯ РЕКИ НЯМУНАС В НИЖНЕМ БЬЕФЕ КАУНАССКОЙ ГЭС

##### *Резюме*

Многие водохранилища используются в качестве составной части гидроэнергетических станций, использующих потенциальную энергию накопленной в водохранилище воды. Протекающая как через турбины, так и через резервные протоки вода поднимает со дна водохранилища осадки и загрязняет ими нижний бьеф реки.

Целью работы явилось установление оптимальных режимов работы станции, позволяющих создавать наилучшие условия для самоочищения реки ниже ГЭС. Результаты работы получены способом математического моделирования процесса самоочищения реки.

**Ключевые слова:** водохранилища, осадки, загрязнения, нижний бьеф реки, самоочищение реки