



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

APLINKOS APSAUGOS KATEDRA

Laura Margenytė

**KLIMATO KAITOS ĮTAKOS PAVIRŠINIŲ VANDENŲ EUTROFIKACIJOS
PROCESAMS TYRIMAI IR VERTINIMAS**

**CLIMATE CHANGE IMPACTS ON SURFACE WATER EUTROPHICATION
RESEARCH AND ANALYSIS**

Baigiamasis magistro darbas

Aplinkos inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H17004

Aplinkos ir klimato inžinerijos specializacija

Aplinkos inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2012



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
APLINKOS APSAUGOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

(Vardas, pavardė)

(Data)

Laura Margenytė

**KLIMATO KAITOS ĮTAKOS PAVIRŠINIŲ VANDENŲ EUTROFIKACIJOS
PROCESAMS TYRIMAI IR VERTINIMAS**

**CLIMATE CHANGE IMPACTS ON SURFACE WATER EUTROPHICATION
RESEARCH AND ANALYSIS**

Baigiamasis magistro darbas

Aplinkos apsaugos inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H17004

Aplinkos ir klimato inžinerijos specializacija

Aplinkos inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

doc.dr. Aušra Zigmontienė

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas

doc.dr. Dainius Paliulis

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Lietuvių kalbos konsultantas

lektor. Regina Žukienė

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2012



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
APLINKOS APSAUGOS KATEDRA

Aplinkos inžinerijos studijų kryptis

TVIRTINU
Katedros vedėjas

Aplinkos apsaugos inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas
621H17004

(Parašas)

(Vardas, pavardė)

(Data)

**BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO
UŽDUOTIS**

.....Nr.
Vilnius

Studentui (ei) *Laurai Margenytei*.....
(Vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: *Klimato kaitos įtakos paviršinių vandenų eutrofikacijos procesams tyrimai ir vertinimas*.....

patvirtinta 201...m. d. dekanų potvarkiu Nr.

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 201...m. d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Atlikti išsamią literatūrinę analizę apie paviršinių vandens telkinių eutrofikacijos procesą bei klimato kaitos įtaką gamtiniams vandenims. Pasirinkti ir aprašyti paviršinių vandens telkinių tyrimų vietas pagal išskirtas urbanizuotas teritorijas. Aprašyti ir parengti tyrimų metodiką. Nustatyti azoto junginių nuotėkio susidarymą išskirtuose paviršiniuose vandens telkiniuose, vertinant eutrofikacijos procesą. Atlikti paviršinių vandens telkinių eutrofikacijos procesus įtakojančių azoto junginių natūrinius tyrimus ir analizę, natūralios ir antropogeninės taršos įtakos vandens telkinių kokybei analizę, vertinant ilgalaikius monitoringo duomenis bei koreliacinę analizę. Matematinio modeliavimo pagalba įvertinti biogeninių medžiagų išsiskyrimo šaltinius, įvertinti modeliavimo ir eksperimentinių rezultatų patikimumą. Parengti išvadas ir rekomendacijas. Pateikti išsamų analizuotos literatūros sąrašą. Parengti tyrimų pagrindu mokslinį straipsnį. Dalyvauti mokslinėje konferencijoje.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai: ...dr. Dainius Paliulis, lektorė Regina Žukienė.....
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Vadovas
(Paraša) ...doc. dr. Aušra Zigmontienė.....
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Užduotį gavau

.....
(Parašas)

.....Laura Margenytė.....
(Vardas, pavardė)

.....
(Data)



Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Aplinkso inžinerijos fakultetas

Aplinkos apsaugos katedra

ISBN ISSN

Egz. sk.

Data-.....-.....

Aplinkos inžinerijos studijų programos baigiamasis magistro darbas

Pavadinimas **Klimato kaitos įtakos paviršinių vandenių eutrofikacijos procesams tyrimai ir analizė**Autorė **Laura Margenytė**Vadovė **doc. dr. Aušra Zigmontienė**

Kalba

| | |
|-------------------------------------|----------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | lietuvių |
| <input type="checkbox"/> | užsienio |

Anotacija

Baigiamajame magistro darbe nagrinėjamas paviršinių vandens telkinių eutrofikacijos procesas bei klimato kaitos įtaka gamtiniams vandenims. Aprašytas tyrimų objektas ir tyrimų metodika. Baigiamajame magistro darbe analizuojami paviršinio vandens tyrimų rezultatai, pagrindinis tikslas nustatyti azoto junginių nuotėkio susidarymą išskirtuose paviršiniuose vandens telkiniuose, vertinant eutrofikacijos procesą.

Darbe sprendžiami keli pagrindiniai uždaviniai: paviršinių vandens telkinių tyrimo vietų parinkimas pagal išskirtas urbanizuotas teritorijas, temperatūrinio režimo ir pH rodiklio tyrimai pasirinktuose paviršiniuose vandens telkiniuose, paviršinių vandens telkinių eutrofikacijos procesus įtakančių azoto junginių natūriniai tyrimai ir analizė, natūralios ir antropogeninės taršos įtakos vandens telkinių kokybei analizė, vertinant ilgalaikius monitoringo duomenis ir atliekamas matematinis modeliavimas. Išsprendus uždavinius, pateikiamos baigiamojo darbo išvados ir rekomendacijos.

Darbą sudaro 4 dalys: įvadas, klimato kaitos poveikis vandens ekosistemoms, eutrofikacijos procesus paviršiniuose vandens telkiniuose įtakančių veiksnių tyrimų metodika, tyrimų rezultatų analizė, modeliavimas, išvados, rekomendacijos ir literatūros sąrašas.

Darbo apimtis – 104 p. teksto be priedų, 63 iliustr., 9 lent., 70 bibliografiniai šaltiniai.

Atskirai pridedami darbo priedai.

Prasminiai žodžiai: klimato kaita, eutrofikacija, paviršiniai vandenys, biogeninės medžiagos.



Vilnius Gediminas Technical University
Environmental Engineering faculty
Environmental Protection department

ISBN ISSN
Copies No.
Date-....-....

Environmental Engineering study programme master thesis.

Title: **Climate Change Impacts on Surface Water Eutrophication Research and Analysis**

Author **Laura Margenytė**

Academic supervisor **Aušra Zigmontienė**

Thesis language

Lithuanian

Foreign (English)

Annotation

In my final paper is discussed about eutrophication of surface water and about climate change impacts on natural waters. Described the object of research and research methodology. The aim of the final paper is to measure nitrogen runoff formation on surface water bodies in terms of eutrophication process.

There are few major tasks in the final paper: surface water study site selection by isolated urban areas, temperature control and pH indicator studies in selected surface water bodies, eutrophication processes operating in the nitrogen compounds in field investigations and analysis of natural and anthropogenic pollution affecting water quality, assessing the long-term monitoring data, analysis and mathematical modeling. In the last section of the final paper I give a summary of the whole paper, make specific conclusions and recommendations

Structure: introduction, first section is about climate change impacts on aquatic ecosystems, second section is about investigation methodology of the factors that affect the processes of eutrophication in surface waters, third section is about analysis of the results, fourth section is mathematical modeling, main conclusions and suggestions, references and appendix.

Thesis consist of: 102 p. text without appendixes, 63 pictures, 9 tables, 78 bibliographical entries.

Appendixes included.

Keywords: climate change, surface water, biogenic compounds, eutrophication

Vilniaus Gedimino technikos universiteto egzaminų, sesijų ir baigiamųjų darbų rengimo bei gynimo organizavimo tvarkos aprašo 2011-2012 m. m.

1 priedas

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Laura Margenytė, 20063131

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Aplinkos inžinerijos fakultetas

(Fakultetas)

Aplinkos inžinerija, AKImf-10

(Studijų programa, akademinė grupė)

BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)

SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

2012 m. gegužės 27 d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Klimato kaitos įtakos paviršinių vandenių eutrofikacijos procesams tyrimai ir vertinimas“ patvirtintas 2010 m. lapkričio 3 d. dekanų potvarkiu Nr. 397ap, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Prenkant ir įvertinant medžiagą bei rengiant baigiamąjį darbą, mane konsultavo mokslininkai ir specialistai: doc. dr. Dainius Paliulis. Mano darbo vadovas doc. dr. Aušra Zigmontienė.

Kitų asmenų indėlio į parengtą baigiamąjį darbą nėra. Jokių įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs (-usi).

(Parašas) Laura Margenytė
(Vardas ir pavardė)

Turinys

| | |
|--|----|
| Paveikslų sąrašas..... | 10 |
| Lentelių sąrašas..... | 14 |
| Įvadas | 15 |
| 1. Klimato kaitos poveikis vandens ekosistemoms..... | 18 |
| 1.1. Klimato kaita pasaulyje ir Lietuvoje..... | 18 |
| 1.2. Šiltnamio efektą sukeliančios dujos (ŠESD) | 21 |
| 1.3. Šiltnamio efektą sukeliančių dujų susidarymo šaltiniai..... | 24 |
| 1.4. Klimato kaitos įtaka vandens ekosistemoms | 31 |
| 1.5. Eutrofikacija ir ją įtakojančios veiksniai | 32 |
| 1.5.1. Eutrofikacijos poveikis paviršiniams vandenims..... | 35 |
| 1.5.2. Eutrofikacijos mažinimo bei uždumblėjimo sprendimo būdai | 38 |
| 1.6. Teršalų migracijos vandens ekosistemose modeliavimas..... | 40 |
| 1.7. Pirmojo skyriaus išvados | 41 |
| 2. Eutrofikacijos procesus paviršiniuose vandens telkiniuose įtakojančių veiksnių tyrimų metodika | 42 |
| 2.1. Tyrimų objektas | 42 |
| 2.2. Vandens mėginių paėmimo metodika..... | 44 |
| 2.3. pH, temperatūros ir skendinčių medžiagų nustatymo paviršiniuose vandens telkiniuose tyrimų metodika..... | 44 |
| 2.4. Bendrosios anglies nustatymas vandenyje | 48 |
| 2.5. Eutrofikacijos procesus sukeliančių įvairių azoto formų junginių vandenyje tyrimo metodika..... | 49 |
| 2.5.1. Niritų nustatymo paviršiniuose vandens telkiniuose metodika..... | 49 |
| 2.5.2. Nitratų kiekio nustatymas paviršiniuose vandens telkiniuose metodika | 53 |
| 2.6. Biocheminio deguonies suvartojimo bei ištirpusio deguonies kiekio vandenyje nustatymo metodika | 56 |
| 2.7. Antrojo skyriaus išvados..... | 58 |
| 3. Tyrimų rezultatų analizė | 59 |
| 3.1. Azoto ir jo junginių duomenų analizė paviršiniuose vandens telkiniuose..... | 59 |
| 3.2. Anglies ir jos junginių duomenų analizė paviršiniuose vandens telkiniuose | 67 |
| 3.3. Užterštumo charakteristikų analizė paviršiniuose vandens telkiniuose..... | 73 |
| 3.4. Koreliacinė duomenų analizė paviršiniuose vandens telkiniuose..... | 80 |
| 3.5. Tiriamųjų paviršinių vandens telkinių kokybės pokyčiai, vertinant 2001 – 2010 metų ilgalaikius monitoringo duomenis | 85 |
| 3.6. Trečiojo skyriaus išvados..... | 88 |

| | |
|---|-----|
| 4. Neries upės matematinis modeliavimas modeliavimo programa <i>Fyris</i> | 89 |
| 4.1 Vandens kokybės modelio kalibravimas Neries pabaseinyje bendrajam azotui..... | 90 |
| 4.2 Bendrojo azoto apkrovų pasiskirstymas Neries upėje | 92 |
| Išvados ir rekomendacijos..... | 94 |
| Literatūros sąrašas..... | 95 |
| Priedai | 102 |

Paveikslų sąrašas

| | |
|---|----|
| 1.1 pav. Vidutinė oro temperatūra Lietuvoje 1961 – 1990 ir 2010 m. (Lietuvos hidrometeorologijos... 2012) | 20 |
| 1.2 pav. Metinės oro temperatūros nuokrypiai nuo normos Lietuvoje (Lietuvos hidrometeorologijos... 2012) | 21 |
| 1.3 pav. Anglies apykaita. Linijų skaičiai rodo apykaitos srautų intensyvumą (Gt anglies per metus), sistemos dalių skaičiai – jose susikaupusias atsargas (GtC) (Balevičius ir kt. 2007) | 22 |
| 1.4 pav. Pagrindiniai atmosferos taršos šaltiniai (Baltrėnas ir kt. 2008) | 24 |
| 1.5 pav. ŠESD išmetimai 1990 – 2008 m., pagal dujas (Bieška ir kt. 2010) | 25 |
| 1.6 pav. ŠESD išmetimų tendencijos energetikos sektoriuje (Bieška ir kt. 2010) | 26 |
| 1.7 pav. ŠESD išmetimų tendencijos transporto sektoriuje (Bieška ir kt. 2010) | 27 |
| 1.8 pav. ŠESD išmetimų tendencijos pramonės procesuose (Bieška ir kt. 2010) | 28 |
| 1.9 pav. ŠESD išmetimų tendencijos žemės ūkio sektoriuje (Bieška ir kt. 2010) | 29 |
| 1.10 pav. ŠESD išmetimų tendencijos atliekų sektoriuje (Bieška ir kt. 2010) | 30 |
| 1.11 pav. Eutrofikacijos proceso schema (Pocienė ir Pocius 2008) | 34 |
| 1.12 pav. Eutrofikacijos procesai vandens telkinio pakrantėje | 35 |
| 2.1 pav. Paviršinio vandens ėminiai ežeruose (2 – Balžio ežeras; 6 – Balsio ežeras) | 42 |
| 2.2 pav. Vilnios upė ties Naująja Vilnia – 1 ėmimo taškas | 42 |
| 2.3 pav. Neries bei Vilnios upių mėginių ėmimo taškai (3 – Neries upė Valakupių antrame paplūdimyje; 4 – Neries upė Vilniaus miesto centre prie Mindaugo tilto; 5 – Vilnios upė ties Sereikiškių parku) | 43 |
| 2.4 pav. pH ir temperatūros matuoklis pHep HI 98127 (1 – baterijų skyrius; 2 – LCD ekranas; 3 – įjungimo/išjungimo mygtukas; 4 – pH elektrodas; 5 – temperatūros jutiklis; 6 – nustatymo/išlaikymo mygtukas) | 45 |
| 2.5 pav. Kontrolinis grafikas (VLK – viršutinė kritinė linija; ALK – apatinė kritinė linija; VĮL – viršutinė įspėjamoji linija, AĮL – apatinė įspėjamoji linija) | 47 |
| 2.6 pav. Shimadzu TOC – VCSH/TOC – VCSN serijos bendrosios anglies analizatoriumi | 48 |
| 2.7 pav. Nitritų kalibracinė kreivė | 51 |
| 2.8 pav. Nitratų kalibracinė kreivė | 55 |
| 2.9 pav. VELP Scientifica firmos BDS sensorių sistema su magnetine maišykle | 56 |
| 2.10 pav. Oxi 3205 ištirpusio deguonies matuoklis | 57 |
| 3.1 pav. Bendrojo azoto (Nb) koncentracijos Vilnios upėje tiriamuoju laikotarpiu, ekologinės būklės vertinimo kriterijus (2,0 mg/l) bei vidutinės mėnesinės aplinkos oro temperatūros | 59 |

| | |
|---|----|
| 3.2 pav. Nitritų azoto (NO ₂ -N) koncentracijos Vilnios upėje tiriamuoju laikotarpiu, didžiausia leistina koncentracija (DLK 0,03 mg/l) bei vidutinės mėnesinės aplinkos oro temperatūros | 60 |
| 3.3 pav. Nitratų azoto (NO ₃ -N) koncentracijos Vilnios upėje tiriamuoju laikotarpiu, ekologinės būklės vertinimo kriterijus (1,3 mg/l) bei vidutinės mėnesinės aplinkos oro temperatūros | 61 |
| 3.4 pav. Organinio azoto (N _{org}) koncentracijos Vilnios upėje tiriamuoju laikotarpiu bei vidutinės mėnesinės aplinkos oro temperatūros | 62 |
| 3.5 pav. Bendrojo azoto (Nb) koncentracijos Neries upėje tiriamuoju laikotarpiu, ekologinės būklės vertinimo kriterijus (2,0 mg/l) bei vidutinės mėnesinės aplinkos oro temperatūros | 63 |
| 3.6 pav. Nitritų azoto (NO ₂ -N) koncentracijos Vilnios upėje tiriamuoju laikotarpiu, didžiausia leistina koncentracija (0,03 mg/l) bei vidutinės mėnesinės aplinkos oro temperatūros | 63 |
| 3.7 pav. Nitratų azoto (NO ₃ -N) koncentracijos Neries upėje tiriamuoju laikotarpiu, ekologinės būklės vertinimo kriterijus (1,3 mg/l) bei vidutinės mėnesinės aplinkos oro temperatūros | 65 |
| 3.8 pav. Organinio azoto (N _{org}) koncentracijos Neries upėje tiriamuoju laikotarpiu bei vidutinės mėnesinės aplinkos oro temperatūros | 65 |
| 3.9 pav. Bendrojo azoto (Nb) koncentracijos Balsio bei Balžio ežeruose tiriamuoju laikotarpiu, ekologinės būklės vertinimo kriterijus (0,9 mg/l) bei vidutinės mėnesinės aplinkos oro temperatūros | 66 |
| 3.10 pav. Nitritų azoto (NO ₂ -N) koncentracijos Balsio bei Balžio ežeruose tiriamuoju laikotarpiu bei vidutinės mėnesinės aplinkos oro temperatūros | 67 |
| 3.11 pav. Nitratų azoto (NO ₃ -N) koncentracijos Balsio bei Balžio ežeruose tiriamuoju laikotarpiu bei vidutinės mėnesinės aplinkos oro temperatūros | 68 |
| 3.12 pav. Organinio azoto (N _{org}) koncentracijos Balsio bei Balžio ežeruose tiriamuoju laikotarpiu bei vidutinės mėnesinės aplinkos oro temperatūros | 68 |
| 3.13 pav. Bendrosios anglies koncentracijos Vilnios upėje ir vidutinės mėnesio oro temperatūros tiriamuoju laikotarpiu | 69 |
| 3.14 pav. Organinės anglies koncentracijos Vilnios upėje ir vidutinės mėnesio oro temperatūros tiriamuoju laikotarpiu | 70 |
| 3.15 pav. Neorganinės anglies koncentracijos Vilnios upėje ir vidutinės mėnesio oro temperatūros tiriamuoju laikotarpiu | 70 |
| 3.16 pav. Bendrosios anglies koncentracijos Neries upėje ir vidutinės mėnesio oro temperatūros tiriamuoju laikotarpiu | 71 |
| 3.17 pav. Organinės anglies koncentracijos Vilnios upėje ir vidutinės mėnesio oro temperatūros tiriamuoju laikotarpiu | 72 |
| 3.18 pav. Neorganinės anglies koncentracijos Vilnios upėje ir vidutinės mėnesio oro temperatūros tiriamuoju laikotarpiu | 72 |

| | |
|--|----|
| 3.19 pav. Bendrosios anglies koncentracijos Balsio bei Balžio ežeruose ir vidutinės mėnesio oro temperatūros tiriamuoju laikotarpiu | 74 |
| 3.20 pav. Organinės anglies koncentracijos Balsio bei Balžio ežeruose ir vidutinės mėnesio oro temperatūros tiriamuoju laikotarpiu | 75 |
| 3.21 pav. Neorganinės anglies koncentracijos Balsio bei Balžio ežeruose ir vidutinės mėnesio oro temperatūros tiriamuoju laikotarpiu | 76 |
| 3.22 pav. Biocheminio deguonies (BDS ₅) suvartojimo kitimo tendencijas Vilnios upėje ir vidutinės mėnesio oro temperatūros tiriamuoju laikotarpiu | 76 |
| 3.23 pav. Ištirpusio deguonies kiekis Vilnios upėje ir vidutinės mėnesio oro temperatūros tiriamuoju laikotarpiu | 77 |
| 3.24 pav. Skendinčių medžiagų Vilnios upėje ir vidutinės mėnesio oro temperatūros tiriamuoju laikotarpiu | 78 |
| 3.25 pav. Biocheminio deguonies (BDS ₅) suvartojimo kitimo tendencijas Neries upėje ir vidutinės mėnesio oro temperatūros tiriamuoju laikotarpiu | 79 |
| 3.26 pav. Ištirpusio deguonies kiekis Neries upėje ir vidutinės mėnesio oro temperatūros tiriamuoju laikotarpiu | 79 |
| 3.27 pav. Skendinčių medžiagų Neries upėje ir vidutinės mėnesio oro temperatūros tiriamuoju laikotarpiu | 80 |
| 3.28 pav. Biocheminio deguonies (BDS ₅) suvartojimo kitimo tendencijas Balsio bei Balžio ežeruose ir vidutinės mėnesio oro temperatūros tiriamuoju laikotarpiu | 81 |
| 3.29 pav. Ištirpusio deguonies kiekis Balsio bei Balžio ežeruose ir vidutinės mėnesio oro temperatūros tiriamuoju laikotarpiu | 81 |
| 3.30 pav. Skendinčių medžiagų Balsio bei Balžio ežeruose ir vidutinės mėnesio oro temperatūros tiriamuoju laikotarpiu | 82 |
| 3.31 pav. Skendinčių medžiagų Balsio bei Balžio ežeruose ir vidutinės mėnesio oro temperatūros tiriamuoju laikotarpiu | 83 |
| 3.32 pav. Bendrojo azoto (Nb) koncentracijos Vilnios upėje tiriamuoju laikotarpiu, ekologinės būklės vertinimo kriterijus (2,0 mg/l) bei vidutinės mėnesinės aplinkos oro temperatūros | 84 |
| 3.33 pav. Nitritų azoto (NO ₂ -N) koncentracijos Vilnios upėje tiriamuoju laikotarpiu, didžiausia leistina koncentracija (DLK 0,03 mg/l) bei vidutinės mėnesinės aplinkos oro temperatūros | 85 |
| 3.34 pav. Nitratų azoto (NO ₃ -N) koncentracijos Vilnios upėje tiriamuoju laikotarpiu, ekologinės būklės vertinimo kriterijus (1,3 mg/l) bei vidutinės mėnesinės aplinkos oro temperatūros | 86 |

| | |
|---|----|
| 3.35 pav. Organinio azoto (N_{org}) koncentracijos Vilnios upėje tiriamuoju laikotarpiu bei vidutinės mėnesinės aplinkos oro temperatūros | 86 |
| 3.36 pav. Bendrojo azoto (N_b) koncentracijos Neries upėje tiriamuoju laikotarpiu, ekologinės būklės vertinimo kriterijus (2,0 mg/l) bei vidutinės mėnesinės aplinkos oro temperatūros | 87 |
| 3.37 pav. Nitritų azoto (NO_2-N) koncentracijos Vilnios upėje tiriamuoju laikotarpiu, didžiausia leistina koncentracija (0,03 mg/l) bei vidutinės mėnesinės aplinkos oro temperatūros | 87 |
| 4.1 pav. Neries upės pabaseinis (Aplinkos apsaugos... 2010) | 89 |
| 4.2 pav. <i>Fyris</i> modelio principinė schema (Hansson <i>et al</i> 2006) | 90 |
| 4.3 pav. Stebėtų ir modeliuotų bendrojo azoto (N_b) koncentracijų dinamika 2001-2008 metais Neries upėje | 91 |
| 4.4 pav. Bendrasis azotas (N_b), patenkantis iš visų taršos šaltinių į Neries upę 2001–2008 metais | 92 |

Lentelių sąrašas

| | |
|---|----|
| 1.1 lentelė. Pagrindiniai ŠESD emisijos šaltiniai energetikos sektoriuje 2006 m. (Metinė ataskaita 2007) | 25 |
| 1.2 lentelė. ŠESD emisijos iš pagrindinių pramoninių šaltinių 2006 m. (Metinė ataskaita 2007) | 27 |
| 1.3 lentelė. ŠESD emisijos iš pagrindinių žemės ūkio šaltinių 2006 m. (Metinė ataskaita 2007) | 29 |
| 1.4 lentelė. ŠESD emisijos iš pagrindinių šaltinių atliekų sektoriuje 2006 m. (Metinė ataskaita 2007) | 30 |
| 1.5 lentelė. Ežerų trofinė klasifikacija ir jos kriterijai (Kilkus 2005) | 37 |
| 1.6 lentelė. Ežerų trofiškumas bei žuvų rūšinė sudėtis (Gailiusis ir kt. 1999) | 37 |
| 2.1 lentelė. Prietaiso pHep HI 98127 matavimo ribos | 45 |
| 2.2 lentelė. Buteliukų tipai ir mėginio kiekis | 49 |
| 2.3 lentelė. Standartinio nitrito tirpalo tūriai bei nitritų masė tirpaluose | 51 |
| 4.1 lentelė. Tirta Neris pabaseinio charakteristikos | 89 |

Įvadas

Problema

Globalinis atšilimas, padidėjęs oro, dirvožemio, vandens užterštumas, rūgštieji lietūs, ozono sluosnio plonėjimas, miškų naikinimas, radioktyviųjų dalelių emisijos į aplinką – tai aplinkosauginės problemos, kurios yra aktualios visai žmonijai šiame technikos amžiuje (Lietuvos Respublikos... 1992).

Aplinkos sąlygų būklės pokyčiai lemia kraštovaizdžio, iš jų ir svarbiausių jo akcentų – ežerų, upių bei tvenkinių raidą, jų naudojimo ir pritaikymo rekreacijai galimybes. Intensyvi ūkinė veikla vandens telkinių bei juos maitinančių upių baseinuose gali turėti lemiamą įtaką ežerų kokybiniams ekosistemų pakitimams. Šios problemos yra aktualios tiek Lietuvoje, tiek ir visame Pasaulyje (Balevičius ir kt. 2007).

Klimato kaita, stratosferos ozono sluoksnio nykimas ir ultravioletinės (UV) spinduliuotės intensyvumo augimas, rūgštieji lietūs bei priežemio ozono koncentracijos didėjimas, spartėjanti ekosistemų eutrofikacija paprastai traktuojami kaip svarbiausi antropogeniniai procesai, lemiantys neigiamus augmenijos būklės, produktyvumo bei biologinės įvairovės pokyčius.

Vandens ekologinė reikšmė yra labai didelė. Greta to, kad vanduo sudaro net apie 70 % gyvųjų organizmų svorio, jis yra terpė svarbiems biologiniams procesams. Be to, įsigraūdamas vienoje vietoje ir susikaupdamas kitoje, vanduo skatina geologinius pokyčius. Lietuva yra drėgmės pertekliaus zonoje; per daugiametį laikotarpį vidutiniškai iškrinta 748 mm kritulių, o išgaruoja tik 512 mm. Likusioji dalis – 236 mm (arba 32 % kritulių) paviršiumi arba su požeminiais srautais tiesiogiai ar per kaimynines šalis nuteka į jūrą (Baltrėnas ir kt. 2008).

Pasikeitus vietovės klimatui, neišvengiamai kinta jos teritorijoje esančių vandens objektų vandens balansas, vandens lygis, vandens temperatūros ir ledo dangos režimas. Visi šie veiksniai veikia paviršinių vandens telkinių fizinius parametrus bei eutrofikaciją.

Darbo aktualumas

Eutrofikacijos procesą sukelia antropogeninė tarša ir besikeičiantis klimatas. Eutrofikacijos procesams įtaką visų pirma daro maistingųjų medžiagų patekimas į vandens telkinius, dėl kurių skatinamas dumblių augimas ir organinių medžiagų pertekliaus susidarymas, kuris pakeičia sistemos pusiausvyrą ir funkcionavimą. Eutrofikacijos problemą ir jos aktualumą bei pasekmes ežerams įrodė Kanados profesorius Davidas Šindleris (David Schindler), 1970 metais atlikęs tyrimus Ontarijo ežere. Jis teigė, jog eutrofikacija gali sukelti dramatiškas pasekmes vandens ekosistemoms – nuodingų dumblių žydėjimą, žuvų mažėjimą vandens telkiniuose.

Klimato kaitos pasekmės vandens ekosistemoms – prognozuojamas upių nuotėkio persiskirstymas laiko atžvilgiu: dažnesni poplūdžiai visais metų laikais, mažesni pavasario potvyniai ir didesnė

minimalaus nuotėkio tikimybė vasarą. Tai padidins paviršinių vandenių biologinį užterštumą vasarą ir sumažins bendrą užterštumą pavasarį. Dėl dažnesnio ekstremalių kritulių pasikartojimo padidės labai stiprių, neįprastose vietose lokalizuotų poplūdžių rizika. Augant oro ir vandens temperatūrai spartės eutrofikacijos procesai, prastės vandens išteklių kokybė. Kylantis jūros lygis bei dažnesnės žiemos audros lems ir dažnesnius potvynius Nemuno upės deltoje.

Klimato kaitos poveikis vis aktualesnis eutrofikacijos procesams vandens telkiniuose. Klimato kaitos pasekmės vandens telkiniams gali būti jų išnykimo priežastis. Šaltomis žiemomis ežerai iššąla iki dugno, žuvims bei kitiems gyvams ima trūkti deguonies, jie dūsta bei žūva. Šiltomis vasaromis dėl mažų gylių vanduo labai įšyla, padidėja garavimas nuo ežero paviršiaus, susidaro labai nepalankios sąlygos kai kurioms hidrobiontų grupėms. Temperatūros režimo ekstremalios reikšmės, jų trukmė tampa svarbiausiu veiksniu, limituojančiu ekosistemos egzistavimą. Organizmų rūšys, kurios nepasižymi termine tolerancija, patiria stresą, nesugeba prisitaikyti. Ekosistemoje vyksta negrįžtami pokyčiai (Gailiūšis ir kt. 2002).

Darbo tikslas

Nustatyti azoto junginių nuotėkio susidarymą išskirtuose paviršiniuose vandens telkiniuose, vertinant eutrofikacijos procesą.

Darbo uždaviniai

1. Paviršinių vandens telkinių tyrimo vietų parinkimas pagal išskirtas urbanizuotas teritorijas;
2. Temperatūrinio režimo ir pH rodiklio tyrimai pasirinktuose paviršiniuose vandens telkiniuose;
3. Paviršinių vandens telkinių eutrofikacijos procesus veikiančių azoto junginių natūriniai tyrimai ir analizė;
4. Natūralios ir antropogeninės taršos įtakos vandens telkinių kokybei analizė, vertinant ilgalaikius monitoringo duomenis;
5. Antropogeninės taršos įtakos eutrofikacijos procesams matematinis modeliavimas modeliavimo programa *Fyris*.

Darbo naujumas

Kompleksiniai paviršinių vandens telkinių tyrimai, vertinant vykstančius eutrofikacijos procesus, ir jų priklausomybę nuo sezoniškumo.

Darbo praktinė vertė

Atlikti tyrimai gali būti pritaikyti rengiant, projektuojant bei vertinant vandentvarkos priemonių (nuotekų išleistuvus, pralaidas, žuvitakius) bei civilinių statinių (užtvankas, tiltus), kurios būtų



efektyvesnės ateities klimato sąlygomis, įtaką paviršinių vandens telkinių natūraliems bei antropogeniniams eutrofikacijos procesams.

1. Klimato kaitos poveikis vandens ekosistemoms

1.1. Klimato kaita pasaulyje ir Lietuvoje

Klimato kaita jau vyksta, ir jos poveikis mums vis didėja. Klimato pokyčiai aktualūs yra ne tik Lietuvai – tai pasaulinio masto problema. Klimatas daugelyje pasaulio šalių, įskaitant ir Europą, šyla. Vidutinė pasaulio temperatūra pakilo maždaug 0,7 °C (European Environmental Agency 2004). Per paskutiniuosius 25 metus Žemės temperatūra kilo 0,18 °C per dešimtmetį, o tai yra daugiau nei dvigubai daugiau negu vidutiniškai per paskutiniuosius 100 metų (Ministry of... 2008). Tuo tarpu Europoje – 0,95 °C per pastaruosius šimtą metų (European Environmental Agency 2004).

Arkties zonoje, įskaitant Grenlandiją, klimato pokyčiai yra ryškesni negu kitose planetos vietose. Vis šiltėjantis klimatas sąlygoja tai, kad pasaulyje tirpsta ašigalių ledynai, traukiasi kalnų ledynai – Šiaurės ašigalyje vandenyną dengiantys Arkties ledynai per pastaruosius dešimtmečius sumažėjo 10 %, ledynų storis virš vandens – apie 40 %, Antarktidos žemyną dengianti ledynų danga tapo nestabili, viso to pasekmė yra kylantis jūros lygis, kuris per šimtmetį pakilo 10–25 cm (Europos komisija 2006). Kylant jūros lygiui, krantai bus išgraužti ir didelei daliai žmonių, gyvenančių žemose teritorijose, grės potvynio pavojus (Ministry of... 2008).

Vandenyno vaidmuo klimato sistemoje labai svarbus: vandenynas lemia planetos evoliuciją (atmosferos dujinę sudėtį ir biosferos raidą); kaupia spindulinę energiją ir akumuliuotą šilumą perskirsto tarp platumų; formuoja globalią vandens apytaką; dalyvauja kartu su atmosfera globaliuose cirkuliacijos procesuose (Balevičius ir kt. 2007).

Klimato kaita taip pat lemia ekstremalias oro sąlygas – audras, potvynius, sausrą ir karščio bangas. Pastarąjį dešimtmetį pasaulį ištiko tris kartus daugiau su oro sąlygomis susijusių gamtos katastrofų nei septintąjį dešimtmetį. Be to, prarandamas ketvirtadalis planetos augalų bei gyvūnų rūšių.

Kita visuotinio atšilimo problema gali tapti gėlo vandens bei maisto trūkumas. Jei temperatūra pasaulyje taps 2,5 °C aukštesnė nei prieš industrijos amžių, vandens ims trūkti 2,4–3,1 milijardo žmonių visame pasaulyje, o 50 milijonų žmonių grėstų badas dėl mažėjančio derliaus. Taip pat dėl palankių klimato sąlygų gali imti plisti tropikų ligos (Europos komisija 2006).

Klimato kaita pasireiškia visuose pasaulio regionuose. Šalčių ir pūgų nualintus europiečius nepaliauja stebinti Pasaulinės meteorologijos organizacijos pranešimai: 2010 – ieji, kartu su 1998 ir 2005 metais, žada patekti į pačių šilčiausių metų visoje planetoje trejetuką nuo 1880 m.

2009 metų gruodžio pirmoji pusė planetoje irgi buvo neįprastai šilta, išskyrus Europą ir JAV rytinę pakrantę. Šiuose dviejuose regionuose lapkritį ir gruodžio pradžioje oro temperatūra už daugiamečių vidurkį buvo žemesnė 2–4 °C. Tačiau tuo pat metu Arktuje temperatūra klimatinę normą daug kur viršijo

3–6 °C (vietomis net 8 °C), keliais laipsniais šilčiau nei įprasta buvo Sibire, Vidurinėje Azijoje, Šiaurės Vakarų Kinijoje, Šiaurės Afrikoje, Arabijos pusiasalyje.

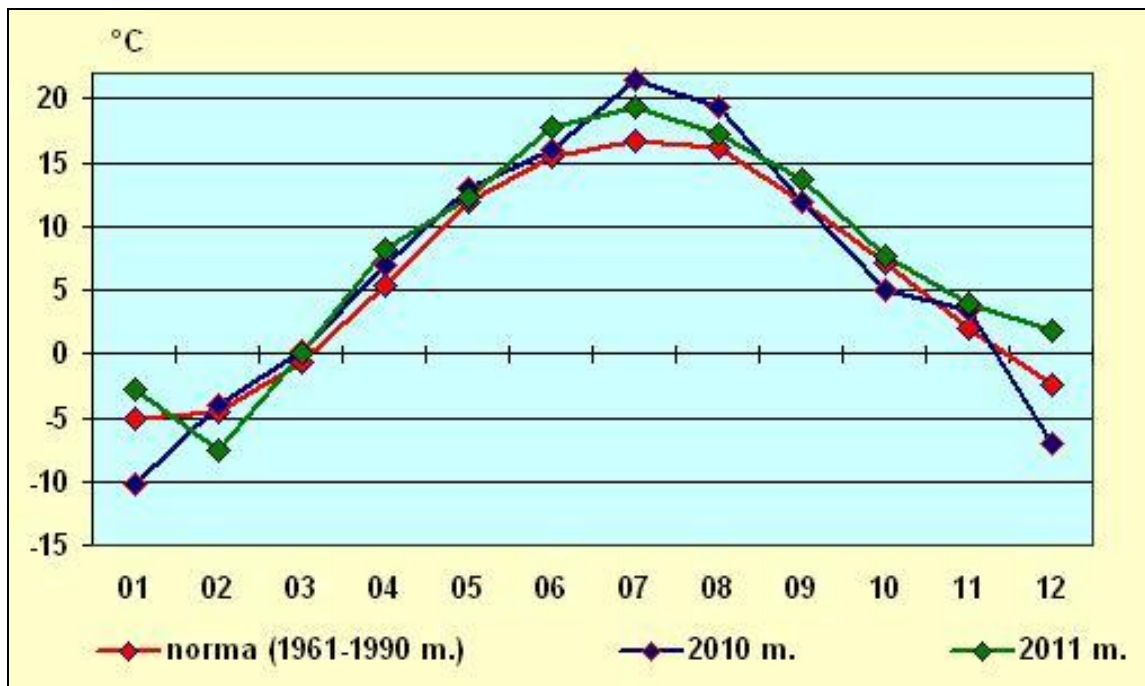
Net vandenynų paviršiaus temperatūra 2010 m. viršijo šilumos rekordus: 1–2 °C daugiau daugiamečio vidurkio temperatūra sinchroniškai pakilo abiejų galingiausių Šiaurės pusrutulio šiltųjų srovių (Golfo Atlante ir Kurosio Ramiajame vandenyne), o aplink Grenlandiją Deviso sąsiauryje ir Bafino jūroje vandenyno temperatūra net 2–3 °C aukštesnė už klimatinę normą. Atlantas, kaip nė vienas kitas vandenynas, 2010 m. išsiskyrė dar ir tropiniais ciklonais: susidarė net 19 tropinių audrų, 12 jų peraugo į uraganą (norma atitinkamai 10 tropinių audrų ir 5 uraganai).

Neabejotina, kad pastarasis 2001–2010 m. dešimtmetis yra šilčiausias nuo pat XIX a. vidurio. Šylant klimatui teks priprasti ir prie ekstremalių ilgalaikių oro anomalijų. Jos bus panašios į tas kaitras, kurios šį dešimtmetį vos ne kasmet kankino įvairius Europos regionus, Australiją ir JAV vakarinę pakrantę. Tai bus pūgos ir šalčiai, panašūs į tuos, kurie siautėjo Europoje pernai sausį ir gruodį, o liūtytės ir potvyniai – vasarą ir rudenį. Tai bus vis didesnės Arkties vandenyno platybės, liekančios be daugiamečio ledo dangos (World Meteorological...2010). Visos šios ekstremalios oro sąlygos yra klimato kaitos požymiai pasaulyje.

Lietuvoje kaip ir visame pasaulyje pasireiškia klimato kaitos požymiai. Pagal Vilniaus universiteto Ekologijos instituto 2007 metais parengtą klimato kaitos poveikio šalies ekosistemoms, bioįvairovei, vandens ištekliams, žemės ir miškų ūkiui ir žmonių sveikatai įvertinimo studiją ir pasekmių švelninimo strateginį planą numatomi tokie pagrindiniai klimato rodiklių pokyčiai Lietuvoje XXI amžiuje:

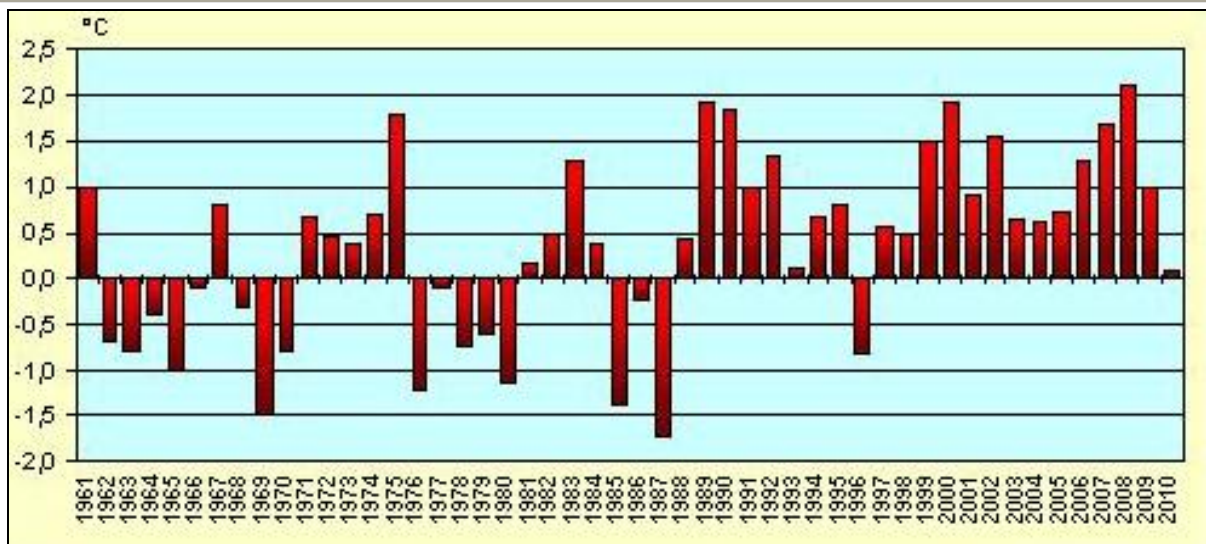
- stipriai augs oro temperatūra. Pokyčiai šaltuoju laikotarpiu bus didesni. Didės tarpariniai oro temperatūros svyravimai;
- dauguma klimato modelių prognozuoja gana nežymų metinio kritulių kiekio didėjimą. Tai įtakos ypač stiprus kritulių kiekio padidėjimas šaltuoju metų laikotarpiu. Tuo tarpu šiltuoju metų laikotarpiu ir ypač antroje vasaros pusėje, numatomas kritulių kiekio mažėjimas;
- vidutinis vėjo greitis keisis labai nežymiai. Tačiau didės vėjo greičio fluktuacijos susijusios su dažnesnių audrų pasikartojimu;
- kaip ir kritulių kiekis oro drėgnumas išaugs šaltuoju metų laikotarpiu, tuo tarpu šiltuoju periodu ryškiai sumažės. Ypač ženklūs neigiami pokyčiai numatomi antroje vasaros pusėje bei rudens pradžioje;
- sniego storis ir dienų su sniegu danga skaičius ženkliai sumažės (ypač vakarinėje Lietuvos dalyje);
- didės teritorijos audringumas augs ypač stiprių liūčių pasikartojimas, perkūnijų, krušos skaičius. Labai padidės sausringumas, ypač liepos – rugsėjo mėnesiais. Galimi vis dažnesni trumpalaikio stipraus žiemos šalčio įsiveržimai į sniegu nepadengtą teritoriją.

Vidutinė metų oro temperatūra Lietuvoje 1991–2006 m. lyginant su 1961–1990 m. pakilo 0,7–0,9 °C, tai rodo klimato šiltėjimą (Bukantis ir kt. 2008). Atšilimo tendencijos ryškiausios Šiaurės ir Vakarų Lietuvoje. Pastarųjų 16 metų (1991–2006 m.) vidutinė metinė oro temperatūra visoje Lietuvos teritorijoje perkopė 6 °C ribą ir siekia 6,5–7,9 °C. Nuo 1961 m. patys šilčiausi buvo 2008 m., kai vidutinė metinė oro temperatūra Lietuvoje buvo 8,3 °C, t. y. 2,2 °C aukštesnė už klimato normą, 2009 m. vidutinė oro temperatūra buvo 7,2 °C, t.y. 1,1 °C aukštesnė už klimato normą (Bieška ir kt. 2010). Kaip matyti iš 1.1 paveikslo, 2010 m. bei 2011 m. oro temperatūra taip pat viršija daugiametę klimato normą Lietuvoje.



1.1 pav. Vidutinė oro temperatūra Lietuvoje 1961 – 1990, 2010 ir 2011 m. (Lietuvos hidrometeorologijos... 2012)

XX a. pabaigoje pradėjo daugėti ekstremaliai karštų dienų, kai paros maksimali oro temperatūra lygi arba viršija 30 °C. Šių dienų tikimybė 1991–2006 m., lyginant su 1961–1990 m., išaugo 2–2,5 karto ir dabar siekia 2–6 dienas per metus. Didžiausia jų tikimybė Pietų ir Pietvakarių Lietuvoje. Tuo tarpu speiguotų dienų, kai paros minimali oro temperatūra nukrinta iki –20 °C ir žemiau, Lietuvoje pastebimai sumažėjo: jeigu 1961–1990 m. Rytų Lietuvoje jų per žiemą pasitaikydavo vidutiniškai po 12–15, tai pastaraisiais metais – tik po 8–9 per sezoną. Nustatyta, jog šie karščių ir speigų tikimybės pasikeitimai daugiausiai susiję su anticikloninių procesų dažnesniu pasikartojimu vasarą ir retesniu žiemą (Bukantis ir kt. 2008). 1.2 paveiksle matyti Lietuvos metinių temperatūrų nuokrypiai nuo normos.



1.2 pav. Metinės oro temperatūros nuokrypiai nuo normos Lietuvoje (Lietuvos hidrometeorologijos... 2011)

Padidėjęs ar sumažėjęs kritulių kiekis taip pat rodo, jog vyksta klimato pokyčiai. Lietuvoje vidutinis metinis kritulių kiekis 1991–2006 m., lyginant su 1961–1990 m., Vakarų ir Vidurio Lietuvoje sumažėjo 12–56 mm, o Pietų ir Šiaurės rytų Lietuvoje padidėjo 20–66 mm (Bukantis ir kt. 2008). 2008 m. iškritęs kritulių kiekis buvo 697 mm – artimas 1961–1990 m. klimato normai, kuri yra 675 mm (Beinoravičius ir kt. 2009). 2009 m. iškrito 721 mm kritulių, šis kiekis buvo 46 mm didesnis už 1961–1990 m. klimato normą (Arustienė ir kt. 2010). Per žiemą susidarantis maksimalus sniego dangos storis 0,8–2 cm padidėjo. Tai susiję su pastaraisiais metais didėjančiu šaltojo laikotarpio kritulių kiekiu ir dažnesniu gausaus snygio pasikartojimu (Bukantis ir kt. 2008).

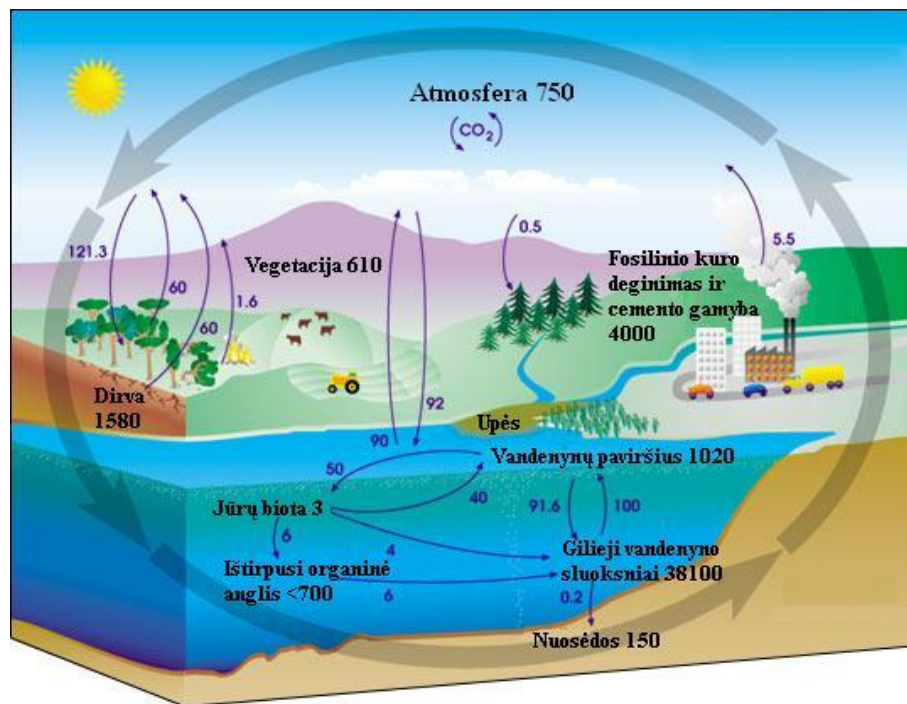
1.2. Šiltnamio efektą sukeliančios dujos (ŠESD)

Didžiausią poveikį klimatui darė ir daro termodinamiškai aktyvios (šiltnamio) dujos ir priemaišos (Balevičius ir kt. 2007). Šiltnamio efektą sukeliančios dujos – tai visos dujos, kurios dėl tam tikros molekulinės struktūros gali absorbuoti infraraudonuosius spindulius (šilumą). Atmosferoje jos atlieka labai svarbų vaidmenį sulaikydamos Žemę pasiekusią šilumą ir tokiu būdu pakeldamos žemesniųjų atmosferos sluoksnių temperatūrą. Jei ne šios dujos, Žemės paviršiaus temperatūra būtų apie 30 °C žemesnė, tačiau didėjant jų koncentracijoms, atmosferos temperatūra kyla (Darnusis vystymasis... 2009).

Yra dešimt pagrindinių šiltnamio efektą sukeliančių dujų. Vandens garai (H₂O), anglies dioksidas (CO₂), metanas (CH₄) bei diazoto monoksidas (N₂O) yra natūralios dujos, o hidrofluorangliavandeniliai (HFC–CHF₃, CF₃CH₂F, CH₃CHF₂), perfluorangliavandeniliai (PFC – CF₄, C₂F₆) bei sieros heksafluoridas (SF₆) susidaro atmosferoje tik dėl pramoninių procesų (Houghton *et al* 1990). Nuo jų didėja atmosferos gebėjimas sulaikyti šilumą ir kyla temperatūra.

Didžiausią dalį (2/3) natūralaus šiltnamio efekto sudaro vandens garai (21 °C), toliau seka anglies monoksidas (7 °C), troposferos ir stratosferos ozonas (2 °C), diazoto monoksidas (1,4 °C), metanas (0,8 °C) ir visoms likusioms šiltnamio dujoms tenka taip pat 0,8 °C. Išaugus šiltnamio dujų koncentracijai, stiprėja šiltnamio efektas, kyla žemutinių troposferos sluoksnių temperatūra (Balevičius ir kt. 2007).

Dauguma šiltnamio efektą sukeliančių dujų susidaro gamtoje, vykstant natūraliems procesams, bet dabar ore jų yra per daug (Lietuvos Respublikos... 2006). Anglies apykaitos tarp atmosferos, sausumos ir vandenyno parametrizavimas yra būtina sąlyga, siekiant teisingai interpretuoti šiuolaikinius klimato pokyčius bei numatyti kaitos tendencijas (1.3 pav.) Kadangi svarbiausios šiltnamio efektą sukeliančios dujos – tai anglies dvideginis (CO₂). Jis išsiskiria visuose degimo procesuose, kitaip sakant, jo negalima išvengti deginant organinį kurą. Manoma, kad žmonių veiklos metu pusė išsiskiriančio anglies dioksido lieka atmosferoje, kitą pusę sugeria žemė ir vandenynas. Kadangi atmosferoje anglies dioksidas išsilaiko vidutiniškai 50–200 metų, tai šių dienų efektas bus jaučiamas vėlesniais šimtmečiais (Lietuvos Respublikos... 2006).



1.3 pav. Anglies apykaita. Linijų skaičiai rodo apykaitos srautų intensyvumą (Gt anglies per metus), sistemos dalių skaičiai – jose susikaupusias atsargas (GtC) (Balevičius ir kt. 2007)

Dėl žmogaus ūkinės veiklos anglies dioksido į atmosferą patenka daug daugiau nei sugeba jį absorbuoti ir sukaupti sausuma bei Pasaulio vandenynas. Anglies dioksidas gerai tirpsta vandenyje. Taip pat anglies dioksido fotosintezei naudoja fitoplanktonas. Sausumos ekosistemose daug jo suvaržo augalai (fotosintezei), ir įsisavinimas galėtų dar padidėti, nes didesnis CO₂ kiekis atmosferoje lemia ir spartesnę anglies dioksidą absorbuojančios biomasės didėjimą (Balevičius ir kt. 2007), kurio pasekmė

vandens telkiniams yra didėjanti eutrofikacija.

Pagrindinės dėl žmonių veiklos išsiskiriančios ir šiltnamio efektą sukeliančios dujos yra anglies dioksidas. Jis sudaro apie 75 % visos „šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos“. Kitos dėl žmonių veiklos išsiskiriančios šiltnamio efektą sukeliančios dujos yra metanas ir diazoto monoksidas. Jos išsiskiria kartu su nematomomis dujomis iš atliekų sąvartynų, galvijų, ryžių laukų ir tam tikrai būdais tręšiant dirvą (Europos komisija 2006).

Jungtinėse Amerikos Valstijose (JAV) daugiausia metano ir amoniako išsiskiria gyvulininkystės pramonėje. Metanas yra šiltnamio efektą sukeliančios dujos, jis 23 kartus labiau sukelia šiltnamio efektą nei anglies dioksidas (CO_2), metanas sudaro beveik 10 % visų JAV išmetamų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį. Nors metanas gyvuoja trumpiau nei CO_2 , tačiau jis yra daug pavojingesnis (Burtraw 2006).

Sintetinės hidrofluorangliavandenilių, perfluorangliavandenilių, sieros heksaflorido bei halonų dujos – tai antros klasės šiltnamio efektą sukeliančios dujos, kurios neegzistavo atmosferoje iki 20 amžiaus (Butler *et al* 1999). CF_4 ir perfluorangliavandeniliai yra randami ledo šerdyse ir jų natūralus kiekis yra labai mažas (Harnisch ir Eisenhauer 1998). Fluorintos dujos naudojamos šaldymo bei oro kondicionavimo sistemose ir patenka į atmosferą, jei įranga nesandari arba jei nebenaudojami prietaisai nesunaikinami pagal taisykles (Europos komisija. 2006).

Šiltnamio dujų koncentracija atmosferoje išreiškiama milijoninėmis dalimis (*parts per million (ppm)*) arba milijardinėmis dalimis (*parts per billion (ppb)*). 1 ppm reiškia vieną tam tikrų dujų molekulę iš milijono visų esamų dujų molekulių, o 1 ppb – iš milijardo.

Šiltnamio dujos labai skiriasi pagal savo išsilaikymo atmosferoje trukmę. Pavyzdžiui, CO_2 atmosferoje gali išbūti 50 – 200 metų, metanas – 12, azoto suboksidas – 114, tuo tarpu kai kurių fluoruotų šiltnamio dujų (SF_6 , CF_4) gyvavimo trukmė gali siekti net kelias dešimtis tūkstančių metų (Balevičius ir kt. 2007).

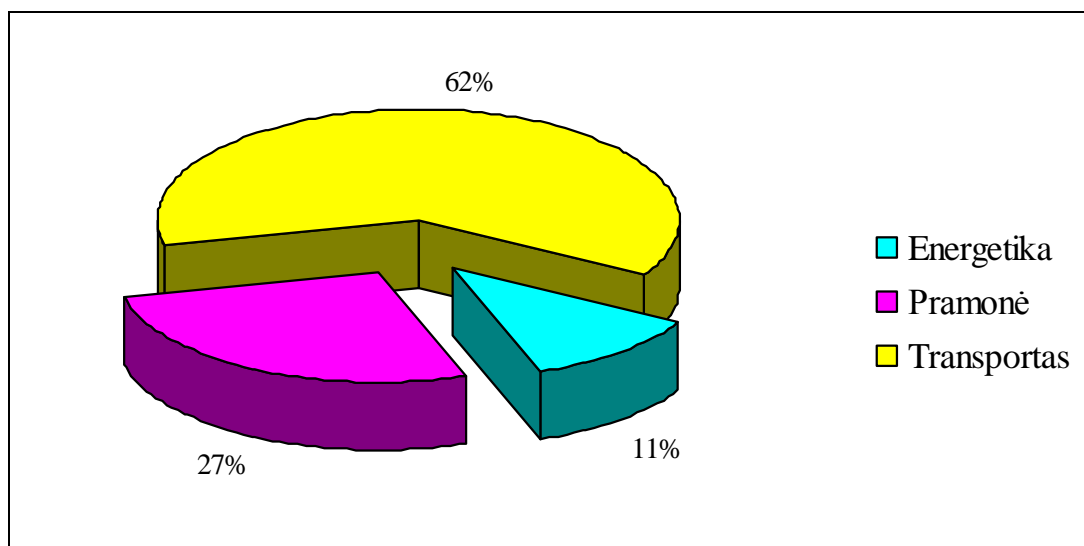
Vertinant poveikį pasauliniam atšilimui, rūgštėjimą, eutrofikaciją, ozono sluoksnio irimą ir fotocheminio ozono susidarymo potencialą, taikant dauginimo koeficientus atskirus teršalus galima paversti atitinkamomis pamatinėmis medžiagomis. Pavyzdžiui, pačias įvairiausias dujas, kurios sukelia šiltnamio efektą, galima išreikšti anglies dvideginio ekvivalentais ir taip apibūdinti jų „pasaulinio atšilimo potencialą“ (PAP). Kai atskiri teršalai išreiškiami kaip pamatinės medžiagos, tada juos galima lyginti tiesiogiai, o taip pat susumuoti teršalus ir įvertinti bendrą visų išmetamų teršalų svarbą. Tada masinį kiekvienų dujų, sukeliančių šiltnamio efektą, išmetimą naudojant alternatyvius variantus galima padauginti pagal konkrečių dujų PAP ir išreikšti kaip lygiavertį anglies dvideginio masės poveikį.

Pasaulinio atšilimo potencialas (PAP) – tai indeksas, leidžiantis įvertinti santykinį išmetamų konkrečių dujų, sukeliančių šiltnamio efektą, kilogramo indėlį į pasaulinį atšilimą lyginant su išmetamu anglies dvideginio kilogramu (PAP yra išreiškiamas kaip CO_2 ekvivalento kg).

Išmetamos į atmosferą šiltnamio dujos turi skirtingą pasaulinio atšilimo potencialą, kuris yra išreiškiamas santykiniu dydžiu CO₂ atžvilgiu. Todėl siekiant išreikšti šiltnamio dujas CO₂ ekvivalentu, atsižvelgiant į tarptautinius susitarimus, naudojamos šios pasaulinio atšilimo potencialo vertės: CO₂ – 1; CH₄ – 21; N₂O – 310 (Miškinis ir kt. 2007), CHF₃ – 11 700, CF₃CH₂F – 1 300, CH₃CHF₂ – 140, CF₄ – 6 500, C₂F₆ – 9 200, FS₆ – 23 900 (Houghton *et al* 1990). Šie indeksai parodo, kiek kartų atitinkamas teršalas yra pavojingesnis nei CO₂ per tą patį laikotarpį.

1.3. Šiltnamio efektą sukeliančių dujų susidarymo šaltiniai

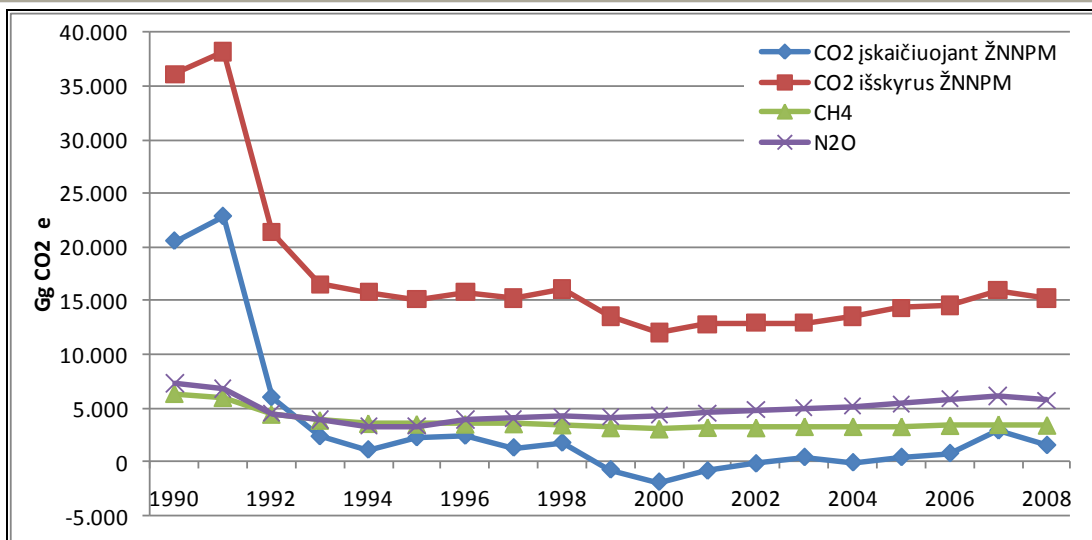
Klimato pokyčius sukeliančių dujų susidaro gamtoje, vykstant natūraliems procesams, tačiau pastarųjų dujų kiekis pasaulyje šiais laikais ir prieš pramonės epochą žymiai skiriasi – šiltnamio efektą sukeliančių dujų koncentracijos padidėjo, tai lėmė žmogaus antropogeninė veikla. Energetika, pramonė, transportas – pagrindinis išmetamų šiltnamio reiškinių sukeliančių dujų šaltinis (1.4 pav.).



1.4 pav. Pagrindiniai atmosferos taršos šaltiniai (Baltrėnas ir kt. 2008)

Iš 1.4 paveikslo matyti, kad iš mobiliųjų taršos šaltinių (automobilių transportas, aviacija, laivynas, geležinkeliai, statybos mašinos) į atmosferą patenka apie 2/3 visų išmetamų, o automobilių transporto dalis iš jų sudaro net 96 % (Baltrėnas ir kt. 2008).

Šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekiai Lietuvoje staigiai sumažėjo smukus šalies ekonomikai paskutiniame dešimtmetyje. Nuo 1990 m. iki 2000 m. šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos sumažėjo daugiau nei 60 %. 2000–2006 m. metinės šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos didėjo maždaug 4 % (1.5 pav.).



1.5 pav. ŠESD išmetimai 1990 – 2008 m., pagal dujas (Bieška ir kt. 2010)

Pagrindiniai sektoriai Lietuvoje, kurie išmetą šiltnamio efektą sukeliančias dujas, pagal Lietuvos Respublikos nacionalinės šiltnamio efektą sukeliančių dujų inventorizacijos ataskaitą, yra penki:

- energetikos sektorius – energetikos pramonė, gamybos ir statybos pramonė ir transporto sektorius;
- gamybos procesai – mineralų pramonė bei chemijos pramonė;
- žemės ūkio sektorius – žarnų fermentacija, mėšlo tvarkymas bei žemės ūkio dirvos;
- atliekų sektorius – kietosios atliekos, nuotekos ir atliekų deginimas.

Šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos šaltiniai iš energetikos sektoriaus – kuro deginimo metu į atmosferą išleidžiamos dujos ir valymo sistemų nesugaudomi teršalai – sudaro daugiau kaip pusę (58 %) viso išmetamo šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekio. Pagrindinių šaltinių analizė parodė, kad energetikos sektorius – kuro deginimo veikla apima daug pagrindinių šaltinių kategorijų (1.1 lentelė).

1.1 lentelė. Pagrindiniai ŠESD emisijos šaltiniai energetikos sektoriuje 2006 m. (Metinė ataskaita 2007)

| Šaltinis | ŠESD | Išmetamas kiekis, Gg CO ₂ ekv. | Dalis bendrame kiekyje, % |
|--|-----------------|--|---------------------------|
| Kelių transportas | CO ₂ | 4175,2 | 15,5 % |
| Energetikos pramonė/dujinis kuras | CO ₂ | 3038,9 | 11,3 % |
| Energetikos pramonė/skystasis kuras | CO ₂ | 2308,7 | 8,6 % |
| Kiti sektoriai/biomasė | CO ₂ | 1999,9 | 7,4 % |
| Energetikos pramonė/biomasė | CO ₂ | 746,4 | 2,8 % |
| Gamybos pramonė ir statybos sektorius/dujinis kuras | CO ₂ | 743,5 | 2,8 % |
| Tarptautiniai laivų bunkeriai | CO ₂ | 602,6 | 2,2 % |
| Kiti sektoriai/dujinis kuras | CO ₂ | 551,9 | 2,1 % |
| Gamybos pramonė ir statybos sektorius/kietasis kuras | CO ₂ | 537,6 | 2,0 % |

1.1 lentelės tęsinys.

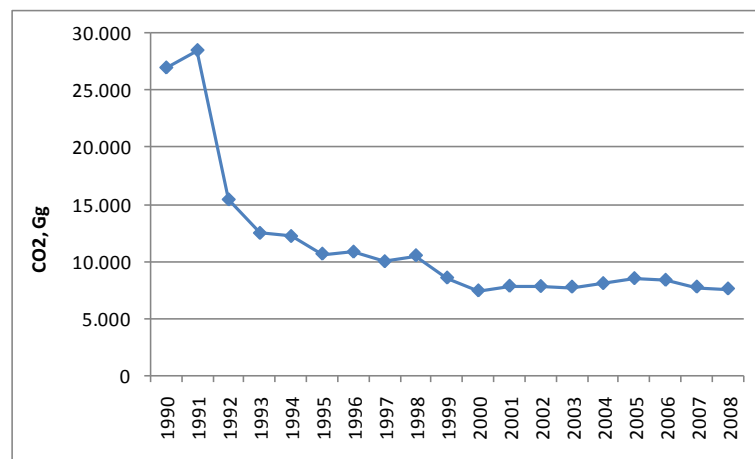
| Šaltinis | ŠESD | Išmetamas kiekis, Gg CO ₂ ekv. | Dalis bendrame kiekyje, % |
|---|-----------------|--|---------------------------|
| Kiti sektoriai/kietasis kuras | CO ₂ | 510,7 | 1,9 % |
| Gamybos pramonė ir statybos sektorius/biomasė | CO ₂ | 390,3 | 1,5 % |
| Kiti sektoriai/skystasis kuras | CO ₂ | 298,8 | 1,1 % |
| Gamybos pramonė ir statybos sektorius/skystasis kuras | CO ₂ | 284,1 | 1,1 % |
| Geležinkelis | CO ₂ | 221,0 | 0,8 % |

Į gamybos bei statybos pasektorį įeina šiltnamio efektą sukeliančios dujos, išsiskiriančios deginant kurą:

- cheminių preparatų gamybos procesų metu;
- popieriaus masės, popieriaus ir spausdinimo pramonėje;
- maisto pramonėje, gėrimų ir tabako gamybos procesų metu;
- vykdant kitą veiklą.

Kadangi gamybos ir statybos pasektoriuose daugiausiai yra naudojamas dujinis kuras, didžiausia CO₂ dalis susidaro deginant būtent šios rūšies kurą. Gamybos procesų ir statybinės veiklos metu į aplinką išleista 1,56 Gg CO₂ bei mažais kiekiais CH₄ ir N₂O – atitinkamai 0,23 Gg ir 0,04 Gg (Metinė ataskaita 2007).

Bendras šiltnamio efektą sukeliančių dujų, išmetimų tendencijos energetikos sektoriuje Lietuvoje nuo 1990 metų iki 2008 metų pavaizduotos 1.6 paveiksle.



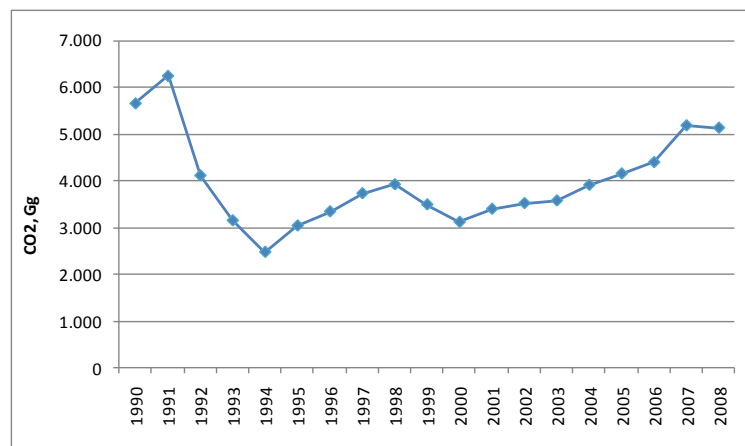
1.6 pav. ŠESD išmetimų tendencijos energetikos sektoriuje (Bieška ir kt. 2010)

Energetikos sektoriuje yra du pagrindiniai šiltnamio dujų emisijos mažinimo būdai. Pirma, būtina technologinėmis priemonėmis didinti išmetamo į orą CO₂ „sugavimą“ ir mažinti jo emisiją modernizuojant energijos gamybos procesus bei prevenciškai perdurbant kuro žaliavą energijos gamybos

įmonėse. Antra, ekologiškai švaresnių energetikos įmonių statyba ir eksploatavimas (Balevičius ir kt. 2007).

Transporto sektorius yra vienas pagrindinių aplinkos teršėjų, todėl daug dėmesio skiriama priemonėms įgyvendinti, siekiant sumažinti taršą iš mobiliųjų taršos šaltinių. 55 % kuro sunaudojamo transporto sektoriuje, yra dyzeliniai degalai. Kiek mažiau sunaudojama benzino ir suskystintų naftos dujų (LPG) (Bieška ir kt. 2010). Laivyboje yra naudojamas dyzelinis kuras ir mazutas, o aviacijoje – aviacinis benzinas, žibalo tipo reaktyvinis kuras ir benzino tipo reaktyvinis kuras. Traukiniai yra varomi dyzeliniu kuru (Metinė ataskaita 2007).

Bendras šiltnamio efektą sukeliančių dujų, išmetimų tendencijos transporto sektoriuje Lietuvoje nuo 1990 metų iki 2008 metų pavaizduotos 1.7 paveiksle.



1.7 pav. ŠESD išmetimų tendencijos transporto sektoriuje (Bieška ir kt. 2010)

Gamybos procesų metu teršalai yra išmetami tada, kai vykstant cheminėms reakcijoms susidaro CO₂ (pvz., gaminant cementą), kurio dalis yra išleidžiama į aplinką, arba kai gamybos procesuose yra naudojamos pačios ŠESD.

Pramonėje yra keli šiltnamio efektą sukeliančių dujų šaltiniai, tačiau tik trys iš jų išleidžia daugiau kaip 1 %. Bendro šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekio pagal pagrindines šaltinių kategorijas. Pagrindiniai pramoniniai šiltnamio efektą sukeliančių dujų šaltiniai yra nurodyti 1.2 lentelėje.

1.2 lentelė. ŠESD emisijos iš pagrindinių pramoninių šaltinių 2006 m. (Metinė ataskaita 2007)

| Šaltinis | ŠESD | Išmetamas kiekis, Gg CO ₂ ekv. | Dalis bendrame emisijų kiekyje, % 2006 |
|-----------------------|------------------|---|--|
| Azoto rūgšties gamyba | N ₂ O | 2192,5 | 8,17 |
| Amoniako gamyba | CO ₂ | 1128,6 | 4,20 |
| Cemento gamyba | CO ₂ | 424,1 | 1,58 |
| Kalkių gamyba | CO ₂ | 47,8 | 0,18 |

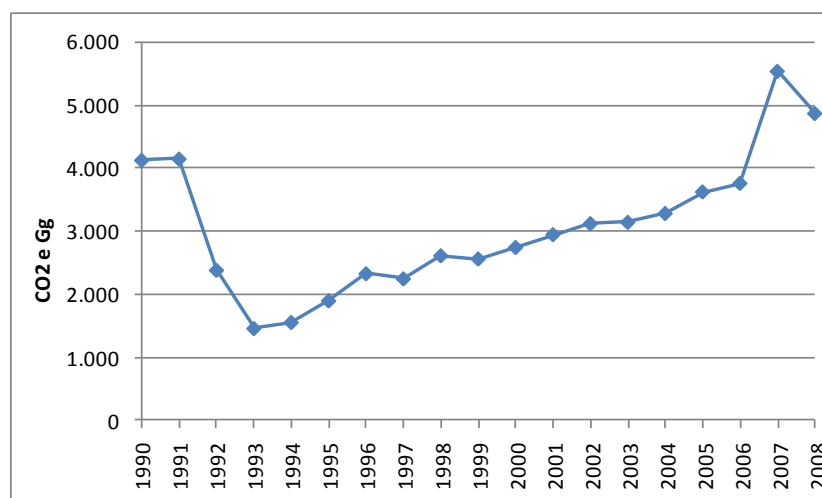
1.2 lentelės tęsinys.

| Šaltinis | ŠESD | Išmetamas kiekis, Gg CO ₂ ekv. | Dalis bendrame emisijų kiekyje, % 2006 |
|--------------------------|-----------------|--|---|
| Plytos ir čerpės | CO ₂ | 23,9 | 0,09 |
| Stiklo gamyba | CO ₂ | 8,8 | 0,03 |
| Mineralinės vatos gamyba | CO ₂ | 5,7 | 0,02 |

Lietuvoje mineralų pramonei yra priskiriama cemento ir kalkių gamyba. CO₂ išsiskiria gaminant klinkerį, kuris yra tarpinis produktas cemento gamybos procese. Cemento aukštakrosnėse veikiamas aukštos temperatūros kalcio karbonatas virsta į kalkes ir CO₂. Kalkėms virstant cemento klinkeriu išsiskiria dar viena porcija CO₂. Gaminant kalkes, CO₂ išsiskiria šiluminio skilimo metu (kalcinuojant kalcio karbonatą kalkakmenyje, kad būtų išgautos orinės kalkės) arba dolomito skaidymo metu, kai yra išgaunamos dolomito kalkės. Chemijos pramonėje taršos šaltiniai, kurie išskiria šiltnamio efektą sukeliančias dujas, yra amoniako ir azoto rūgšties gamyba bei metanolio gamyba (Metinė ataskaita 2007).

Kylant oro temperatūrai sumažės energijos sąnaudos produkcijos vieneto gamybai, kartu gaminio savikaina. Tačiau didėjantis klimato ekstremalumas gali dažniau sutrikdyti pramonės įmonių veiklą. Sausrų metu gali sutrikti įmonių, kurių gamybos procese sunaudojama labai daug vandens, veikla. Dažnesnis oro temperatūros svyravimas apie 0 °C gali sustiprinti pastatų konstrukcijų šalčio dūlėjimą bei įrengimų ir technikos atmosferinę koroziją. Klimato atšilimas daugiau veiks pramonę netiesiogiai: teks didinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimo apribojimus bei taršos mokesčius (Balevičius ir kt. 2007).

Bendras šiltnamio efektą sukeliančių dujų, išmetimų tendencijos pramonės sektoriuje Lietuvoje nuo 1990 metų iki 2008 metų pavaizduotos 1.8 paveiksle.



1.8 pav. ŠESD išmetimų tendencijos pramonės procesuose (Bieška ir kt. 2010)

Šiltnamio efektą sukeliančių dujų šaltiniai Lietuvos žemės ūkio sektoriuje apima CH₄ ir N₂O emisijas, išsiskiriančias gyvulinkystėje – žarnų fermentacijos metu (CH₄) ir tvarkant mėšlą (N₂O and CH₄), be to, N₂O išsiskiria iš žemės ūkiui naudojamos dirvos.

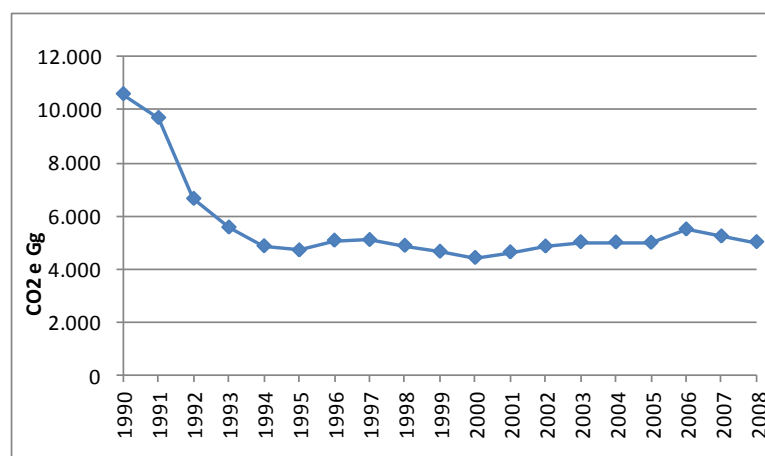
Lietuvos žemės ūkio sektoriuje išsiskiriančios šiltnamio efektą sukeliančios dujos yra metanas ir azoto oksidas. Žemės ūkis yra antras pagal dydį šiltnamio efektą sukeliančių dujų šaltinis, išmetantis 44 % viso metano ir 54 % viso azoto oksido kiekio.

Metano emisijos susidaro veisiant gyvulius – daugiausiai žarnų fermentacijos (virškinimo procesų) metu ir tvarkant mėšlą, kai metanas išsiskiria esant anaerobinėms sąlygoms. Azoto oksidai susidaro daugiausiai denitrifikacijos procesų dirvoje metu esant anaerobinėms sąlygoms. Antropogeninį poveikį, apibrėžtą Nacionaliniame šiltnamio efektą sukeliančių dujų inventoriuje, daro azotinės medžiagos, esančios neorganinėse azoto trąšose, gyvulių mėšlas ir azotas, esantis tose žemės ūkio kultūrose, kurios gižta į dirvą.

1.3 lentelė. ŠESD emisijos iš pagrindinių žemės ūkio šaltinių 2006 m. (Metinė ataskaita 2007)

| Šaltinis | ŠESD | Išmetamas kiekis, Gg CO ₂ ekv. | Dalis bendrame emisijų kiekyje 2006, % |
|----------------------------------|------------------|--|---|
| Tiesioginės emisijos iš dirvos | N ₂ O | 1440,0 | 5,4% |
| Žarnų fermentacija | CH ₄ | 1299,9 | 4,8% |
| Netiesioginės emisijos iš dirvos | N ₂ O | 849,0 | 3,2% |
| Mėšlo tvarkymas | N ₂ O | 335,1 | 1,2% |

Bendras šiltnamio efektą sukeliančių dujų, išmetimų tendencijos Lietuvos žemės ūkio sektoriuje nuo 1990 metų iki 2008 metų pavaizduotos 1.9 paveiksle.



1.9 pav. ŠESD išmetimų tendencijos žemės ūkio sektoriuje (Bieška ir kt. 2010)

Šiltnamio efektą sukeliančių dujų šaltiniai atliekų sektoriuje Lietuvoje yra:

- kietųjų atliekų šalinimas sąvartyne;

- nuotekų tvarkymas (gamybinių ir buitinių/komercinių nuotekų);
- buitinė kanalizacija;
- atliekų deginimas.

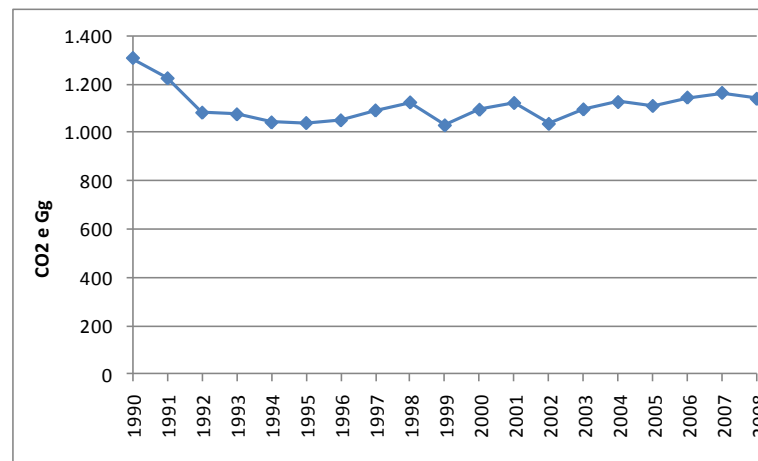
Dvi iš vertintų kategorijų patenka į pagrindinių šiltnamio efektą sukeliančių dujų šaltinių grupę. Pagrindiniai šaltiniai atliekų sektoriuje ir jų indėlis į bendrą šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų kiekį yra pateikti 1.4 lentelėje.

1.4 lentelė. ŠESD emisijos iš pagrindinių šaltinių atliekų sektoriuje 2006 m. (Metinė ataskaita 2007)

| Šaltinis | ŠESD | Išmetamas kiekis, Gg CO ₂ ekv. | Dalis bendrame emisijų kiekyje, % 2006 |
|-------------------------------------|-----------------|---|--|
| Kietųjų atliekų šalinimas ant žemės | CH ₄ | 919,2 | 3,4 |
| Nuotekų apdorojimas | CH ₄ | 525,8 | 2,0 |

Atliekų tvarkymo sektoriuje galimi du pagrindiniai teršalų emisijos ribojimo būdai: atliekų mažinimas ir atliekų perdirbimas. Pirmuoju atveju – tai mažaatliekės gamybos, daugkartinės taros naudojimo skatinimas ir kt., antruoju – daugkartinis atliekų perdirbimas ar jų deginimas, atliekų panaudojimas energijos gavybai (pvz., iš sąvartynų išsiskiriančių organinės kilmės metano dujų panaudojimas šildymo tikslams).

Bendras šiltnamio efektą sukeliančių dujų, išmetimų tendencijos atliekų sektoriuje nuo 1990 metų iki 2008 metų pavaizduotos 1.10 paveiksle.



1.10 pav. ŠESD išmetimų tendencijos atliekų sektoriuje (Bieška ir kt. 2010)

Augant šalies ekonomikai ir didėjant energijos poreikiui, palaipsniui didėja ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekis išmetamas į atmosferą. Išmetamų į atmosferą šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekis 2001 m. buvo 20,544 mln. t., o 2008 m. padidėjo 18%, iki 24,390 mln. t. (Arustikienė 2010).

Pastaraisiais dešimtmečiais pasiekta nemaža pažanga vystant technologijas, skirtas šiltnamio

efektą sukeliančių dujų emisijai į atmosferą mažinti. Dauguma jų skirta energijos gavybos deginant iškastinį kurą efektyvumui didinti bei naujiems mažai anglies turintiems energijos šaltiniams diegti (Balevičius ir kt. 2007).

1.4. Klimato kaitos įtaka vandens ekosistemoms

Svarbiausi ir labiausiai nuo klimato kaitos priklausiantys paviršinių vandens telkinių balanso elementai yra krituliai, iškrentantys į jų vandens paviršių, garavimas iš vandens paviršiaus ir vandens prietaka (Aplinkos apsaugos agentūra 2010).

Lietuvoje, kaip ir visame pasaulyje, išmetami į atmosferą teršalai tebėra viena didžiausių aplinkosaugos problemų. Tai lemia įvairios priežastys: pasaulinės ekonomikos augimas, nepakankamas aplinkosauginių technologijų diegimas ir kt. Daugeliui oro teršalų būdinga tai, kad jie gali išlikti aplinkos ore gana ilgą laiką ir oro masės juos perneša toli nuo kilmės šaltinių (Bukantis 2008), be to, teršalai su krituliais gali iškristi į žemės bei vandens paviršių.

Dėl į atmosferą išmetamų teršalų (CO , LOJ , NO_x , SO_2 , kietosios dalelės) prastėja miestų oro kokybė, susidaro troposferinis ozonas, rūgštėja dirvožemis ir paviršinis vanduo, vyksta paviršinių vandens telkinių eutrofikacija. Tai neigiamai atsiliepia visų pirma žmonių sveikatai, žemės ūkio produktyvumui, biologinei įvairovei, miškų būklei ir vandens ekosistemoms panašiai (Bukantis 2008).

Pagrindinės dujos, rūgštinančios kritulius ir taip žalojančios ekosistemą (ekosistema tai organizmų bendrija tam tikroje buveinėje), yra amoniakas. Amoniakas, ištirpęs vandenyje, virsta amoniu (NH_4^+), kuris yra vertinga azoto trąša, tačiau atmosferoje amoniakas transformuojasi į azoto ir nitritines rūgštis ir gali nuskrietti daugiau kaip 100 km, pakeliui iškrisdamas ant dirvos, augalų, vandens. Nuo taršos pertekliaus rūgštėja dirvožemis, skursta augalai, žydi dumbliai, žūsta žuvis. Ekosistemos kitimas vadinamas eutrofikacija.

1993 – 2006 m. Bukančio ir kitų mokslininkų (2008) tyrimai parodė, kad ežerų vandenyje yra padidėjęs organinių medžiagų kiekis, kas skatina eutrofikacijos intensyvėjimo, dumblo kaupimosi, pakrančių pelkėjimo procesus. Pastaruoju metu eutrofikacijos pasekmės dar stipriau išreikštos dėl klimato fluktuacijų. Per pastaruosius tris dešimtmečius stebimos vis karštesnės ir sausesnės vasaros, gruntinio vandens pažemėjimas, dėl to pažemėjo ir ežerų vandens lygis. Susidaro palankesnės sąlygos fitoplanktono ir vandens augalijos vystymuisi.

Klimatas yra vienas iš pagrindinių veiksnių, reguliuojančių augalijos ir gyvūnijos struktūrą bei produktyvumą pasaulyje. Daugelis augalų gali augti bei daugintis tik specifiniame temperatūrų diapazone, esant tam tikram kritulių kiekiui ir sezoniškumui. Klimatui pasikeitus, augalus gali neigiamai paveikti konkurencinės sąveikos pokyčiai ar jie gali net sunykti. Gyvūnai taip pat toleruoja skirtingas temperatūras

ir kritulių sritis bei yra priklausomi nuo kitų rūšių, kaip maisto šaltinio, išlikimo (Balevičius ir kt. 2007).

Keičiantis atmosferos sudėčiai (didėjant CO₂ bei CH₄ koncentracijoms) kinta ir žemės klimatas. Šie pokyčiai sukelia ar potencialiai gali sukelti poveikį biologinei įvairovei – CO₂ koncentracija atmosferoje paveikia fotosintezės, vandens pasisavinimo greitį ir efektyvumą, tai gali paveikti augalų produktyvumą ir kitas ekosistemos funkcijas (Kilkus 2005).

1.5. Eutrofikacija ir ją įtakojantys veiksniai

Eutrofikacija tai viena iš šių laikų problemų. Šylant klimatui, paviršiniuose vandenyse kils vandens temperatūra, todėl spartės eutrofikacijos procesai (Lietuvos Respublikos... 2009), kylanti vandens temperatūra kenkia jo kokybei ir įvairių gyvūnų rūšių išlikimui. Vandens telkinių eutrofikacija yra jų prisotinimas biogeninėmis, vandens augalijos vystymąsi skatinančiomis, medžiagomis (Baltrėnas ir kt. 2008).

Eutrofikacija gamtoje vyksta kaip natūralus procesas, tačiau ją neretai paspartina žmogaus veikla: nesaikingas tręšimas (žemės ūkyje naudojamos trąšos), pramoninė oro tarša (į atmosferą dujų pavidalu išleidžiamos cheminės medžiagos, kurios į dirvožemį patenka su krituliais,) nevalytos komunalinės nuotekos. Žmogaus sukelta eutrofikacija vadinama antropogenine.

Antropogeninė eutrofikacija kaip taršos problema buvo identifikuota XX a. Viduryje, nuo to laiko ši problema tik aštrėja. Tyrimai rodo, kad Azijoje 54 % ežerų, Europoje – 53 %, Šiaurės Amerikoje – 48 %, Pietų Amerikoje – 41 %, Afrikoje – 28 % yra eutrofikuoti. Eutrofikacijos procesas intensyviai vyksta ir Lietuvos vandens telkiniuose. Vien tik Nemunas į Kuršių marias kasmet atplukdo apie 400 tūkst. T nešmenų su gausiu biogeninių elementų (azoto, fosforo, kalio ir kt.) kiekiu. Marios seklėja, jose vyksta eutrofikacija, spartus dumblių dauginimasis. Toks pat procesas būdingas kitam dideliame Lietuvos vandens telkiniui – Kauno marioms (Lietuvos žemės... 2009).

Apie 80 % maistinių medžiagų į Baltijos jūrą suteka upėmis ir tiesiogiai iš supančių teritorijų. Pagrindiniai maistinių medžiagų šaltiniai yra žemės ūkis ir buitiniai nutekamieji vandenys. Nors maistinių medžiagų prietaka į Baltijos jūrą paskutiniaisiais metais šiek tiek sumažėjo, eutrofikacijos požymių nesumažėjo (Lietuvos gamtos... 2010).

Ekologiniu požiūriu eutrofikacija reiškia sumažėjusią rūšių įvairovę, pokyčius rūšių santykiuose ir toksiškumą. Tai turi įtakos ir žmogui, nes lieka mažiau galimybių tokiai veiklai kaip žvejyba, medžioklė ar estetinis gėrėjimasis aplinka, kai kuriais atvejais, pavyzdžiui, telkiniuose padaugėjus nuodingas medžiagas išskiriantiems dumbliams, kyla grėsmė žmogaus sveikatai.

Eutrofikacija yra reiškinys, kai dėl per didelio maistinių medžiagų kiekio vandenyje pernelyg išveši dumbliai ir kita augmenija, sutrinka organizmų pusiausvyra. Eutrofikacijos metu vandens

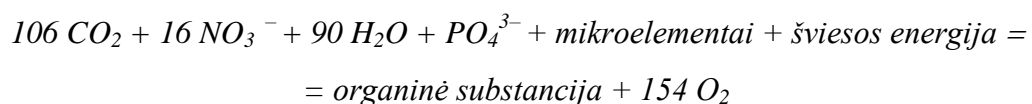
telkiniuose sumažėja vandens skaidrumas, susidariusi fitoplanktono biomasė yra puikus substratas bakterijų dauginimuisi, o kai kurios dumblių rūšys yra netgi toksiškos. Vėliau seka kiti procesai – biomasės puvinimas, sieros vandenilio ir kitų teršiančių vandenį medžiagų susidarymas. Dėl to masiškai dūsta žuvis bei kiti vandens organizmai, žmonėms kyla pavojus užsikrėsti įvairiomis ligomis (Lietuvos gamtos... 2010). Antropogeninės eutrofikacijos priežastys gali būti labai įvairios, bet svarbiausios yra dvi:

1. padidėjusi tirpių azoto ir fosforo formų prietaka iš pasklidusių ir koncentruotų taršos židinių;
2. suspenduotų organinių medžiagų, kurių ypač daug yra buities nuotėkose, kaupimasis ir oksidavimas ežere.

Šis skirstymas yra sąlygiškas ir labiau rodo eutrofikacijos pradžią (Kilkus 2005).

Biogeninių elementų koncentracijos padidėjimas vandenyje dėl padidėjusios jų prietakos į vandens telkinį susijusios su intensyvia žmogaus ūkine veikla. Vandens kokybės pablogėjimą lemia produkciniai – destruktiniai procesų greičio kitimai, o kiekvienu konkrečiu atveju antropogeninio poveikio rezultatai priklauso ne tik nuo to poveikio pobūdžio, bet ir nuo jo trukmės. Fitoplanktonas, būdamas pirmąja grandimi mitybinių santykių grandinėje (juo minta smulkūs organizmai – zooplanktonas, žuvų jaunikliai ir pačios žuvis), greičiausiai reaguoja į aplinkos sąlygų pakitimus (o ypač į cheminę vandens sudėtį), todėl vienos ar kitos dumblių rūšies išplitimas planktone rodo, tam tikrą vandens baseine susidariusių sąlygų kompleksą, vandens užterštumo laipsnį. Pagal dumblių rūšinę sudėtį bei gausumą galima nustatyti vandens telkinio švarumo laipsnį (Aplinkos apsaugos... 2010).

Pagrindinės maistingosios medžiagos, skatinančios eutrofikaciją, yra fosforas ir azotas (Lietuvos gamtos... 2010). Nuo pastarųjų taip pat priklauso ir eutrofikacijos intensyvumas vandens telkiniuose, tačiau ekologiniu požiūriu didžiausią pavojų kelia azotas, nes vandens telkinių eutrofikacija prasideda tuomet, kai fosforo koncentracija pasiekia 15 ppm, o azoto – 0,3 ppm. Biologiškai švarūs vandenys fosforo turi tik šimtąsias, tūkstantąsias milijono dalis (Pocienė ir Pocius 2008). Šios medžiagos fosfatų ir nitratų pavidalu skatina fotosintezės procesą, kurio metu vyksta biomasės susidarymas pagal lygtį (Losevičiūtė ir kt. 2008):

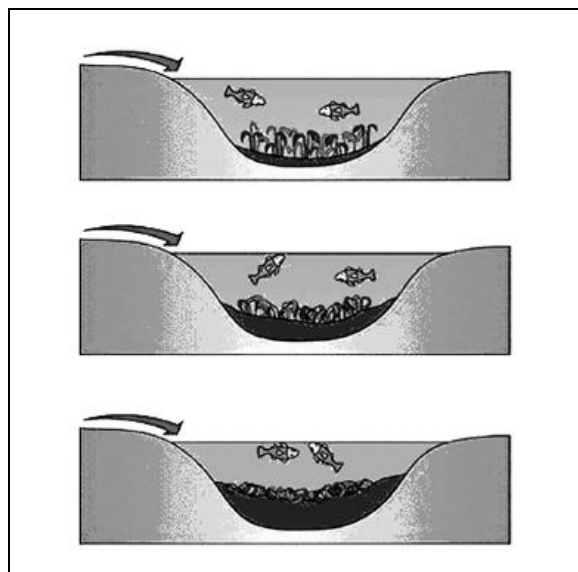


Vandens telkiniuose (jūrose, ežeruose, upėse) šių medžiagų yra pakankamai, patenka jos ten tokiu būdu:

- CO₂ nemažai yra ištirpusio, ypač jūrų vandenyje. Be to, jo ten yra nemažai ištirpusio kalcio hidrokarbonato pavidalu;

- azoto junginiai nitratų ir amonio junginių forma patenka į vandens telkinius su paviršiais vandenimis, ypač stiprių liūčių metu ir tirpstant sniegui. Todėl jų koncentracija yra didžiausia vėlyvą rudenį ir žiemą bei anksti pavasarį. Vasaros metu nitratų koncentracija mažėja, nes dalis jų sunaudojama biomasės sintezei;
- fosforo junginiai patenka su paviršiaus ir gruntiniais vandenimis, tirpstant liūčių metu neasimiliuotoms trąšoms ir su nepakankamai išvalytais komunalinėmis nuotekomis, įvairiomis fekalijomis ir pan.;
- fosforo junginiai į vandens telkinius patenka su buityje, pramonėje, komunalinių paslaugų sferoje ir kitose srityse naudojamų cheminių preparatų, turinčių sudėtyje fosforo junginių, atliekomis. Šių cheminių preparatų panaudojimas sparčiai didėja. Tai įvairios plovimo ir valymo priemonės. Ypač daug fosforo junginių turi skalbimo priemonės, kuriose jie natrio tripolifosfato formos naudojami vandeniui minkštinti ir skalbimo efektyvumui pagerinti. Tripolifosfatai milteliuose sudaro iki 30 %. Kitas fosfatų patekimo į aplinką šaltinis yra ortofosfato rūgštis, kuri yra pagrindinė cheminių preparatų, skirtų valyti, metalams apdoroti prieš koroziją ir pan., sudedamoji dalis (Losevičiūtė ir kt. 2008).

Išnykus ribojančiam veiksniai – azoto, fosforo trūkumui – pradeda vešliai augti greitai besidauginantys dumbliai ir aukštesnieji augalai. Žolėdžiai nebepajėgia suvartoti visos pirminės produkcijos, ir organinės medžiagos perteklius nusėda į dugną (1.11 pav.). Vandens telkinys ima sparčiai želti, jo pakrantės dumblėja (sukcesija). Toks telkinio maisto medžiagų padidėjimas vadinamas eutrofikacija (Pocienė ir Pocius 2008). Vandens telkiniai užželia vandens augalija, užpelkėja jų pakrantės, kol galiausiai ežero vietoje susidaro ištisinė pelkė, kuri vėliau apauga spygliuočių mišku – zoniniu Vidurio Europos augalijos tipu (Balevičius ir kt. 2007).



1.11 pav. Eutrofikacijos proceso schema (Pocienė ir Pocius 2008)

Dėl žmonių ūkinės veiklos natūralaus azoto ir fosforo kiekis Baltijos jūroje smarkiai padidėjo. Dabar jūra turi keturis kartus didesnį azoto ir aštuonis kartus didesnį fosforo kiekį, lyginant su 1900 metais, o pakrantės vandenys žydi 30–40 kartų dažniau nei XX a. Pradžioje. Šios medžiagos fosfatų ir nitratų pavidalu skatina fotosintezės procesą, kurio metu susidaro biomasė (Lietuvos gamtos... 2010).

1.5.1. Eutrofikacijos poveikis paviršiniams vandenims

Keičiantis klimatui, neišvengiamai kinta jos teritorijoje esančių vandens objektų vandens balansas bei jų vandens atsargos. Ežerų eutrofikacija (1.12 pav.) taip pat neatsiejama nuo hidrologinio režimo, todėl klimato kaita paveikia ir jų vandens kokybės rodiklius.



1.12 pav. Eutrofikacijos procesai vandens telkinio pakrantėje

Svarbiausi ir labiausiai nuo klimato kaitos priklausiantys ežerų vandens balanso elementai yra krituliai, iškrentantys į ežero vandens paviršių, garavimas iš ežero vandens paviršiaus ir vandens prietaka į ežerą iš jo baseino (Aplinkos apsaugos agentūra 2010).

Per pastaruosius 25 – erius metus didžiausi pasaulio ežerai nuolat šilo, tai vyko 7 kartus greičiau, negu kilo oro temperatūra tuo pačiu periodu. Tai yra svarbus atradimas, nes ežerų ekologija yra labai jautri temperatūrai. Daugelyje ežerų šylantis vanduo gali daryti neigiamą įtaką vietinių žuvų populiacijoms, užteršti švarius vandenį dumbliais, o žuvis ir kitos vandens rūšys būtų pasmerktos didesniems nuodingų teršalų kiekiams (Technologijos.lt 2010).

Ežero vandens temperatūra daro svarbų poveikį ežero ekosistemai ir vandens kokybei. Daugelio abiotinių ir biotinių procesų greitis priklauso nuo ežero vandens temperatūros. Nuo vandens temperatūros priklauso vandens masės fizinės savybės – tankis, dujų tirpumas ir kiti. Temperatūra lemia cheminių reakcijų greitį. Aukštesnėje vandens temperatūroje dauguma reakcijų vyksta sparčiau (Jensen and

Andersen 1992).

Ežere gyvenantys organizmai turi optimalias temperatūros ribas, kuriose vystymosi ir gyvenimo sąlygos yra palankiausios. Pasikeitus ežero vandens temperatūros režimui, gali pasikeisti rūšinė ežero ekosistemos sudėtis (Winder and Schindler 2004). Kylant vandens temperatūrai, šaltamėgės rūšys išnyks, o jų vietą užims šiltamėgės. Pakilus pavasario ir rudens sezonų vandens temperatūrai, susidaro sąlygos vegetacijos laikotarpio prasižėsimui ežere. Vandens temperatūros kilimas gali lemti didesnę pirminę produkciją ežeruose, o tai, savo ruožtu, skatintų seklių ežerų užaugimą ir intensyvesnę bei dažniau pasitaikantį dumblių žydėjimą.

Pakilus ežerų vandens temperatūrai šiltuoju metų laiku turėtų intensyviau vykti denitrifikacija. Denitrifikacijai palanki anoksinė (bedeguonė) terpė. Dėl aukštesnės vandens temperatūros gali didėti makrofitų ir fitoplanktono biomasė. Žuvus producentams jų mineralizacijai priedugniniame sluoksnyje būtų sunaudojamas deguonis, o deguonies trūkumas stimuliuotų intensyvesnę denitrifikaciją (Aplinkos apsaugos agentūra 2010).

Trumpesnė ledo dangos trukmė gali sukelti intensyvesnę fosforo resuspenciją iš dugno nuosėdų (Niemistö and Horppila 2007). Dėl intensyvesnės denitrifikacijos ir fosforo resuspencijos gali pasikeisti azoto ir fosforo santykis kai kurių ežerų vandenyje.

Dumbliai vaidina pagrindinį vaidmenį vandens savaiminiame apsivalyme. Fotosintezės metu išsiskyręs deguonis dalyvauja organinės medžiagos mineralizacijoje, bet masiškai vystantis dumbliams jie patys tampa biologinio užterštumo faktoriumi, sukelia „vandens žydėjimą“, o tai yra vandens telkinyje savireguliacijos procesų sutrikimo rezultatas ir akivaizdus vandens telkinio eutrofikacijos požymis. Dėl „žydėjimo“ sutrinka dujinis režimas, pablogėja vandens kokybė (padidėja BDS₅, didėja spalvotumas, mažėja skaidrumas, kaupiasi toksinės gyvūnams medžiagos) – keičiasi vandens telkinio estetinis vaizdas (Aplinkos apsaugos... 2010).

Dumblėjančiuose ežeruose sparčiai vystantis fitoplanktonui ir vandens augalijai, pasireiškia antrinis vandens užterštumas: vandens augalai apmiršta, vykstant mineralizacijos procesams, sunaudojama daug deguonies, o į ežero vandenį gausiai išsiskiria biogeninių medžiagų. Todėl ežere vandens gyvūnijai ima stigti deguonies, žiemą pradeda dusti žuvis. Charakteringa, kad antrinis teršimas nesustoja, panaikinus pirminį teršimą (sutvarkius buitinių vandenų valymo įrenginius, bei nutraukus teršalų patekimą iš išorės). Dažniausiai teršimas tęsiasi ir didėja geometrine progresija. Vandens augalijos ir gyvūnijos liekanoms nusėdus į ežero dugną, jos kaupiasi, o ežero dugnas palaipsniui kyla, vandens gylis mažėja, ežeras sensta. Kai kuriais atvejais dumblo ant ežero dugno nusistovi daugiau nei vandens. Ežerų seklumas skatina vandens augalijos gausėjimą, ko pasekoje jie greičiau uždumblėja ir užpelkėja (Jorgensen and Vollenweider 1988; Henderson–Sellers and Markland 1990).

Kita eutrofikacijos pasekmė yra ta, jog vandenį buityje galima vartoti tik specialiai paruošta. Taip pat vėjo ir bangų priplakta prie kranto dumblių bei kitų augalų masė pradeda pūti, ir išsiskiria sieros

vandenilis, o vandens paviršiuje susidaręs tankus dumblių sluoksnis sulaiko Saulės spindulius, ir jie nebesiekia apatiniame vandens sluoksnyje esančių milijardų dumblių organinio dumblo, kuriuo minta bakterijos. Kadangi jos kvėpuoja vandenyje ištirpusiu deguonimi ir, turėdamos pakankamai maisto, sparčiai dauginasi, priedugnio sluoksnyje ima stigti deguonies kitiems organizmams. Pirmiausiai pradeda dūsti ir žūsta gilumoje gyvenančios žuvys (Pocienė ir Pocius 2008).

Eutrofikacijai vykstant nuosekliai keičiasi biotiniai ir abiotiniai rodikliai, tačiau proceso kryptis lieka nepakitusi – didėja autrofiškumas, t.y. gebėjimas gaminti organinę produkciją iš savų maisto medžiagų (Kilkus 2005). Ežerų trofinė klasifikacija pateikta 1.5 lentelėje.

1.5 lentelė. Ežerų trofinė klasifikacija ir jos kriterijai (Kilkus 2005)

| Trofinė klasė | Vandens skaidrumas | Pirminė produkcija, g C m ⁻² per metus | Chlorofilas a, mg m ⁻³ | Fitoplanktonas, g m ⁻³ | Suminis fosforas, mg m ⁻³ | Suminis azotas, mg m ⁻³ |
|---------------|--------------------|---|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| Oligotrofinė | >5 | <30 | <2 | <0,8 | <5 | <300 |
| Mezotrofinė | 3–6 | 25–60 | 2–8 | 0,3–1,9 | 5–20 | 300–500 |
| Eutrofinė | 1–4 | 40–200 | 6–35 | 1,2–2,5 | 20–100 | 350–600 |
| Hipertrofinė | 0–2 | 130–600 | 30–400 | 2,1–20 | >100 | >1000 |

Pagal 1.5 lentelėje pateiktą klasifikaciją, matyti, jog mažiausias gebėjimas gaminti organinę produkciją yra oligotrofinėje klasėje – eutrofikacijos procesas nevyksta, o hipertrofinėje klasėje organinės produkcijos pagaminama daugiau nei suvartojamą – eutrofikacijos procesas vyksta intensyviausiai.

Taip pat nuo ežerų trofiškumo priklauso ir žuvų bendrijos jose (1.6 lentelė). Kadangi keičiantis aplinkos sąlygoms, ežeruose vyksta žuvų bendrijų kaita. Kaitos tempai, kryptis priklauso nuo konkretaus ežero geografinės padėties, vietos klimatinių savybių bei pokyčių. Biogeninių medžiagų prietakos pokyčiai, užterštumas bei žvejyba labiausiai veikia žuvų bendrijas. Išlieka aktualus žemės ūkio, transporto poveikis vandens telkiniams. Be minėtų veiksnių, būtina akcentuoti nuolatos didėjančią verslinės bei mėgėjiškos žvejybos įtaką. Tai irgi išbalansuoja žuvų bendrijų būklę, skatina kai kurių rūšių išplitimą ir mažina retųjų, jautriausių aplinkos pokyčiams, žuvų gausumą (Balevičius ir kt. 2007).

1.6 lentelė. Ežerų trofiškumas bei žuvų rūšinė sudėtis (Gailiušis ir kt. 1999)

| Ežero trofinė būseną | Žuvų bendrija | | |
|----------------------|-------------------|---|------------------|
| | tipas | branduolio rūšinė sudėtis ir rūšių eliminavimo seka | trofinė sudėtis |
| Mezotrofinė | I ↓ II ↓ | stinta ↓ seliava ↓ | Ichtiofagai ↓ |

1.6 lentelės tęsinys.

| | | | |
|--------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------|
| Eutrofinė | III ↓ | aukšlė ↓ | planktofagai ↓ |
| Hipertrofinė | IV ↓ V ↓ | pūgžlys ↓ karšis ↓ | bentofagai ↓ |
| | VI ↓ VII ↓ | lynas ↓ kuoja ↓ | eurifagai ↓ |
| Distrofinė | VIII ↓ IX ↓ X | lydeka ↓ ešerys ↓ | ichtiofagai ↓ |
| | | karosas ar kt. | eurifagai |

Pasak Gailiušio, ežero trofinei būsenai keičiantis, rūšių skaičius mažėja. Tai taip pat matyti iš 1.6 lentelės, kurioje pavaizduota žuvų rūšių eliminavimo seka.

Tokie reiškiniai yra būdingi ir labai pavojingi negiliems, turintiems nedidelį vandens tūrį ežerams, kuriuose apsivalymo galimybės ir ekologinis atsparumas antropogeniniam poveikiui yra labai riboti (Aplinkos apsaugos... 2010).

Taigi antropogeniškai eutrofikuoatų vandens telkinių ekologinėse juostose nyksta retos, siauros ekologinės amplitudės augalų bendrijos ir rūšys.

Eutrofikuoti ežerai tampa ne tik biologiniu požiūriu neproduktyvūs, bet ir rekreaciniu požiūriu mažai vertingais. Tokių ežerų estetiškas vaizdas pablogėja, o jų panaudojimas turizmui tampa komplikuoat.

Vandens telkinių rekreacinė reikšmė pastaruoju metu labai padidėjo. To pasekoje reikia patenkinti didėjantį vandens telkinių tvarkymo poreikį. Kasmet vis daugiau žmonių poilsiauja gamtoje, populiarėja vandens sportas ir vandens turizmas. Plėtojant vidaus ir tarptautinį turizmą ežerų ir tvenkinių rekreacinė reikšmė dar labiau didės, todėl būtina intensyviai spręsti ežerų nykimo problemas (Baltrušaitis 2009).

1.5.2. Eutrofikacijos mažinimo bei uždumblėjimo sprendimo būdai

Antropogeninė eutrofikacija labai greitai ir giliai pakeičia ežero ekosistemą, jos struktūrą ir funkciją. Buvę švarūs oligotrofiniai ežerai virsta eutrofiniais, o eutrofiniai – hipertrofiniais, todėl labai svarbu išaiškinti pradinę eutrofikacijos stadiją. Mažuose vandens telkiniuose, imantis atitinkamų priemonių (didinant pratakumą, mažinant rekreacinę apkrovą, intensyvinant aeraciją, įruošiant apsaugines

zonas ir kt.), galima užkirsti kelią tolesnei eutrofikacijai.

Baltijos šalių vyriausybės patvirtino, kad eutrofikacija yra viena pagrindinių Baltijos jūros problemų ir įsipareigojo mažinti taršą maistinėmis medžiagomis. Vienas iš Helsinkio komisijos HELCOM parengto ir Baltijos šalių aplinkos ministrų patvirtinto Baltijos jūros veiksmų plano pagrindinių tikslų yra pasiekti švarų vandenį. Tačiau tam reikia 42 % sumažinti fosforo prietaką į Baltijos jūrą ir 18 % – azoto, o kol kas numatytos priemonės yra per silpnos arba jų įgyvendinimas stringa (Lietuvos gamtos... 2010).

Siekiant sustabdyti eutrofikaciją, taikomas vandens valymas, trąšų ir taršos kontrolė (Lietuvos žemės... 2009). Taip pat siekiant sulėtinti ežerų eutrofikacijos procesą, mažinti biogenų prietaką, imta riboti ūkinę veiklą ežerų pakrantėse: įteisintos vandens telkinių apsaugos juostos ir zonos bei griežtai reglamentuotas jų naudojimas (Linkevičienė ir kt. 2004).

Kontroliuojant taršą nitratais neužtenka tik optimizuoti ar sumažinti agrochemikalų naudojimą, gausus azotinių trąšų naudojimas sukelia taršą nitratais. Pagrindiniai uždaviniai yra pagerinti azotinių trąšų poreikio prognozavimą, sumažinti šio elemento nuostolius, padidinti augalų dirvožemio ir trąšų azoto sunaudojimo koeficientą, teisingai suderinti techninį bei biologiškai surištajį azotą ir padidinti azoto, grįžtančio iš augalų liekanų į gamtinę apytaką, kiekį (Pocienė ir Pocius 2008).

Fosforo junginiai naudojami skalbimo milteliuose taip pat didžiuliai fosforo junginių kiekiai įeina į įvairių valiklių, naudojamų buityje ir pramonėje, preparatų, skirtų metalų chemiškai apdoroti, pvz., fosfatavimui ir kt., sudėtį. Visų šių preparatų skystosios atliekos, neretai aplenkiant bet kokius valymo įrenginius, patenka į aplinką, t. y. vandens telkinius.

Vien tik uždraudimas naudoti fosfatus skalbimo milteliuose eutrofikacijos problemos neišsprendžia. Siekiant radikaliai sumažinti fosforo junginių patekimą į vandens telkinius, būtina visas – tiek komunalines, tiek pramonines – nuotekas tinkamai valyti (Losevičiūtė ir kt. 2008).

Ežerų užaugimo vandens augalija ir pelkėjimo procesai jau seniai yra žinomi ir nuolat ieškoma būdų jiems pristabdyti, bei nykstančius ežerus atgaivinti. Uždumblėjusių vandens telkinių atgaivinimas yra sudėtinga kompleksinė problema: būtina pašalinti vandens telkinio taršos ir eutrofizacijos šaltinius, padidinti vandens gylį, pagerinti vandens kokybę, atkurti ežero gyvybingumą ir subalansuoti ekosistemos komponentus. Ežerų dumblių ir užžėlimui vandens augalija mažinti, naudojamos įvairios ežerų priežiūros priemonės.

Keletas šios aktualios problemos sprendimo būdų galėtų būti: racionalus ežerų bei apyežerių su vandensauginėmis juostomis eksploatavimas, ekologinė žemdirbystė bei tinkama vandentvarka ežero baseine, biogeninių medžiagų prietacos ir makrofitinės augalijos kontrolė, biologinių ir cheminių priemonių vandens kokybei gerinti naudojimas ir kt.

Pirmiausia reikia imtis apsauginių priemonių, kad būtų užkirstas kelias užteršto vandens pritekėjimui į ežerus. Šiam tikslui pasiekti, aplink ežerus, būtina įrengti apsaugines zonas, kuriose turi

būti šienaujama žolė, retinamos virš vandens pakibusios lapuočių medžių šakos. Taip pat turi būti kertami visi krūmai ir ribojamas lapuočių medžių tankumas, jeigu jie auga arčiau kaip 10 m nuo kranto, kad jų lapai nepatektų į vandenį. Be to, vandens telkiniuose būtina periodiškai šienauti juose augančią vandens augaliją. Šienaujant po vandeniu augalijos sąžalynai labai praretėja, o pašalinamt nušienautas liekanas iš ežero, vandens kokybė palaipsniui gerėja (Ciūnys ir Katkevičius 2008).

Kitas būdas – aeruoti vandenį – ežere įrengus fontanus ir taip praturtinant vandenį deguonimi, tačiau šis metodas mažai veiksmingas, kai ežeras nuolat teršiamas prietakos vandeniu. Efektyvesnis metodas, kai intensyvinami oksidaciniai procesai ežerų nuosėdose, leidžiant į vandenį orą ir taip jį prisotinant deguonimi, dėl ko paspartėja mineralizacija ir pagerėja vandens kokybė. Taip pat, galima aklimatizuoti kai kurias žoliaėdes žuvis tikintis, kad jos pristabdys vandens augalijos plėtrą ir dumblių procesus arba naudoti biomanipuliaciją – planktonėdžių žuvų bendrijas keisti plėšriųjų žuvų bendrija. Taip pat galima išgaudyti visas žuvis, rausiančias dumblingą dugną (karpiai, karosai, raudės ir kt.), pakeičiant jas plaukiojančiomis vandens paviršiuje (ešeriai, lydekos, saulažuvės ir kt.), kurios nesukelia priedugninio dumblo maišymosi su vandeniu ir minta zooplanktonu. Visos šios priemonės buvo išbandytos siekiant sustabdyti ežerų nykimą mūsų šalyje, tačiau jų efektyvumas pasitvirtino tik iš dalies (Ciūnys 1997; Ciūnys ir Katkevičius 2008).

1.6. Teršalų migracijos vandens ekosistemose modeliavimas

Teršalų migraciją hidrosferoje lemia teršiančių medžiagų tirpumas vandenyje. Gerai vandenyje tirpstantys junginiai aktyviai reaguoja su kitomis medžiagomis, sudarydami naujus junginius. Teršalų pasiskirstymą vandens ekosistemose įtakoja daugybė sąveikaujančių migracijos procesų – garavimas, kritulių iškritimas, nutekėjimas, išplovimas. Kai kurie procesai, tokie kaip garavimas sumažina teršalų koncentracijas vandenyje, kiti (kritulių iškritimas, nutekėjimas, išplovimas) – atvirkščiai, jas padidina. Hidrosferoje vykstančių procesų eiga priklauso nuo krintančios saulės energijos bei jos spindulių spektro, temperatūros, vandens masių cirkuliacijos, vandens prisotinimo deguonimi ir kt.

Sudarant teršalų migracijos ežere modelius, priklausomai nuo modelio tikslo, pirmiausia reikia surinkti duomenis apie ežero susiformavimo istoriją ir geologinius ypatumus, klimatinis – sezoninius bruožus, taršos šaltinius, teršalo patekimo į ežerą kelius, fizikinius ir cheminius maišymosi bei medžiagų transformacijų procesus, ežero vandens terminės stratifikacijos (susisluoksniavimo) dėsninumus.

Daugelis aplinkos procesų modelių priklauso diferencialinių lygčių klasei (Deaton and Winebrake 1999). Kuriant nagrinėjamus teršalų migracijos ežere modelius diferencialinių lygčių pagrindu, pirmiausia sudaromos pagrindinės lygtys, paremtos į ežerą patenkančių ir iš jo pasišalinančių teršalų srautų balansu. Skaitmeniniai teršalų migracijos modeliai sudaromi ne lygčių pagrindu, o remiantis

keliomis žinomomis koncentracijomis. Žinomi du skaitmeninių modelių sudarymo metodai – baigtinių skirtumų ir baigtinių elementų (Dunnivant and Elliot 2006).

Sudarant skaitmeninius teršalų migracijos modelius baigtinių skirtumų metodu, sudaromas tinklelis. O baigtinių elementų skaitmeniniame modelyje tinklelis sudalomas į trikampus ir teršalo koncentracija visoje kiekvieno trikampio srityje nustatoma interpoliuojant, o ne kiekviename atskirame taške, kaip baigtinių skirtumų modelyje.

Teršalų sklaidimą dujinėse bei skystosiose terpėse galima modeliuoti ir naudojant MathCAD programinį paketą, eršalų sklaidimas aprašomas sudėtingomis diferencialinėmis lygtimis su dalinėmis ir pilnomis išvestinėmis. Lygčių sprendimas gana sudėtingas todėl taikomi supaprastinti modeliai. Yra svarbūs trys procesai: difuzija (sklaida), pernešimas (oro srautas sukelia sroves), nusėdimas (Zagorskis 2009).

1.7. Pirmojo skyriaus išvados

1. Klimatas daugelyje pasaulio šalių, įskaitant ir Europą, šyla. Vidutinė pasaulio temperatūra pakilo maždaug $0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ per 100 metų, Lietuvos 2009 metais vidutinė oro temperatūra buvo $7,2$ tai yra $1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ aukštesnė už klimato normą.
2. Klimato kaitą įtakoja šiltnamio efekto dujos, kurios būna natūralios bei antropogeninės – vandens garai, anglies dioksidas, metanas, nitrito oksidas, hidrofluorangliavandeniliai, perfluorangliavandeniliai bei sieros heksafluoridas.
3. Pasaulinio atšilimo potencialo vertės rodo, kiek kartų atitinkamas teršalas yra pavojingesnis nei CO_2 per tą patį laikotarpį: $\text{CO}_2 - 1$; $\text{CH}_4 - 21$; $\text{N}_2\text{O} - 310$, $\text{CHF}_3 - 11\ 700$, $\text{CF}_3\text{CH}_2\text{F} - 1\ 300$, $\text{CH}_3\text{CHF}_2 - 140$, $\text{CF}_4 - 6\ 500$, $\text{C}_2\text{F}_6 - 9\ 200$, $\text{FS}_6 - 23\ 900$.
4. Didėjanti oro ir vandens temperatūra spartina eutrofikacijos procesus, todėl prastėja vandens išteklių kokybė.
5. Eutrofikacija gamtoje vyksta kaip natūralus procesas, tačiau ją neretai paspartina žmogaus veikla: nesaikingas tręšimas, pramoninė oro ir vandens tarša, nevalytos komunalinės nuotekos. Žmogaus sukelta eutrofikacija vadinama antropogenine.
6. Siekiant sustabdyti eutrofikaciją, taikomas vandens valymas, trąšų ir taršos kontrolė. Taip pat siekiant sulėtinti ežerų eutrofikacijos procesą, mažinti biogenų prietaką, reikia riboti ūkinę veiklą ežerų pakrantėse: įteisintos vandens telkinių apsaugos juostos ir zonos bei griežtai reglamentuotas jų naudojimas.
7. Vandens teršalų sklaidimas aprašomas diferencialinėmis lygtimis, kuriomis remiantis galima atlikti matematinį modeliavimą su matematiniais programiniais paketais, tokiais kaip MathCAD, MathLAB, SWAT ir kt..

2. Eutrofikacijos procesus paviršiniuose vandens telkiniuose įtakojančių veiksnių tyrimų metodika

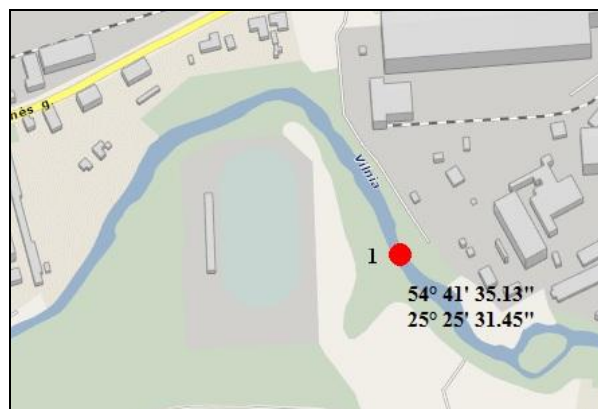
2.1. Tyrimų objektas

Mokslinio darbo tyrimams buvo pasirinktos dvi upės ir du ežerai esantys Vilniaus mieste bei Vilniaus rajone – Balsio ir Balžio ežerai bei Vilnios ir Neries upės. Tyrimai atliekami Vilniaus mieste bei Vilniaus rajone esančiuose vandens telkiniuose, šių vietų pasirinkimui įtakojo tai, kad Vilniaus miestas yra ne tik didžiausias šalies miestas, bet ir labiausiai urbanizuotas, Vilniaus apskrities, rajono ir miesto savivaldybės centras, įsikūręs šalies pietryčiuose, Neries ir Vilnios santakoje. Vilniuje bei jo apylinkėse yra susitelkę daug pramonės objektų, kurie savo antropogenine veikla daro įtaką paviršiniams vandens telkiniams. Vilniuje pagaminama 16 % visos Lietuvos pramonės produkcijos, gaunama 31 % pajamų už prekes ir paslaugas. Veikia 2 šiluminės jėgainės.

Paviršinio vandens ėminiai ežeruose imami Balžio ežere (2 ėmimo taškas) bei Balsio ežere (6 ėmimo taškas) (2.1 pav.).



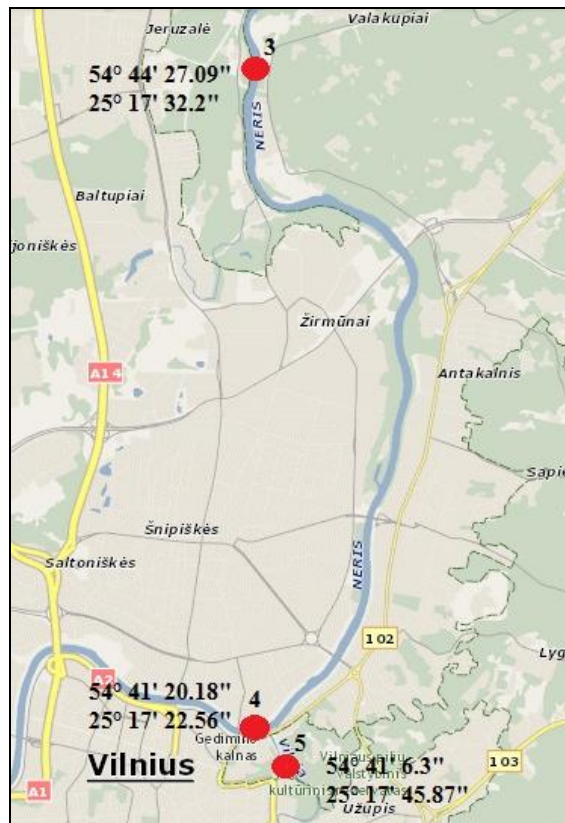
2.1 pav. Paviršinio vandens ėminiai ežeruose (2 – Balžio ežeras; 6 – Balsio ežeras)



2.2 pav. Vilnios upė ties Naująja Vilnia – 1 ėmimo taškas

Paviršinio vandens ėminiai upėse buvo imami dviejuose taškuose Vilnios upėje – ties Naująja

Vilnia (1 ėmimo taškas) (2.2 pav.) bei Vilniaus miesto centre ties Sereikiškių parku (5 ėmimo taškas) (2.3 pav.), Neries upėje – Valakupių antrajame paplūdimyje (3 ėmimo taškas) bei Vilniaus miesto centre prie Mindaugo tilto (4 ėmimo taškas) (2.3 pav.).



2.3 pav. Neries bei Vilnios upių mėginių ėmimo taškai (3 – Neries upė Valakupių antrame paplūdimyje; 4 – Neries upė Vilniaus miesto centre prie Mindaugo tilto; 5 – Vilnios upė ties Sereikiškių parku)

Paviršiniai vandens telkiniai vadovaujantis aplinkos ministro 2002-07-10 įsakymu Nr. 362 „Dėl vandens telkinių suskirstymo“ yra skirstomi:

- upės į tris grupes pagal tinkamumą žuvims gyventi: karpines, lašišines ir kitas;
- ežerai į tris grupes pagal vidutinį gylį: seklius (<3 m gylio), vidutinio gylio (3–15 m gylio), gilius (>15 m gylio).

Lašišiniai vandens telkiniai – tai vandens telkiniai, kuriuose gali arba galėtų gyventi ir veistis Atlanto lašišos (*Salmo salar*), šlakiai (*Salmo trutta*), kiršliai (*Thymallus thymallus*) ir sykinės žuvis (*Coregonus*).

Karpiniai vandens telkiniai – tai vandens telkiniai, kuriuose gali arba galėtų gyventi ir veistis karpinės (*Cyprinidae*) arba kitų rūšių žuvis, pavyzdžiui, lydekos (*Esox lucius*), ešeriai (*Perca fluviatilis*), europiniai unguariai (*Anguilla anguilla*).

Neries bei Vilnios upės pagal aplinkos ministro 2002-07-10 įsakymą Nr. 362 „Dėl vandens

telkinių suskirstymo“ yra priskiriamos lašišiniams vandens telkiniams, Balžio ežeras priskiriamas vidutinio gylio ežerams, vidutinis gylis yra 11,5 m, Balsio ežeras – gyliems ežerams, vidutinis gylis 15,2 m. Šie paviršiniai vandens telkiniai buvo pasirinkti, nes jie yra urbanizuotose teritorijose arba jų poveikio zonoje – Neris teka per Vilniaus miestą, kur yra sutelkta daug pramonės objektų, nuotekų valykla, ši upė yra antroji pagal ilgį Lietuvos upė. Vilnios upė įteka į Nerį, teka pro taršos objektą, kuri yra Naujosios Vilnios šiluminė katilinė. Šios upės antropogeninis poveikis ypač ryškus tam tikroms upės dalims. Labiausiai teršiamas žemupys, kuriame pagrindiniai teršėjai yra Naujosios Vilnios ir Vilniaus miestai bei jų nutekamieji buitiniai ir pramoniniai vandenys. Balsio bei Balžio ežerai pasirinkti, nes priskiriami rekreacinėms zonoms.

2.2. Vandens mėginių paėmimo metodika

Tyrimų rezultatai priklauso nuo tinkamo mėginių paėmimo. Paviršinio vandens paėmimas, saugojimas ir transportavimas neturi keisti jo sudėties (Paliulis 2004).

Fizikiniai, cheminiai, mikrobiologiniai ežerų parametrai nustatomi pasirinktoje vertikalėje (dažniausiai tai yra didžiausio gylio vertikalė). Imant mėginius išmatuojama vandens telkinio paviršiaus temperatūra bei pH.

Norint įvertinti upės užterštumą reikia vandens mėginius imti skirtingu metu bei pagal tėkmę: skirtingose vietose iš to paties gylio arba toje pačioje vietoje iš skirtingo gylio. Mėginys upėje turi būti paimamas didžiausio gylio vietoje, panardinus vandens paėmimo indus 20–30 cm gylyje, tai yra nulinis horizontas (Paliulis 2004).

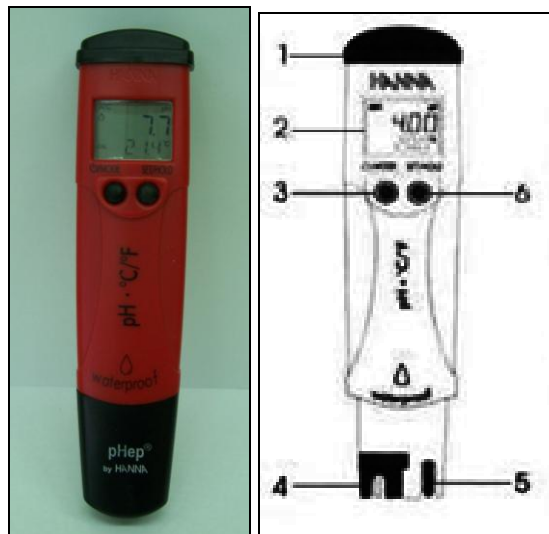
Paviršinių vandens telkinių – Balsio ir Balžio ežerai bei Vilnios ir Neries upės – ėminiai imti yra kas 4 savaites, mėginių imamas tūris yra 2 l.

2.3 pH, temperatūros ir skendinčių medžiagų nustatymo paviršiniuose vandens telkiniuose tyrimų metodika

Paviršiniuose vandens telkiniuose imant mėginius nustatyta vandenilio jonų koncentracija bei temperatūra. Vandenilio jonų koncentracija pH nurodo „vandenilio potencialą“ pagal jį matuojamas vandens rūgštingumas arba šarminumas pagal 14-a ženklę skalę. Neutralus vandens pH yra 7. pH virš 7 yra šarminis, žemiau – rūgštinis. Didelis vandens rūgštingumas turi korozinių savybių, šarminis – estetinių problemų.

Vandenilio jonų koncentracija bei temperatūra matuojami prietaisu Hanna Instruments pHep HI 98127 (2.4 pav.), tai atsparus vandeniui pH bei temperatūros matuoklis. Šis prietaisas automatiškai

nustato pH reikšmes bandinyje, temperatūrą galima matuoti °C arba °F.



2.4 pav. pH ir temperatūros matuoklis pHep HI 98127 (1 – baterijų skyrius; 2 – LCD ekranas; 3 – įjungimo/išjungimo mygtukas; 4 – pH elektrodas; 5 – temperatūros jutiklis; 6 – nustatymo/išlaikymo mygtukas)

Parametrų matavimo ribos prietaiso pHep HI 98127 pateiktos 2.1 lentelėje.

2.1 lentelė. Prietaiso pHep HI 98127 matavimo ribos

| Techniniai parametrai | | pHmetras HI 98127 |
|-------------------------|--------|-------------------|
| Matavimo ribos | pH | 0,0 iki 14 pH |
| | °C | -5,0 iki 60 °C |
| Tikslumas | pH | 0,1 pH |
| | °C | 0,1 °C |
| Paklaida | EC/TDS | ±0,1 pH |
| | °C | ±0,5 °C |
| Tempetatūrinė korekcija | | Automatinė |

Prietaisas pHep HI 98127 matuoja pH ribose nuo 0,0 iki 14 pH, o temperatūra nuo – 5,0 iki 60 °C, paklaidos koeficientai atitinkamai yra ±0,1 pH ir ±0,5 °C (HANNA Instruments 2010).

Vandens rūgštingumas kinta dėl įvairių priežasčių. Rūgštieji lietūs sumažina vandens pH. Nuo pH dydžio priklauso įvairių cheminių medžiagų stabilumas vandenyje bei jonų migracija, vandens augalų ir gyvūnų, kurie prisitaikę gyventi tam tikrame pH dydžių intervale, būklė. Priklausomai nuo metų ir paros laiko upių vandenyje pH kinta nuo 6.5 iki 8.5. Žiemą pH dydis paprastai būna 6,8–8,5, vasarą 7,4–8,2. Temperatūra turi įtakos daugeliui vandenyje vykstančių cheminių ir biologinių procesų (deguonies ir anglies dioksido tirpimas vandenyje, fotosintezės sparta).

Pagal Lietuvos apsaugos normatyvinį dokumentą LAND 46–2007 yra nustatoma skendinčių

medžiagų kiekiai žaliajame vandenyje, nuotekose metodus košiant pro stiklo pluošto koštuvą. Skendinčios medžiagos – medžiagos, sulaikomos košiant apibrėžtomis sąlygomis. Apatinė nustatymo riba yra apytiksliai 2 mg/l. Viršutinė riba nenustatyta. Ne visi vandens mėginiai yra stabilūs, todėl skendinčių medžiagų kiekis priklauso nuo jų laikymo laiko, transportavimo būdo, pH vertės ir kitų faktorių.

Naudojant košimo vakuume ar slėgyje įtaisą, mėginys nukošiamas pro stiklo pluošto koštuvą. Koštuvą yra džiovinamas 105 °C temperatūroje ir sveriant nustatoma sulaikytų ant koštovo nuosėdų masė.

Naudojami reagentai:

- etaloninė mikrokristalinės celiuliozės suspensija, 500 mg/l;
- darbinė etaloninė suspensija, $\rho = 50$ mg/l.

Šie reagentai naudojami sudaryti skendinčių medžiagų grafiką, kuris parodo, jog naudojamas metodas yra tikslūs.

Prietaisai ir reagentų paruošimas, kurie naudojami skendinčių medžiagų nustatymui.

Skendinčių medžiagų tyrimui naudojami prietaisai yra:

- įranga košimui vakuume, kuri pritaikyta pasirinktiems koštuvams. Plokštelė, prilaikanti koštuvą, turi būti pralaidi, kad vanduo laisvai pratekėtų;
- borosilikatiniai stiklo pluošto koštuvai. Jie atitinka tokius reikalavimus – neturėti savo sudėtyje klijų, koštuvai turi būti apvalūs, tuščiojo mėginio masės praradimas turi būti mažesnis arba lygus 0,017 g/cm²;
- Džiovinimo spinta, palaikanti 105±2 °C temperatūrą;
- Analizinės svarstyklės *Kern 770*, sveriančios mažiausiai 0,1 mg tikslumu;
- Džiovinimo laikikliai, pagaminti iš tinkamos medžiagos, koštuvų laikymui džiovinimo spintoje – Petri lėkštelės.

Etaloninė mikrokristalinės celiuliozės suspensija, 500 mg/l gaminama – pasverta 0,500 g (išdžiovinotos) mikrokristalinės celiuliozės (C₆H₁₀O₅)_n, skirtos plonasluoksnei chromatografijai, arba ekvivalentiškos medžiagos, kiekybiškai supilta į 1000 ml matavimo kolbą ir praskiesta distiliuotu vandeniu iki žymės. Prieš vartojimą suspensiją gerai suplaku. Tuomet įpilta 100±1 ml suspensijos į 100 ml matavimo kolbą. Atmatuotas tūris perpiltas į 1000 ml matavimo kolbą ir praskiestas distiliuotu vandeniu iki žymės. Prieš naudojimą suspensiją gerai suplakta. Ruošti kiekvieną kartą prieš darbą.

Mėginių analizė.

Ežerų ir upių vanduo imtas į plastikinius nepermatomus indus, kurie pilnai neužpildyti mėginiu. Nustatant skendinčias medžiagas, mėginiai analizuoti kaip galima greičiau, per 4 valandas. Jei mėginių negalima analizuoti per 4 valandas, tai laikiau tamsoje, (1–5) °C temperatūroje, jų neužšaldant.

Vadovaujantis LAND 46–2007 procedūros atlikimo nurodymais, mėginius palaikau kambaryje, kad

pasiektų kambario temperatūrą. Išdžiovinti koštuvai turi pasiekti drėgmės pusiausvyrą su oru, todėl laikyti jį prie analizinių svarstyklių, ir sverti 0,1 mg tikslumu. Naudojant košimo vakuume įtaisą, mėginys nukoštas pro stiklo pluošto koštuvą, kuris į košimo įrangos piltuvą įdėtas lygia puse į apačią.

Indas su mėginiu stipriai suplaktas ir tuoj pat vienu užmoju įpiltas į matavimo cilindrą. Buvo pasirinktas 500 ml mėginio tūris, nes nuosėdų kiekis ant koštuvo tuomet yra optimalioje masės nustatymo ribose nuo 5 mg iki 50 mg. Koštuvai džiovinami 105 ° C temperatūroje ir sveriant nustatyta sulaikytų ant koštuvo nuosėdų masė.

Norint įsitikinti, ar skendinčių medžiagų nustatymo metodika yra tiksli, atlikta pakartotinė analizė procedūra, vietoj mėginio imant 200 ml darbinės etaloninės suspensijos, kurios išgava turi būti 90–110 %.

Skendinčių medžiagų koncentracija apskaičiuojama pagal (2.1) lygtį:

$$p = \frac{1000 \cdot (b - a)}{V} \quad (2.1)$$

čia:

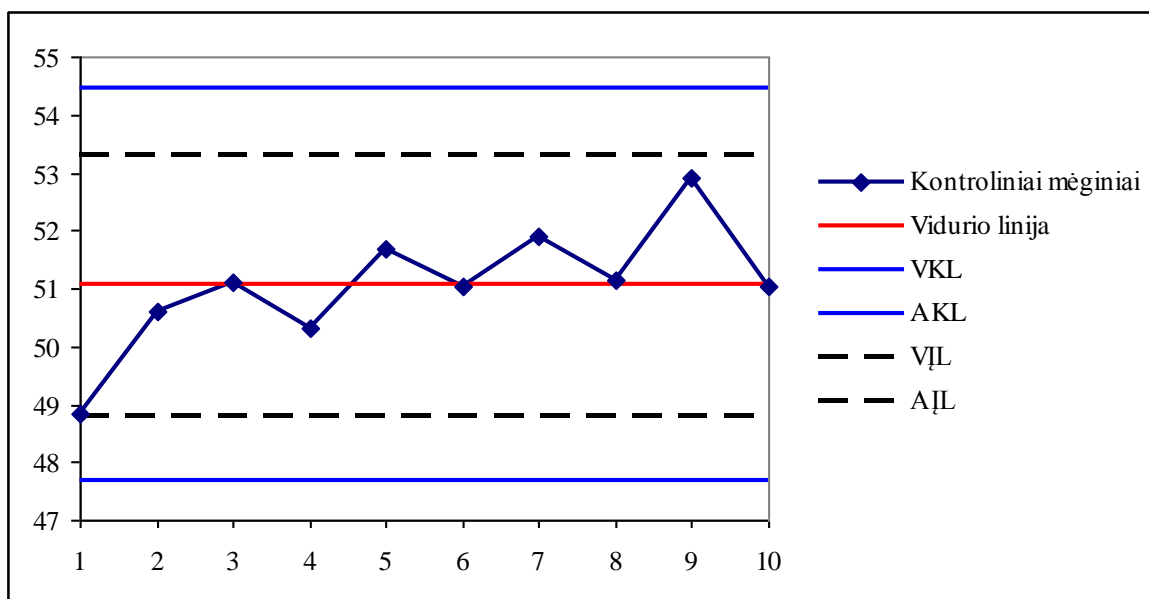
p – skendinčių medžiagų koncentracija, mg/l;

b – koštuvo masė po filtravimo, mg;

a – koštuvo masė prieš filtravimą, mg;

V – bandinio tūris, ml. Jei bandinys buvo sveriamas, 1 g masę laikyti ekvivalentiška 1 ml tūrio.

Atlikus pakartotinę analizę yra sudaromas grafikas (2.5 pav.) su vidurio, kontrolinėmis bei įspėjamosiomis linijomis. Jei kontrolinio mėginio vertės neatsiduria už kritinių linijų, tuomet skendinčių medžiagų nustatymo metodika yra tiksli (LAND 46–2007)).



2.5 pav. Kontrolinis grafikas (VKL – viršutinė kritinė linija; AKL – apatinė kritinė linija; VİL – viršutinė įspėjamoji linija, AİL – apatinė įspėjamoji linija)

Gauta skendinčių medžiagų koncentracija paviršiniame vandenyje yra lyginama su Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymu Nr. D1–633 „Dėl paviršinių vandens telkinių, kuriuose gali gyventi ir veistis gėlavandenės žuvis, apsaugos reikalavimų aprašo patvirtinimo“. Šiame dokumente nustatyta vandens telkinyje esančių skendinčių medžiagų ribinė vertė, kuri yra $\leq 0,25$ mg/l tiek lašišiniams, tiek karpiniams vandens telkiniams.

2.4. Bendrosios anglies nustatymas vandenyje

Suminė anglis (TC), neorganinė anglis (IC) ir organinė anglis (TOC) vandenyje nustatoma skysto mėginio moduly Shimadzu TOC – VCSH/TOC – VCSN serijos bendrosios anglies analizatoriumi (2.6 pav). Šiuo prietaisu galima išmatuoti ir suminį vandeniu perduodamo azoto kiekį (TN), remiantis oksiduojančio deginimo – chemiliuminescencijos principais. Organinės anglies (TOC) koncentracija prietaisu apskaičiuojama:

$$TOC = TC - IC \quad (2.1)$$

čia:

TC – bendrosios anglies koncentracija mėginyje, mg/l;

IC – neorganinės anglies koncentracija mėginyje, mg/l.



2.6 pav. Shimadzu TOC – VCSH/TOC – VCSN serijos bendrosios anglies analizatoriumi

Šiuo prietaisu mėginius galima įvertinti analizę atliekant tik vienu arba keliais režimais. Mėginio įvertinimas yra šių tipų:

- analizės atlikimas vienu režimu;
- analizės atlikimas keliais režimais;
- analizės atlikimas keliais režimais – tuo pačiu metu;

- analizės atlikimas keliais režimais – įprasto išvirkštimo analizė.

Mėginių vertinimas analize vienu režimu atliekamas šiais principais:

- nustatomas analizės režimas;
- nustatomas analizės parametras;
- nustatomas mėginys;
- pradedamas tyrimas;
- baigiama analizė.

Mėginių koncentracija matuojama mg/l. Kai analizė atliekama keliais režimais, tai visų pirma būtina nustatyti pirmo analizės režimo parametrus, tuomet antro ir kitų analizės režimo parametrus.

Atliekant analizę mėginiai supilstomi į ėmiklio buteliukus, juose mėginio kiekis neturi būti mažesnis nei nurodyta 2.2 lentelėje, nes jei jo bus įpilta per mažai, tai neužteks atlikti mėginio analizės.

2.2 lentelė. Buteliukų tipai ir mėginio kiekis

| Buteliuko tūris, ml | Tipiškas mėginio kiekis, ml |
|---------------------|-----------------------------|
| 24 | 24 |
| 40 | 40 |
| 125 | 125 |

Tiriant mėginius yra naudojamas automatinis mėginių ėmiklis, todėl analizė gali būti atliekama atidengtus buteliukus įstatant į sukamą padėklą. Analizei naudojami 40 ml tūrio buteliukai.

2.5. Eutrofikacijos procesus sukeliančių įvairių azoto formų junginių vandenyje tyrimo metodika

2.5.1. Niritų nustatymo paviršiniuose vandens telkiniuose metodika

Pagal Lietuvos apsaugos normatyvinį dokumentą LAND 39–2000 molekulinės absorbcijos spektrometrinis metodas taikomas nitritų kiekiui nustatyti geriamajame, žaliame bei nuotėkų vandenyje. Molekulinė absorbcinė spektrinė analizė pagrįsta elektromagnetinio srauto absorbcija analizuojamosios medžiagos molekulėmis ar sudėtingais jonais ultravioletiniame, regimajame ir infraraudonajame spektre. Molekulės turi joms būdingą energijos lygmenų sistemą. Iš galimų molekulių judėjimo formų – sukimosi, branduolių virpėjimo ir elektronų sužadavimo, ypač didelę reikšmę analizei turi branduolių virpėjimas ir elektronų sužadavimas.

Kiekvienai elektromagnetinę spinduliuotę absorbuojančiai medžiagai būdinga tam tikras absorbcijos juostų intensyvumo ir jų maksimumo pasiskirstymas pagal bangos ilgį. Tokioje kreivėje, kuri vadinama absorbcijos spektru, būna vienas ar keletas maksimumų (smailių). Absorbcijos spektrai gali būti išreiškiami optinio tankio A , elektromagnetinės spinduliuotės pralaidumo T arba molinio absorbcijos

koeficiento ϵ_λ priklausomybe nuo absorbuojamosios elektromagnetinės spinduliuotės bangos ilgio λ arba bangos skaičiaus ν . Ultravioletinės ir regimosios šviesos srityje dažnai vartojama $A = f(\lambda)$ priklausomybė (Mickevičius 1998).

Reaguojant nitritams, esantiems analizuojamame mėginyje, 4–aminobenzensulfonamido reagentu ir veikiant ortofosforo rūgščiai, kai tirpalo pH 1,9, susidaro diazonio druska, kuri su N-(1–naftil)–1,2–diaminoetanodihidrochloridu sudaro dažiklį, nudažantį tirpalą rožine spalva. Absorbicija matuojama esant 540 nm bangos ilgiui.

Naudojami reagentai:

- ortofosforo rūgštis, 15 mol/l tirpalas ($c = 1,70$ g/ml);
- ortofosforo rūgštis, vidutiniškai 1,5 mol/l tirpalas;
- spalvotas reagentas;
- nitrito standartinis tirpalas, $C_N = 100$ mg/l;
- nitrito standartinis tirpalas, $C_N = 1,00$ mg/l.

Analizei naudojami tik distiliuotas vanduo ir tik analiziškai grynai reagentai.

Nitritų nustatymo bei kalibracinės kreivės sudarymas.

Visi stikliniai indai išplaunami, naudojant maždaug 2 mol/l druskos rūgšties tirpalą, ir kruopščiai išskalaujami vandeniu. Įprastiniai laboratoriniai prietaisai ir spektrofotometras, veikiantis esant 540 nm bangos ilgiui ir turintis 10 mm optinio sluoksnio storio kiuvetes.

Pagamintas ortofosforo rūgšties tirpalas vidutiniškai sudarė 1,5 mol/l, pipete paimtas 25 ml ortofosforo rūgšties ir supiltas į stiklinę, kurioje yra 150 ± 25 ml distiliuoto vandens. Sumaišomas ir atvėsinaamas iki kambario temperatūros. Tirpalas perpiltas į 250 ml matavimo kolbą ir distiliuotu vandeniu atskiestas iki žymės. Tirpalo kokybė, laikant tamsaus stiklo butelyje, nekinta ne mažiau kaip 6 mėnesius.

Spalvotas reagentas gamintas ištirpinant $40,0 \pm 0,5$ g 4-aminobenzensulfamido ($\text{NH}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_2\text{NH}_2$) $100 \pm 1,0$ ml ortofosforo rūgšties ir 500 ± 50 ml distiliuoto vandens mišinyje. Gautame tirpale ištirpintas $2,00 \pm 0,02$ g N-(1–naftil)–1,2–diaminoetan–dihidrochlorido ($\text{C}_{10}\text{H}_7\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2 \cdot 2\text{HCl}$). Perpiltas į 1000 ml matavimo kolbą ir distiliuotu vandeniu atskiedžiamas iki žymės, gerai sumaišomas. Laikant 2–5 °C temperatūroje, tamsaus stiklo butelyje tirpalo kokybė nekinta vieną mėnesį.

Ruošiant nitrito standartinį tirpalą pasverta $0,4922 \pm 0,0002$ g natrio nitrito (išdžiovinto 105 °C temperatūroje ne trumpiau kaip 2 valandas), kuris ištirpintas vidutiniškai 750 ml distiliuoto vandens. Supiltas į 1000 ml matavimo kolbą ir distiliuotu vandeniu atskiestas iki žymės. Laikant 2–5 °C temperatūroje, užkimštame stikliniame butelyje tirpalo kokybė nekinta ne mažiau kaip vieną mėnesį. Iš šio tirpalo gamintas nitrito standartinis tirpalas.

Mėginių analizė.

Vandens ėminiai imti į stiklinius indus ir analizuoti iškart po paėmimo, ne vėliau kaip per 24 valandas. Visi stikliniai indai išplaunami. Prieš vandens mėginių paėmimą indai praskalaujami tyriamuoju vandeniu.

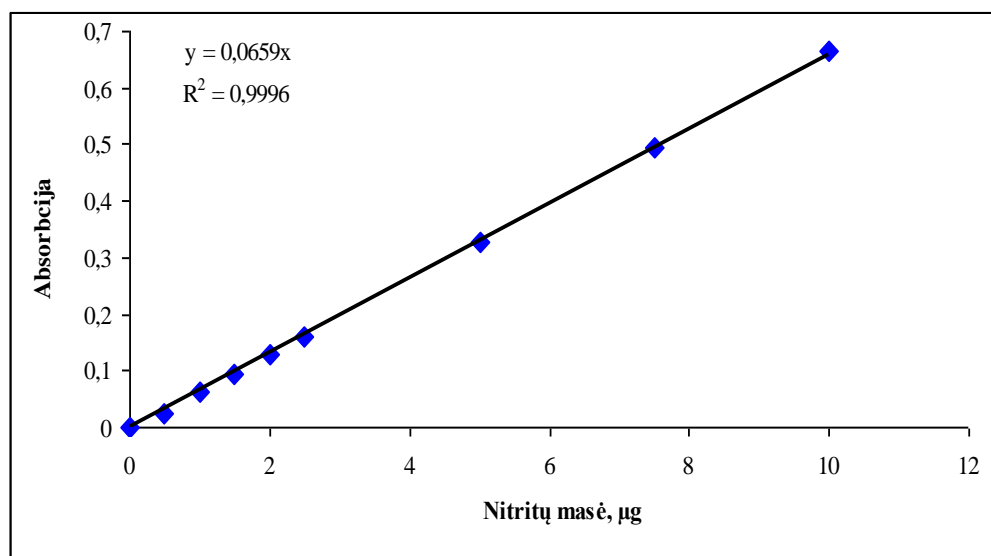
Maksimalus analizuojamo mėginio tūris 40 ml. Jame nustatoma nitritų koncentraciją iki $C_N = 0,25$ mg/l. Nustatant didesnes nitritų koncentracijas, analizuojamas mažesnio tūrio mėginys.

Atliekant mėginių analizę visų pirma sudaroma kalibracinė kreivė – į 50 ml matavimo kolbą pipete įpilama nitrito standartinio tirpalo, kurio tūris nurodytas 2.3 lentelėje. Tūriai parenkami pagal Lietuvos apsaugos normatyvinį dokumentą 39–2000.

2.3 lentelė. Standartinio nitrito tirpalo tūriai bei nitritų masė tirpaluose

| | | | | | | | | | |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| Standartinio nitrito tirpalo tūris, ml | 0,0 | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 5,0 | 7,50 | 10,0 |
| Nitritų masė, mN, g | 0,0 | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 5,0 | 7,50 | 10,0 |

Mėginys kiekvienoje kolbutėje atskiestas distiliuotu vandeniu iki $40 \pm 2,0$ ml ir toliau analizuotas – įpilta 1,0 ml pipete paimto spalvoto reagento. Jis tuoj pat buvo sumaišytas ir atskiestas distiliuotu vandeniu iki žymės. Tirpalas dar kartą sumaišytas ir paliekamas stovėti. Tirpalo pH turi būti $1,9 \pm 0,1$. Praėjus ne mažiau kaip 20 minučių, išmatuojama tirpalo absorbcija esant maksimalios absorbcijos bangos ilgiui, apytikriai 540 nm, naudojant 10 mm optinio sluoksnio storio kiuvetę. Kaip palyginamasis tirpalas naudojamas distiliuotas vanduo. Sudaroma nitritų kalibracinė kreivė (2.7 pav.)



2.7 pav. Nitritų kalibracinė kreivė

Tuščiojo mėginio absorbcijos skaitmeninė vertė atimama iš standartinių tirpalų absorbcijos skaitmeninių verčių ir kiekvieno kiuvetės optinio sluoksnio storio atveju brėžiama absorbcijos intensyvumo priklausomybės nuo nitritų (kaip azoto) masės kreivė. Kreivė turi būti tiesinės priklausomybės ir eiti per koordinacių pradžią.

Tiriant upių Vilnios bei Neries ir ežerų Balsio bei Balžio vandens mėginius, į 50 ml matavimo kolbą įpilta 40 ml mėginio, tuomet įlašinta 1,0 ml pipete paimto spalvoto reagento. Jį tuoj pat buvo sumaišytas ir atskiestas distiliuotu vandeniu iki žymės. Tirpalą dar kartą sumaišytas ir paliktas stovėti. Praėjus ne mažiau kaip 20 minučių, buvo išmatuota tirpalo absorbcija esant maksimalios absorbcijos bangos ilgiui – 540 nm, naudojant 10 mm optinio sluoksnio storio kiuvetę. Kaip palyginamasis tirpalas naudojamas distiliuotą vandenį.

Nitritų masė apskaičiuojama iš tiesės lygties (2.2), kuri yra gaunama kartu su kalibracine kreive:

$$y = 0,0659 \cdot x \quad (2.2)$$

čia:

x – nitritų masė, atitinkanti tikrąją absorbciją, μg ;

y – mėginio absorbcijos intensyvumas.

Tuomet apskaičiuojama nitritų koncentraciją, išreiškta miligramais azoto litre, apskaičiuojama pagal (2.3) formulę:

$$\frac{m_N}{V} \quad (2.3)$$

čia:

m_N – nitritų masė, atitinkanti tikrąją absorbciją, μg ;

V – analizuojamo mėginio tūris, ml

Gauta nitritų koncentracija paviršiniame vandenyje yra lyginama su Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymu Nr.D1–633 „Dėl paviršinių vandens telkinių, kuriuose gali gyventi ir veistis gėlavandenės žuvys, apsaugos reikalavimų aprašo patvirtinimo“. Šiame dokumente nustatytos vandens kokybės rodiklių ribinės vertės, kurias turi atitikti lašišinių, karpinių, potencialiai lašišinių ir kitų vandens telkinių kokybė. Nitritų ribinė vertė yra $\leq 0,1$ mg/l lašišiniams vandens telkiniams ir $\leq 0,15$ mg/l karpiniams vandens telkiniams.

2.5.2. Nitratų kiekio nustatymas paviršiniuose vandens telkiniuose metodika

Pagal Lietuvos apsaugos normatyvinį dokumentą LAND 65–2005 yra nustatomi nitrito jonai žaliajame vandenyje. Matavimo intervalas – esant didžiausiam tiriamojo mėginio tūriui 25 ml, galima nustatyti nitratų azoto koncentraciją iki $C_N = 0,2$ mg/l. Intervalą galima išplėsti, imant mažesnę mėginio tūrį. Aptikimo riba – analizuojant 25 ml mėginio tūrį ir naudojant 40 mm optinio sluoksnio storio kiuvetę, yra nuo 0,003 mg/l iki 0,013 mg/l. Metodo jautrumas – analizuojant 25 ml mėginio tūrį, kuriame yra 0,2 mg/l nitratų azoto koncentracija ir naudojant 40 mm optinio sluoksnio storio kiuvetę, absorbcija apytikriai yra 0,68 vienetai. Absorbcija matuojama esant 415 nm bangos ilgiui.

Naudoti reagentai:

- sieros rūgštis, $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 18$ mol/l, $\rho = 1,84$ g/ml;
- ledinė acto rūgštis, $c(\text{CH}_3\text{COOH}) = 17$ mol/l, $\rho = 1,05$ g/ml;
- šarminis tirpalas, $\rho_{\text{NaOH}} = 200$ g/l;
- natrio azido tirpalas, $\rho_{\text{NaN}_3} = 0,5$ g/l;
- natrio salicilato tirpalas, $\rho(\text{HO} - \text{C}_6\text{H}_4 - \text{COONa}) = 10$ g/l;
- nitratų pagrindinis standartinis tirpalas, $\rho_N = 1000$ mg/l;
- nitratų standartinis tirpalas, $\rho_N = 100$ mg/l;
- nitratų darbinis standartinis tirpalas, $\rho_N = 1$ mg/l.

Analizei naudoti tik pripažinto analizinio grynumo reagentus ir tik distiliuotas analizės vanduo. Šio tyrimo principas yra geltonos spalvos junginio spektrometrinis matavimas, kuris susidaro į mėginį pridėjus natrio salicilato ir sieros rūgšties šarminėje terpėje. Kartu su šarmu įpilamas dinatrio etilendinitrilotetraacetato dihidratas (EDTANa_2), kad būtų išvengta kalcio ir magnio druskų nusėdimo. Natrio azidas pridedamas, kad būtų pašalintas nitrito jonų trukdymas.

Nitratų nustatymo bei kalibracinės kreivės sudarymas.

Prietaisai naudojami šiam tyrimui yra įprasta laboratorinė įranga – spektrometras, tinkantis matuoti esant 415 nm bangos ilgiui ir turintis 10 mm optinio sluoksnio storio kiuvetes, garinimo indeliai, apie 50 ml talpos, vandens vonia, į kurią galima įstatyti mažiausiai šešis garinimo indelius; termostatinė vandens vonia, palaikanti $25 \pm 0,5$ °C temperatūrą.

Tyrimams naudojama sieros rūgštis bei ledinė acto rūgštis. Sieros rūgšties koncentracija $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 18$ mol/l, tankis $\rho = 1,84$ g/ml ledinės acto rūgšties – $c(\text{CH}_3\text{COOH}) = 17$ mol/l, $\rho = 1,05$ g/ml. Dirbant su šiais reagentais, naudojami apsauginiai akiniai ir chemiškai atsparūs drabužiai.

Šarminis tirpalas ruošiamas atsargiai ištirpinus 200 ± 2 g natrio hidroksido maždaug 800 ml vandens. Prideda $50 \pm 0,5$ g dinatrio etilendinitrilotetraacetato dihidrato (EDTANa_2) $\{[\text{CH}_2 - \text{N}(\text{CH}_2\text{COOH})\text{CH}_2 - \text{COONa}]_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}\}$ ir ištirpinama. Atvėsinama iki kambario temperatūros ir praskiesta

matavimo cilindre iki 1 litro analizės vandeniui. Laikyti polietiliniame butelyje. Šio reagento galiojimo laikas neribojamas. Dirbant su šiais reagentais, naudojami apsauginiai akiniai ir chemiškai atsparūs drabužiai.

Ištirpinama $1 \pm 0,1$ g natrio salicilato 100 ± 1 ml vandens ir gautas natrio salicilato tirpalas. Laikytas stikliniame arba polietiliniame butelyje, šį tirpalą ruošti prieš analizuojant mėginius.

Nitratų pagrindinis standartinis tirpalas pagamintas ištirpinus $7,215 \pm 0,001$ g kalio nitrato (KNO_3), prieš tai išdžiovinto 105°C temperatūroje mažiausiai 2 h, apie 750 ml vandens. Kiekybiškai perpilamas į 1 litro matavimo kolbą ir praskiestas vandeniui iki žymės. Šis tirpalas laikytas ne ilgiau kaip 2 mėnesius. Iš šio tirpalo ruošiamas nitratų standartinis tirpalas – pipete paimama 50 ml pagrindinio standartinio tirpalo, įpilama į 500 ml matavimo kolbą ir praskiedžiama iki žymės vandeniui. Šis tirpalas laikomas stikliniame butelyje ne ilgiau kaip 1 mėnesį. Iš šio tirpalo gaminamas nitratų darbinis standartinis tirpalas. Pipete paimama 5 ml standartinio tirpalo ir supilama į 500 ml matavimo kolbą. Praskiedžiama vandeniui iki žymės. Tirpalas būtina ruošiamas kiekvieną kartą prieš naudojimą.

Mėginiai imti į stiklinius indus ir analizuojami kiek galima greičiau po paėmimo. Jei negalima analizuoti iškart, mėginiai saugomi $2\text{--}5^\circ\text{C}$ temperatūroje.

Mėginių analizė.

Didžiausias mėginio tūris, kuriame nustatoma nitratų koncentracija iki $\rho_{\text{N}} = 0,2$ mg/l, yra 25 ml. Nustatant didesnes nitratų koncentracijas, imti mažesniais mėginio tūriais.

Pirmiausiai sudaroma kalibracinė kreivė. Ji ruošiamą į garinimo indelius įpilus 1, 2, 3, 4 ir 5 ml nitratų darbinio standartinio tirpalo. Tai atitinka nitratų kiekį $m(\text{N}) = 1, 2, 3, 4$ ir 5 μg atitinkamuose indeliuose.

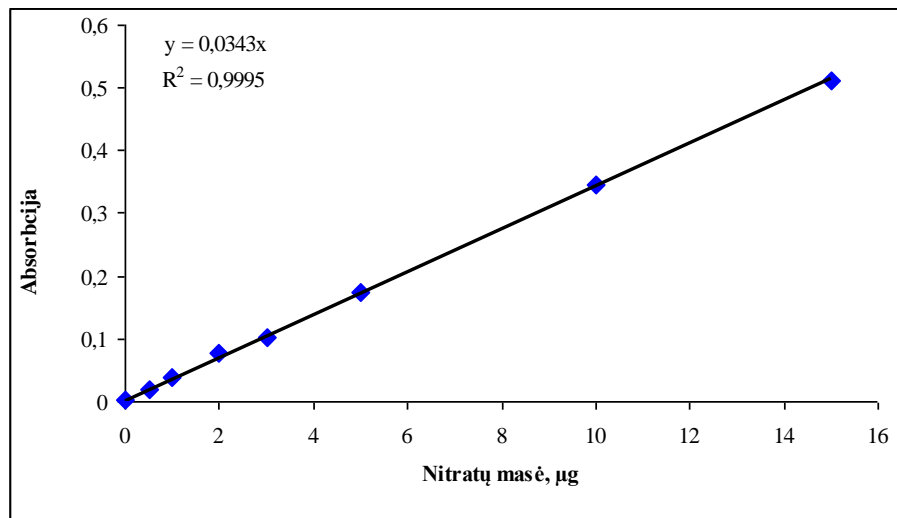
Tuomet įpilta $0,5 \pm 0,005$ ml natrio azido tirpalo ir $0,2 \pm 0,002$ ml acto rūgšties. Laikyti mažiausiai 5 min., po to mišinys išgarintas vandens vonioje. Įpilta $1 \pm 0,01$ ml natrio salicilato tirpalo, išmaišyta ir vėl mišinys sausai išgarintas. Tuomet mišinys atvėsintas iki kambario temperatūros. Įpilta $1 \pm 0,01$ ml sieros rūgšties ir atsargiai maišant ištirpintas sausas likutis. Palaikytas mišinys 10 min. Tada įpilta $10 \pm 0,1$ ml analizės vandens ir $10 \pm 0,1$ ml šarminio tirpalo.

Tada kiekybiškai perpilta į 25 ml matavimo kolbutę, bet nepraskiesta iki žymės. Pastatytos kolbutės į termostatinę vandens vonią $25 \pm 0,5^\circ\text{C}$ temperatūroje ir palaikytos 10 ± 2 min. Tada išimtos kolbutės ir praskiestos iki žymės vandeniui.

Pagaminus tirpalą atliekami spektrometriniai matavimai. Tirpalo absorbciją išmatuota, esant 415 nm bangos ilgiui, naudojant 10 mm optinio sluoksnio storio kiuvetę. Kaip palyginamasis tirpalas naudotas distiliuotas vanduo. Išmatuota absorbcija pažymėta A_s .

Sudarant kalibracinę buvo atliktas tuščiojo mėginio tyrimas. Tuščiasis mėginys tirtas lygiagrečiai su mėginiu, imant $5,00 \pm 0,05$ ml analizės vandens vietoj tiriamojo mėginio. Išmatuota absorbcija pažymėta A_b . Tuščiojo mėginio absorbcijos skaitmeninė vertė atimta iš kiekvieno kalibravimo tirpalo absorbcijos ir

nubrėžta absorbcijos intensyvumo priklausomybė nuo nitratų masės $m(N)$, μg . Sudaroma nitritų kalibracinė kreivė (2.5 pav.)



2.8 pav. Nitratų kalibracinė kreivė

Tiriant upių Vilnios bei Neries ir ežerų Balsio bei Balžio vandens mėginius, į mažus garinimo indelius įpilta po 5 ml tiriamojo mėginio, kuriame nitratų masė atitinka 5 μg . Tuomet visa procedūra atliekta kaip ir sudarant kalibracinę kreivę.. Gautą absorbciją pažymėti A_t .

Nitratų absorbcija A_r apskaičiuota kaip yra pateikta LAND 65–2005:

$$A_r = A_s - A_b \quad (2.4)$$

čia:

A_s – tiriamojo mėginio absorbcija;

A_b – tuščiojo mėginio absorbcija.

Iš kalibracinės kreivės surasta absorbciją A_r atitinkanti nitratų masę m_N mikrogramais. Nitratų masė apskaičiuota iš tiesės lygties (2.5), kuri gauta kartu su kalibracine kreive:

$$y = 0,0343 \cdot x \quad (2.5)$$

čia:

x – nitritų masė, atitinkanti tikrąją absorbciją, μg ;

y – mėginio absorbcijos intensyvumas.

Tuomet nitratų koncentracija ρ_N , miligramais litre, apskaičiuota pagal formulę:

$$C = \frac{m_N}{V} \quad (2.6)$$

čia:

m_N – nitritų masė, atitinkanti tikrąją absorbciją, μg ;

V – analizuojamo mėginio tūris, ml

Gauta nitratų koncentracija paviršiniame vandenyje lyginama su Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymu Nr. D1–386 „Dėl nuotekų tvarkymo reglamento patvirtinimo pakeitimo“. Šiame dokumente nustatytos vandens kokybės rodiklių didžiausios leidžiamos koncentracijos (DLK). Nitratų didžiausia leistina koncentracija vandens telkinyje yra 2,26 mg/l.

Paviršiniams vandens telkiniams taip pat yra taikomi ekologinės būklės vertinimo kriterijai (Lietuvos Respublikos... 2007). Pagal kuriuos vandens telkiniai priskiriami ekologinės būklės klasėms, nitratų azoto koncentracija upėse turi būti $<1,30$ mg/l, tuomet upė priklauso labai gerai ekologiškai būklei, o ežeruose nitratų azoto koncentracija nevertinama.

2.6. Biocheminio deguonies suvartojimo bei ištirpusio deguonies kiekio vandenyje nustatymo metodika

Netiesiogiai apie organinių medžiagų kiekį vandenyje galima spręsti pagal **biocheminio deguonies suvartojimą (BDS)**. Tai yra ištirpusio vandenyje deguonies kiekis, kuris buvo suvartotas biochemiškai suoksiduoti organinėms medžiagoms per tam tikrą laiką griežtai apibrėžtomis sąlygomis.

Prietaisai naudojami šiam tyrimui yra laboratorinė įranga – VELP Scientifica B.O.D. System sensorių sistema. Nustatymo riba: iki 999 mg/l. BDS matavimai atliekami mėginiuose iš paviršinių vandens telkinių, buitinėse nuotekose, pramonės įmonių nuotekose.



2.9 pav. VELP Scientifica firmos BDS sensorių sistema su magnetine maišykle (VELP Scientifica 2010)

BDS parodo, kiek deguonies suvartoja bakterijos, skaidydamos vandenyje esančias organines medžiagas. Jis padidėja organinėmis medžiagomis užterštuose vandenyse. Paprastai matuojamas BDS₅: kiek deguonies bakterijos suvartoja per 5 paras 20 °C temperatūroje, kuri yra optimali organinių medžiagų skaidymuisi. Mikroorganizmai esantys vandenyje, kuriame yra biodegraduojančių organinių medžiagų, sunaudodami deguonį biocheminiams procesams išskiria ekvivalentinį kiekį anglies dioksido (CO₂). Procesas vyksta uždaroje sistemoje ir CO₂ yra absorbuojamas stipraus šarmo, palapsniui mažėjantis vidinis slėgis fiksuojamas sensorių pagalba.

Nustatant biocheminį deguonies suvartojimą per 5 paras paviršiniuose vandens telkiniuose, į tamsaus stiklo butelius supilstoma po 400 ml cilindru paimto vandens. Mėginių CO₂ kiekiui absorbuoti į tarpinę įdedamas kalio šarmas KOH ir buteliai užsukami su sensoriais, kurie matuoja BDS₅.

Ištirpusio deguonies kiekio matavimai atliekami buitinėse ir gamybinėse nuotekose, paviršiniuose vandenyse. Paviršinio vandens prisotinimas deguonimi yra nustatomas prietaisu Oxi 3205 (2.11 pav.) – kompaktiškas, preciziškas ištirpusio deguonies matuoklis užtikrina greitus ir patikimus ištirpusio deguonies kiekio matavimus.



2.10 pav. Oxi 3205 ištirpusio deguonies matuoklis

Deguonis būtinas daugeliui vandens augalų ir gyvūnų. Gamtiniuose vandenyse ištirpusio deguonies koncentracija gali keistis nuo 0 iki 14 mg/l, priklausomai nuo metų ir paros laiko ištirpusio deguonies koncentracija priklauso ir nuo vandens temperatūros – šaltesniame vandenyje deguonies gali ištirpti daugiau.

Sunaudoto deguonies kiekis paviršiniuose vandens telkiniuose matuojamas, patalpinus į vandens telkinį deguonies sensorių, kuris išmatuoja ištirpusį deguonies kiekį paviršiniame vandenyje, esant pastoviai tėkmei arba laboratorijoje naudoti magnetinę maišyklę, kuri sukurią srautą.

Biocheminis deguonies suvartojimas bei ištirpusio deguonies kiekius paviršiniuose vandens telkiniuose yra reglamentuojamas Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymu Nr. D1–210 „Dėl paviršinių vandens telkinių būklės nustatymo metodikos“. Šiame dokumente nustatyti paviršiniams vandens telkiniams taikomi ekologinės būklės vertinimo kriterijai. Pagal šiuos kriterijus vandens telkiniai priskiriami ekologinės būklės klasėms, BDS₇ upėse turi būti <2,30 mg/l, ištirpusio deguonies kiekio

suvartojimas – $>8,50$ mg/l, tuomet upė yra labai geros ekologinės būklės, o ežeruose šie parametrai nevertinami.

2.7. Antrojo skyriaus išvados

1. Paviršinių vandens telkinių tyrimo vietos parinktos pagal išskirtas urbanizuotas teritorijas – Neries bei Vilnios upės, bei rekreacines zonas – Balžio bei Balsio ežerai.
2. Temperatūrinis vandens režimas bei vandenilių jonų koncentracija paviršiniuose vandens telkiniuose matuota mobiliu prietaisu *Hanna Instruments pHep HI 98127*.
3. Suminė, neorganinė ir organinė anglis vandenyje nustatoma skysto mėginio modulio *Shimadzu TOC – VCSH/TOC – VCSN* serijos bendrosios anglies analizatoriumi, šiuo prietaužisu taip pat galima išmatuoti ir suminį vandeniu perduodamo azoto kiekį.
4. Prietaisai naudojami biocheminio deguonies suvartojimo (BDS) tyrimui yra laboratorinė įranga – *VELP Scientifica B.O.D. System* sensorių sistema, paviršinio vandens prisotinimas deguonimi yra nustatomas prietaisu *Oxi 3205*.

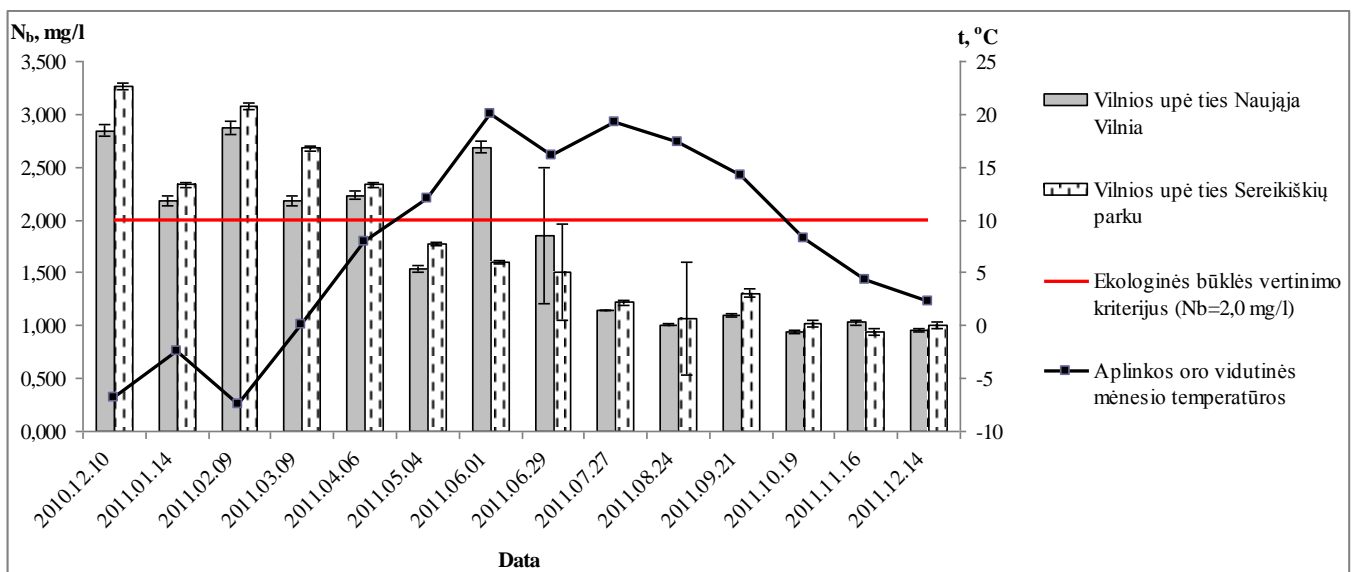
3. Tyrimų rezultatų analizė

3.1. Azoto ir jo junginių duomenų analizė paviršiniuose vandens telkiniuose

Paviršiniuose vandens telkiniuose tirti azoto junginiai, kurie lemia eutrofikacijos procesus. Tiriamuoju laikotarpiu – nuo 2010 metų gruodžio iki 2011 metų gruodžio – gauti bendrojo azoto (3.1 pav., 3.5 pav., 3.9 pav.), nitritų azoto (3.2 pav., 3.6 pav., 3.10 pav.), nitratų azoto (3.3 pav.; 3.7 pav., 3.11 pav.) duomenys, kurie pateikti paveiksluose. Aplinkos oro temperatūra turi įtakos paviršinių vandens telkinių temperatūrai bei eutrofikacijos procesams, todėl grafikuose pateiktas aplinkos oro bei paviršinio vandens temperatūrų kitimą tiriamuoju laikotarpiu.

Vilnios upė

3.1 paveiksle pavaizduota bendrojo azoto koncentracijos kitimo tendencija Vilnios upėje, aplinkos oro vidutinės mėnesinės temperatūros bei ekologinės būklės vertinimo kriterijus (Lietuvos Respublikos... 2007).

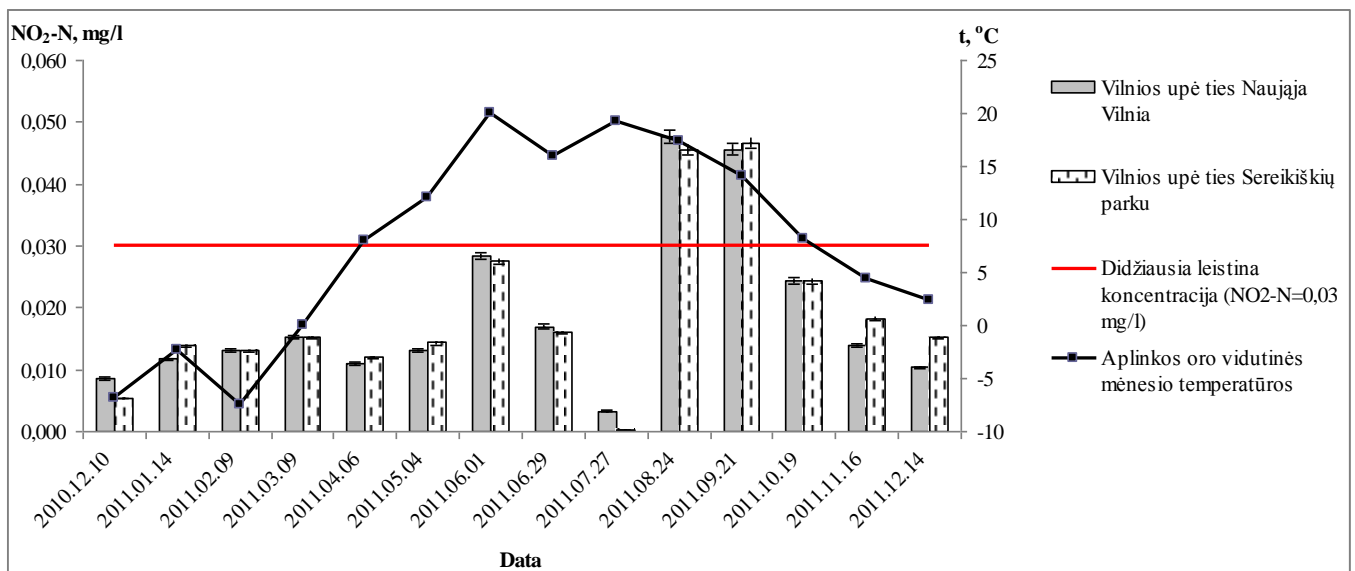


3.1 pav. Bendrojo azoto (N_b) koncentracijos Vilnios upėje tiriamuoju laikotarpiu, ekologinės būklės vertinimo kriterijus (2,0 mg/l) bei vidutinės mėnesinės aplinkos oro temperatūros

Vilnios upėje bendrojo azoto koncentracija viršija ekologinės būklės vertinimo kriterijų (2,0 mg/l) (3.1 pav.) (Lietuvos Respublikos... 2007) žiemos laikotarpiu (2010 m. gruodis, 2011 m. sausis ir vasaris) iki 1,6 karto, tačiau kylant aplinkos oro temperatūrai, o taip pat ir paviršinio vandens temperatūrai bendrojo azoto koncentracija mažėja – pavasario laikotarpiu (kovas, balandis, gegužė) Vilnios upės vandenyje bendrojo azoto koncentracija viršijo ekologinės būklės vertinimo kriterijų tik ankstyvą

pavasari, tačiau gegužės mėnesį viršijimas nebuvo nustatytas. Vasaros laikotarpiu (birželis, liepa, rugpjūtis), kai aplinkos oro temperatūra vidutiniškai nebuvo žemesnė nei 15 °C, bendrojo azoto koncentracijos neviršijo ekologinės būklės vertinimo kriterijaus, šis rodiklis Vilnios upėje kito priklausomai nuo sezoniškumo. Tačiau 2011 m. rudenį bei žiemą, kai aplinkos oro temperatūra nuo rugsėjo iki gruodžio viršijo klimato normas (1.1 pav.), bendrojo azoto koncentracija paviršiniame vandenyje buvo 3 kartus mažesnė nei 2010 metų gruodį, todėl galima teigti, jog eutrofikacija vyksta ir šaltuoju laikotarpiu Vilnios upėje, nes esant šiltesnei aplinkos oro temperatūrai, vandens telkiniuose prasitęsia vegetacijos laikotarpis, susidaro palankios sąlygos mikroorganizmų vystymuisi, kurie vartoja biogenines medžiagas.

Vilnios upėje bendrojo azoto koncentracija vandenyje svyravo nuo 0,978 mg/l iki 3,058 mg/l tiriamuoju laikotarpiu, vidutiniškai ji siekė 1,775 mg/l ir neviršijo ekologinės būklės vertinimo kriterijaus (2,0 mg/l), todėl Vilnios upė priklauso labai gerai ekologinės būklės klasei.



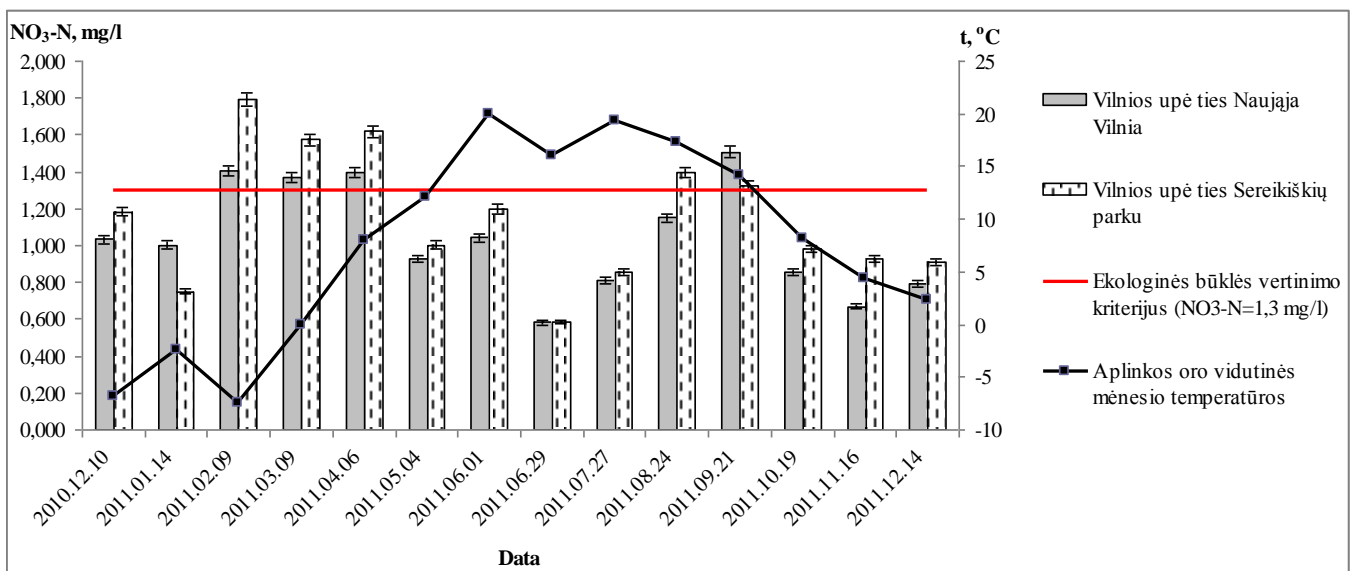
3.2 pav. Nitritų azoto (NO₂-N) koncentracijos Vilnios upėje tiriamuoju laikotarpiu, didžiausia leistina koncentracija (0,03 mg/l) bei vidutinės mėnesinės aplinkos oro temperatūros

Vilnios upėje nitritų azoto koncentracija neviršija didžiausios leistinos koncentracijos (DLK = 0,03 mg/l) (3.2 pav.) (Lietuvos Respublikos... 2007) žiemą, pavasarį bei vasarą, tik paskutinįjį vasaros mėnesį nitritų azoto koncentracija Vilnios upės vandenyje viršijo 0,03 mg/l tiek Naujojoje Vilnioje, tiek Sereikiškių parke apie 1,5 karto, be to, pakilus aplinkos oro temperatūrai nitritų azoto koncentracija Vilnios upėje padidėjo, tai rodo, jog jų koncentraciją lemia sezoniškumas.

Vilnios upėje skirtingose vietose (Naujojoje Vilnioje ir Sereikiškių parke) nitritų azoto koncentracija vandenyje svyravo nuo 0,002 iki 0,047 mg/l, vidutiniškai ji siekė 0,019 mg/l ir neviršijo didžiausios leistinos koncentracijos.

Nitritų azotas yra tarpinė nitrifikacijos proceso grandis. Padidėjusi jų koncentracija rodo, kad vandens užterštumas yra didelis, o savaiminis apsivalymo procesas sutrikęs (Bagdziūnaitė–Litvinaitienė 2005), tačiau pagal vidutinę metinę nitritų azoto koncentraciją (0,019 mg/l) Vilnios upėje, galima teigti, kad ji nėra užteršta šia biogenine medžiaga, tačiau tai rodo, jog nitritų azotas yra suvartojamas mikroorganizmų, kurie skatina eutrofikacijos procesą.

Vilnios upėje tiriamuoju laikotarpiu nitratų azoto koncentracija viršijo ekologinės būklės vertinimo kriterijų (1,3 mg/l) (3.3 pav.) (Lietuvos Respublikos... 2007) vėlyvą žiemą (vasarį) bei pavasarį (kovą, balandį). Gegužės mėnesį, pakilus aplinkos oro temperatūrai (>15 °C), nitratų azoto koncentracija Vilnios upės vandenyje sumažėjo. Vasaros laikotarpiu ši biogeninė medžiaga neviršijo ekologinės būklės vertinimo kriterijaus (1,3 mg/l), tik rugpjūtį nitratų azoto koncentracija padidėjo 2 kartus nei buvo birželio pabaigoje. Rudens bei žiemos sezonais nitratų azoto koncentracija buvo panaši kaip rugpjūčio mėnesį.



3.3 pav. Nitratų azoto (NO₃-N) koncentracijos Vilnios upėje tiriamuoju laikotarpiu, ekologinės būklės vertinimo kriterijus (1,3 mg/l) bei vidutinės mėnesinės aplinkos oro temperatūros

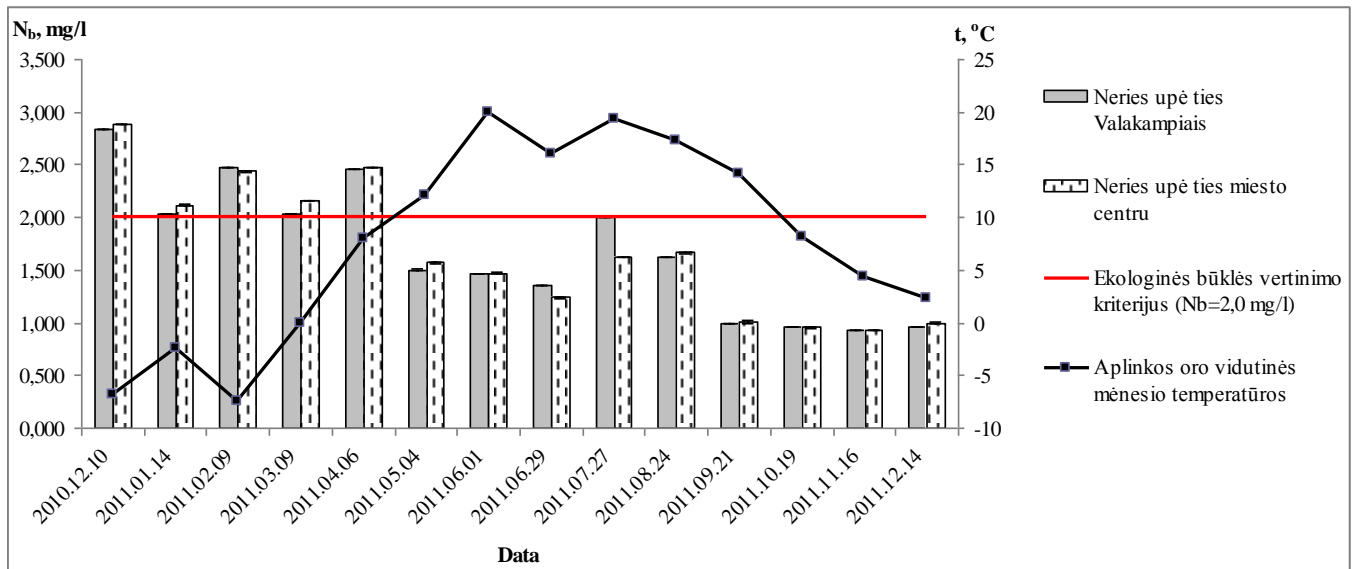
Vilnios upėje skirtingose vietose (Naujojoje Vilnioje ir Sereikiškių parke) nitratų azoto koncentracija vandenyje svyravo nuo 0,583 iki 1,597 mg/l, vidutiniškai ji siekė 1,094 mg/l ir neviršijo ekologinės būklės vertinimo kriterijaus. Todėl Vilnios upė priklauso labai gerai ekologinės būklės klasei pagal vidutinę metinę nitratų azoto koncentraciją paviršiniame vandenyje.

Biogeninių medžiagų koncentracija gamtiniame vandenyje sumažėja šiltuoju metų laikotarpiu, nes prasideda vegetacijos procesas, o intensyvios fotosintezės metu gamtinėse ekosistemose nitratai gali būti visiškai sunaudoti (Ruminaitė 2010), kaip nitritų azotas Vilnios upėje liepos mėnesį (3.2 pav.).

Neries upė

Azoto junginių pasiskirstymas Neries upėje pateiktas paveiksluose: 3.4 paveiksle pavaizduotos bendrojo azoto koncentracijos, 3.5 paveiksle pateiktos nitritų azoto, 3.6 paveiksle – nitratų azoto.

3.4 paveiksle pavaizduota bendrojo azoto koncentracijos kitimo tendencija, ekologinės būklės vertinimo kriterijus bei aplinkos oro vidutinės mėnesinės temperatūros Neries upėje.



3.4 pav. Bendrojo azoto (N_b) koncentracijos Neries upėje tiriamuoju laikotarpiu, ekologinės būklės vertinimo kriterijus (2,0 mg/l) bei vidutinės mėnesinės aplinkos oro temperatūros

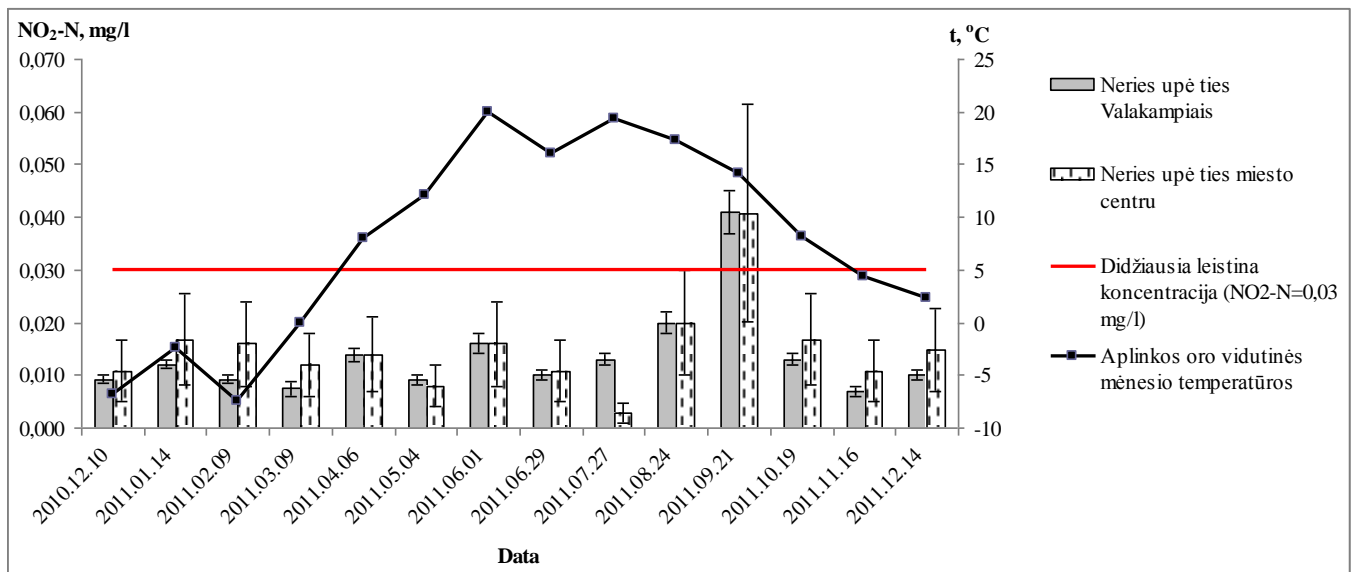
Neries upėje bendrojo azoto koncentracija viršija ekologinės būklės vertinimo kriterijų (2,0 mg/l) (3.4 pav.) (Lietuvos Respublikos... 2007) žiemos laikotarpiu (gruodis, sausis, vasaris) bei pavasarį kovo ir balandžio mėnesiais, tai įtakos turėjo padidėjusi aplinkos oro temperatūra. Didžiausias viršijimas užfiksuotas 2010 m. gruodį 2,884 mg/l ir ekologinės būklės vertinimo kriterijus viršytas apie 1,5 karto.

Vasaros laikotarpiu (birželis, liepa, rugpjūtis), kai aplinkos oro temperatūra vidutiniškai nebuvo mažesnė nei 15 °C, bendrojo azoto koncentracijos tiriamuoju laikotarpiu neviršijo ekologinės būklės vertinimo kriterijaus. Rudens laikotarpiu, kaip matyti iš 3.4 paveikslo, bendrojo azoto koncentracija buvo pastovi, tai lėmė aukštesnė aplinkos oro temperatūra nei įprastai, nes buvo viršyta klimato norma (1.1 pav.) visus 2011 metus.

Neries upėje skirtingose vietose (Valakupių paplūdimyje ir miesto centre ties Mindaugo tiltu) bendrojo azoto koncentracija vandenyje svyravo nuo 0,930 mg/l iki 2,862 mg/l tiriamuoju laikotarpiu, vidutiniškai ji siekė 1,685 mg/l ir neviršijo ekologinės būklės vertinimo kriterijaus, todėl Neries upę pagal bendrojo azoto koncentraciją vandenyje galima priskirti labai geros ekologinės būklės klasei.

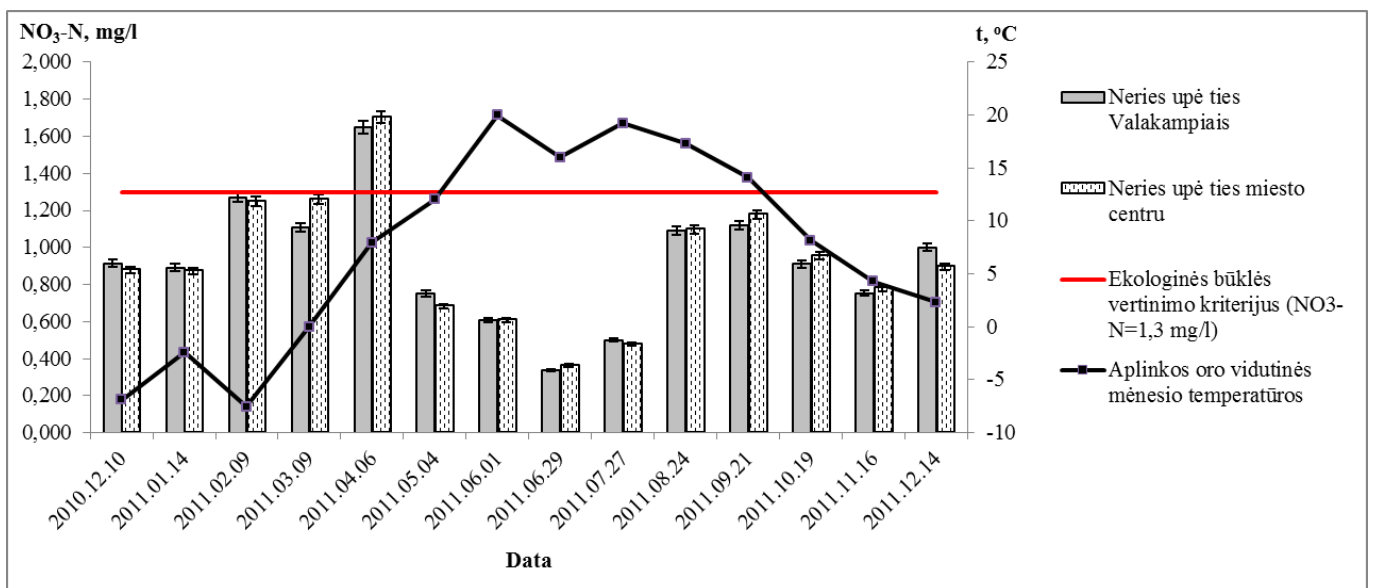
Neries upėje nitritų azoto koncentracija neviršija didžiausios leistinos koncentracijos (DLK = 0,03 mg/l) (3.5 pav.) (Lietuvos Respublikos... 2007) žiemą, pavasarį bei vasarą ir visą tiriamąjį laikotarpį

nitritų azoto koncentracija mažai kito, tik rudenį, rugsėjo mėnesį, nitritų azoto koncentracija Neries upėje didžiausia leistina koncentraciją (0,03 mg/l) viršijo 37 %.



3.5 pav. Nitritų azoto ($\text{NO}_2\text{-N}$) koncentracijos Neries upėje tiriamuoju laikotarpiu, didžiausia leistina koncentracija (0,03 mg/l) bei vidutinės mėnesinės aplinkos oro temperatūros

Neries upėje skirtingose vietose (Valakupių paplūdimyje ir miesto centre ties Mindaugo tiltu) nitritų azoto koncentracija vandenyje svyravo nuo 0,008 iki 0,041 mg/l, vidutiniškai ji siekė 0,014 mg/l ir neviršijo didžiausios leistinos koncentracijos.



3.6 pav. Nitratų azoto ($\text{NO}_3\text{-N}$) koncentracijos Neries upėje tiriamuoju laikotarpiu, ekologinės būklės vertinimo kriterijus (1,3 mg/l) bei vidutinės mėnesinės aplinkos oro temperatūros

Neries upėje tiriamuoju laikotarpiu nitratų azoto koncentracija vandenyje priklauso nuo sezoniškumo (3.6 pav.). Koncentracija padidėjo pavasario bei rudens laikotarpiais, o sumažėjo vasaros metu. Ekologinės būklės vertinimo kriterijus (1,3 mg/l) (Lietuvos Respublikos... 2007) buvo viršytas pavasarį tik balandžio mėnesį 1,3 karto, kai nitratų azoto koncentracija Neries upės vandenyje vidutiniškai siekė 1,677 mg/l, kitais mėnesiais viršijimų nebuvo.

Neries upėje skirtingose vietose (Valakupių paplūdimyje bei ties Mindaugo tiltu) nitratų azoto koncentracija vandenyje svyravo nuo 0,350 iki 1,676 mg/l tiriamuoju laikotarpiu. Vidutiniškai nitratų azoto koncentracija tiriamuoju laikotarpiu buvo 0,925 mg/l ir neviršijo ekologinės būklės vertinimo kriterijaus, todėl Neris gali būti priskirta labai geros ekologinės būklės klasei.

Balsio bei Balžio ežerai

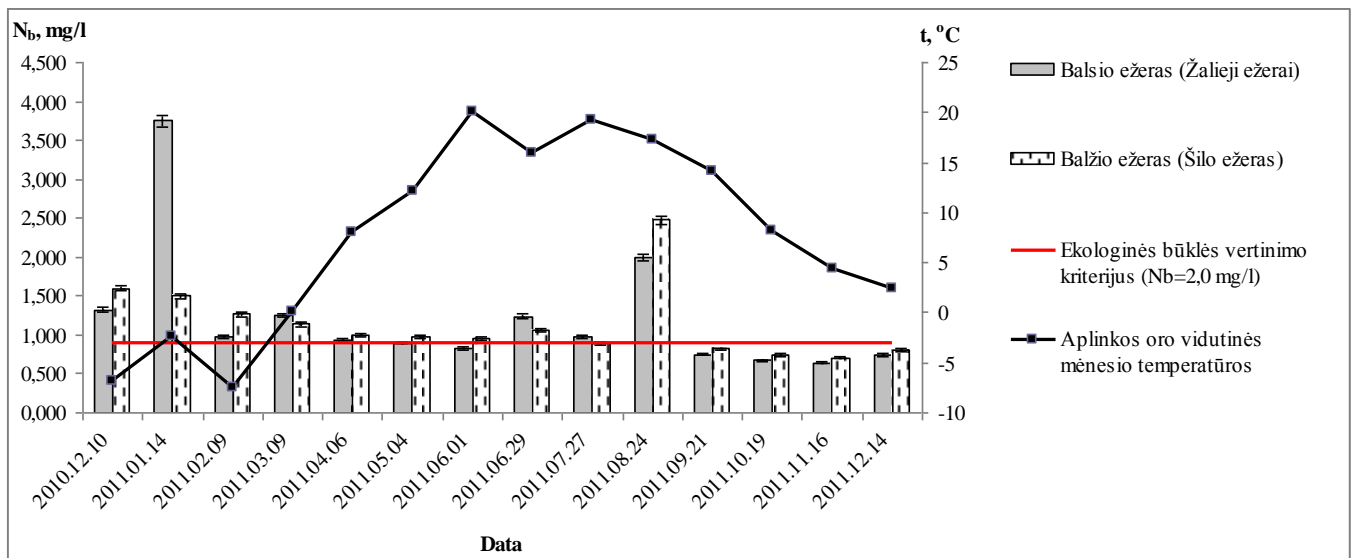
Kylant oro temperatūrai, kyla ir ežerų vandens temperatūra. Visame Nemuno upių baseino rajone (UBR) vidutinė metinė temperatūra pagal visus klimato kaitos scenarijus XXI amžiaus pradžioje turėtų pakilti nuo 0,5 °C iki 0,9 °C. Todėl tikėtina, kad ledo danga ežeruose susidarys vėliau ir laikysis trumpiau nei XX amžiaus pabaigoje.

Ežero vandens temperatūra daro svarbų poveikį ežero ekosistemai ir vandens kokybei. Daugelio abiotinių ir biotinių procesų greitis priklauso nuo ežero vandens temperatūros. Nuo vandens temperatūros priklauso vandens masės fizinės savybės – tankis, dujų tirpumas ir kiti. Temperatūra lemia cheminių reakcijų greitį. Aukštesnėje vandens temperatūroje dauguma reakcijų vyksta sparčiau (Jensen and Andersen 1992).

Ežere gyvenantys organizmai turi optimalias temperatūros ribas, kuriose vystymosi ir gyvenimo sąlygos yra palankiausios. Pasikeitus ežero vandens temperatūros režimui, gali pasikeisti rūšinė ežero ekosistemos sudėtis (Winder and Schindler 2004). Pakilus pavasario ir rudens sezonų vandens temperatūrai, susidaro sąlygos vegetacijos laikotarpio prasitęsimui ežere. Vandens temperatūros kilimas gali lemti didesnę pirminę produkciją ežeruose, o tai, savo ruožtu, skatintų seklių ežerų užaugimą ir intensyvesnį bei dažniau pasitaikantį dumblių žydėjimą.

3.7 paveiksle pavaizduota bendrojo azoto kitimo tendencija tirtuose paviršinio vandens telkiniuose – Balsio ir Balžio ežeruose. Bendrajam azotui yra nustatomas ekologinės būklės vertinimo kriterijus, kurio vertė yra 0,9 mg/l, jei ežeras atitinka labai gerą ekologinę būklę.

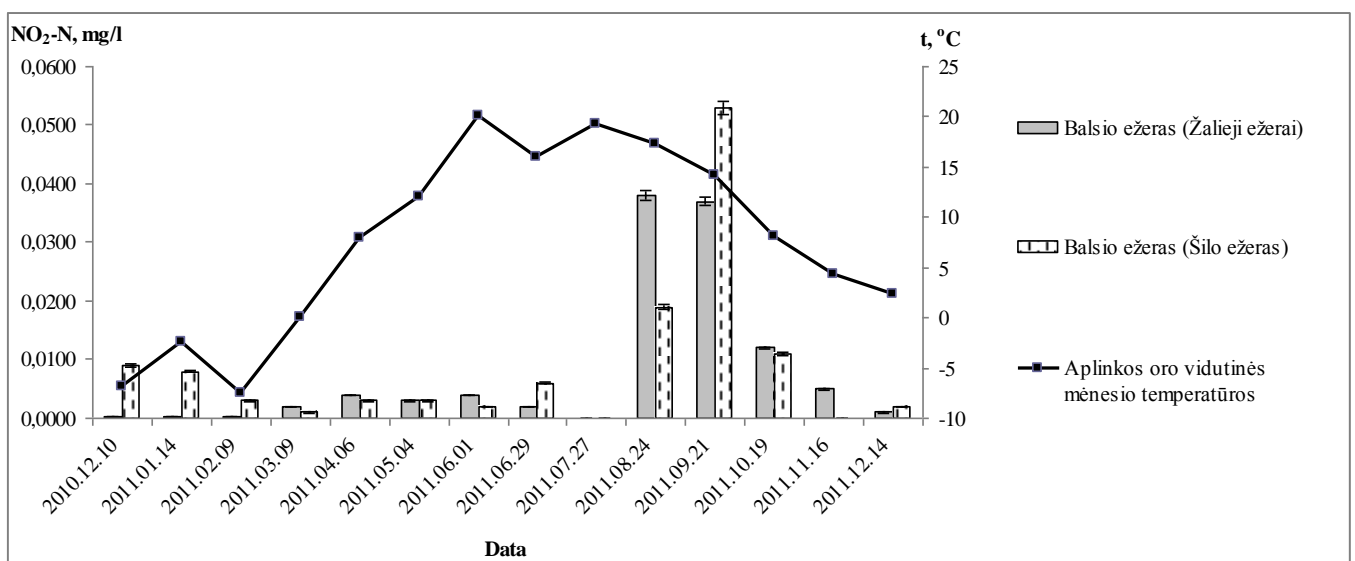
Balsio ežere bendrojo azoto koncentracija viršija ekologinės būklės vertinimo kriterijų (0,9 mg/l) (Lietuvos Respublikos... 2007) didesniąją tiriamojo laikotarpio dalį (57 %) (3.7 pav.). Tiek žiemos (gruodis, sausis, vasaris), tiek pavasario (kovas, balandžis), tiek vasaros laikotarpiais, išskyrus birželio pradžioje, kai užfiksuota aukščiausia aplinkos oro temperatūra 20 °C, ekologinės būklės vertinimo kriterijus buvo viršytas nuo 1,04 iki 4,0 karto, maksimalus viršijimas nustatytas Balsio ežere sausio mėnesį (3,750 mg/l), tik rudens laikotarpiu ekologinės būklės vertinimo kriterijus neviršijamas.



3.7 pav. Bendrojo azoto (N_b) koncentracijos Balsio bei Balžio ežeruose tiriamuoju laikotarpiu, ekologinės būklės vertinimo kriterijus (0,9 mg/l) bei vidutinės mėnesinės aplinkos oro temperatūros

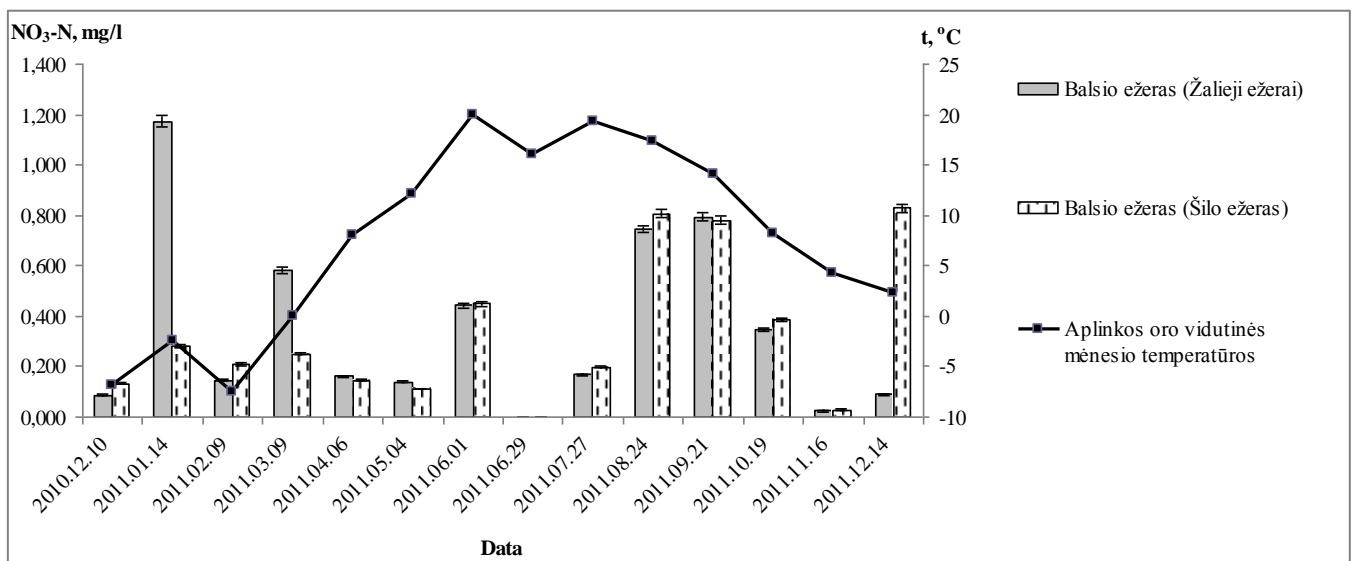
Balžio ežere ekologinės būklės vertinimo kriterijus neviršytas rudens laikotarpiu (3.7 pav.), visą kitą tiriamąjį laiką bendrojo azoto koncentracija viršija ekologinės būklės vertinimo kriterijų (0,9 mg/l) nuo 1,05 iki 2,8 karto. Didžiausias viršijimas užfiksuotas rugpjūčio mėnesį 2,479 mg/l. Balžio ežere bendrojo azoto koncentracija vandenyje svyravo nuo 0,711 mg/l iki 2,479 mg/l tiriamuoju laikotarpiu.

Balsio ežere bendrojo azoto koncentracija vandenyje svyravo nuo 0,647 mg/l iki 3,750 mg/l tiriamuoju laikotarpiu. Vidutinė bendrojo azoto koncentracija tiriamuoju laikotarpiu yra 1,214 mg/l ir viršijo labai geros ekologinės būklės vertinimo kriterijų 1,3 karto. Taigi Balsio ežeras atitinka gerą ekologinės būklės klasę.



3.8 pav. Nitritų azoto (NO_2-N) koncentracijos Balsio bei Balžio ežeruose tiriamuoju laikotarpiu bei vidutinės mėnesinės aplinkos oro temperatūros

Ežerų ekologinė būklė nėra vertinama pagal nitritų azoto koncentraciją vandenyje. 3.8 paveiksle pavaizduota nitritų azoto koncentracijos Balsio bei Balžio ežeruose tiriamuoju laikotarpiu. Matyti, jog Balsio ežere nitritų azoto koncentracija vandenyje svyravo nuo 0,001 iki 0,038 mg/l tiriamuoju laikotarpiu. Vidutinė nitritų azoto koncentracija 0,008 mg/l yra apie 5 kartus mažesnė nei didžiausia koncentracija užfiksuota Balsio ežere tiriamuoju laikotarpiu. Balžio ežere minimali nitritų azoto koncentracija tiriamuoju laikotarpiu buvo 0,001 mg/l, maksimali – 0,053 mg/l, vidutinė – 0,009 mg/l, pastaroji mažesnė už didžiausią koncentraciją 6 kartų.



3.9 pav. Nitratų azoto (NO₃-N) koncentracijos Balsio bei Balžio ežeruose tiriamuoju laikotarpiu bei vidutinės mėnesinės aplinkos oro temperatūros

3.9 paveiksle pavaizduota nitratų azoto koncentracijos Balsio bei Balžio ežeruose tiriamuoju laikotarpiu. Matyti, jog Balsio ežere nitratų azoto koncentracija vandenyje svyravo nuo 0,001 mg/l iki 1,172 mg/l tiriamuoju laikotarpiu. Vidutinė nitratų azoto koncentracija yra 0,350 mg/l Balsio ežere. Balžio ežere minimali bendrojo azoto koncentracija tiriamuoju laikotarpiu buvo 0,001 mg/l, maksimali – 0,830 mg/l, vidutinė – 0,329 mg/l. Palyginus tiriamuosius ežerus tarpusavyje, matyti, kad Balžio ežero vanduo mažiau užterštas azotu ir jo junginiais.

Nitratų azoto koncentracija tiriamuose vandens telkiniuose priklauso nuo sezoniškumo, nes jų kiekis sumažėja šiltuoju laikotarpiu, vykstant vegetacijos procesams, o intensyvios fotosintezės metu gamtinėse ekosistemose nitratai gali būti visiškai sunaudoti (Ruminaitė 2010).

Palyginus tiriamuosius ežerus pagal nitratų azoto ir nitritų azoto vidutines tiriamojo laikotarpio koncentracijas, galima teigti, kad geresnės kokybės paviršinis vanduo yra Balsio ežero nei Balžio, be to, eutrofikacijos procesas jame vyksta lėčiau, nes nitritų azoto kiekiai vandenyje mažesni nei Balsio ežere, atitinkamai 1,1 karto. Eutrofikacijos procesą gali lemti fiziniai vandens telkinių parametrai – dydis ir

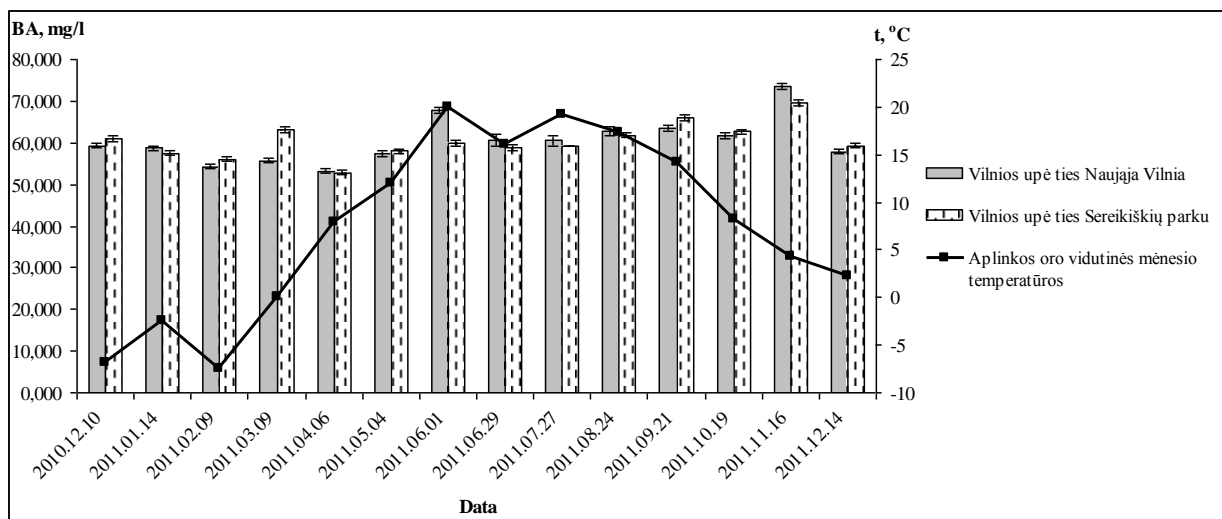
gylis, nes Balžio ežeras yra kažkiek mažesnis nei Balsio, be to, biogeninių medžiagų prietaka mažesnė į Balsio ežerą.

3.2. Anglies ir jos junginių duomenų analizė paviršiniuose vandens telkiniuose

Paviršiniuose vandens telkiniuose tiriami anglis ir jos junginiai, kurių koncentracijos paviršiniame vandenyje spartina klimato kaitos pokyčius. Tiriamuoju laikotarpiu – nuo 2010 metų gruodžio iki 2011 metų gruodžio – gauti bendrosios anglies (3.10 pav., 3.13 pav., 3.16 pav.), organinės anglies (3.11 pav., 3.14 pav., 3.17 pav.), neorganinės anglies (3.12 pav.; 3.15 pav., 3.18 pav.) duomenys. Aplinkos oro temperatūra turi įtakos paviršinių vandens telkinių temperatūrai bei eutrofikacijos procesams, todėl grafikuose pateikiamas aplinkos oro temperatūros kitimą tiriamuoju laikotarpiu.

Vilnios upė

3.10 paveiksle pateiktos bendrosios anglies, 3.11 paveiksle – organinės anglies, 3.12 paveiksle – neorganinės anglies koncentracijų kitimo tendencijos Vilnios upėje tiriamuoju laikotarpiu. Tiriamiesiems anglies junginiams nėra keliami ekologinės būklės vertinimo kriterijai, todėl šių junginių kitimo tendencijas lygintos su vidutinėmis metinėmis jų reikšmėmis.

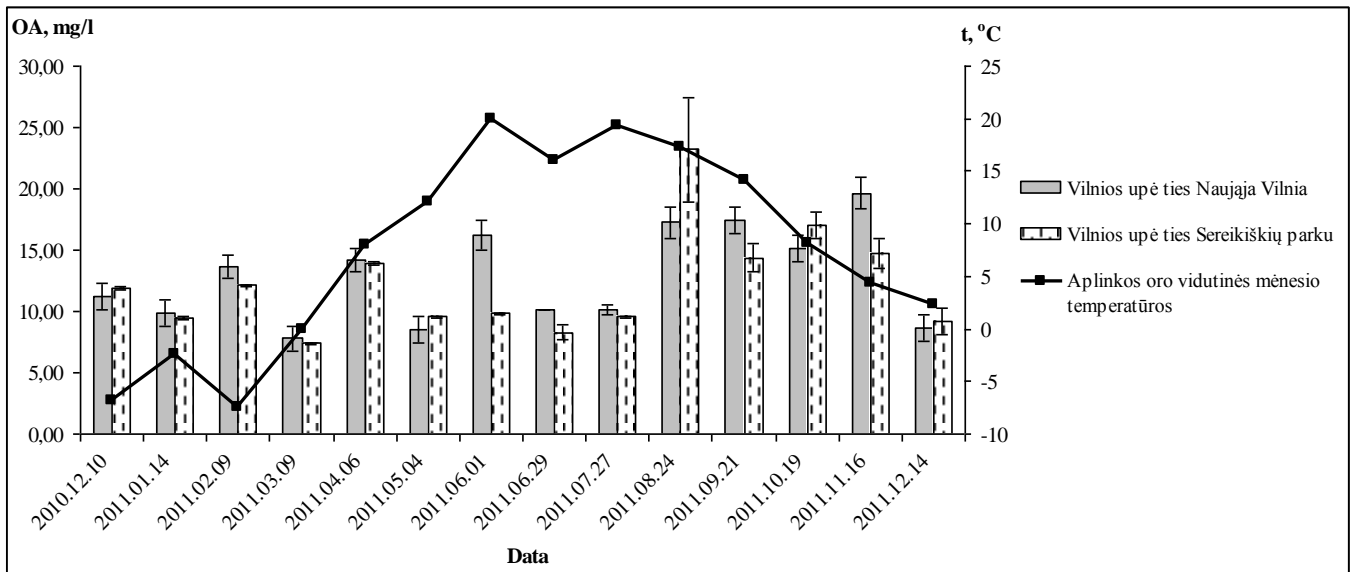


3.10 pav. Bendrosios anglies (BA) koncentracijos Vilnios upėje ir vidutinės mėnesio oro temperatūros tiriamuoju laikotarpiu

2010 – 2011 metais bendrosios anglies koncentracija Vilnios upėje kito nežymiai, vidutinė metinė bendrosios anglies koncentracija buvo 60,46 mg/l, kai tuo tarpu mažiausia – 53,03 mg/l, o didžiausia – 71,58 mg/l (3.10 pav.).

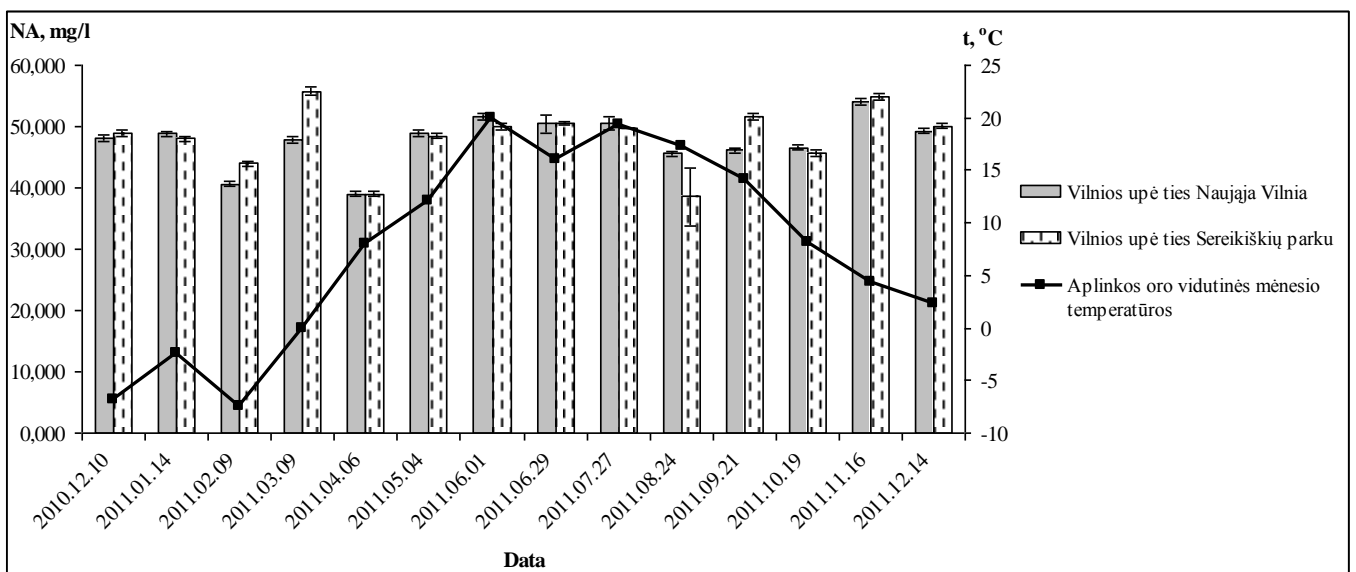
Vilnios upėje skirtingose vietose (Naujojoje Vilnioje ir Sereikiškių parke) tiriamosios organinės anglies koncentracija paviršiniame vandenyje svyravo nuo 7,61 mg/l iki 20,21 mg/l, vidutiniškai ji siekė

12,55 mg/l.



3.11 pav. Organinės anglies (OA) koncentracijos Vilnios upėje ir vidutinės mėnesio oro temperatūros tiriamuoju laikotarpiu

Organinės anglies koncentracija tiriamuoju laikotarpiu Vilnios upėje priklauso nuo sezoniškumo, pavasario bei vasaros laikotarpiais organinės anglies koncentracija sumažėja, priešingai nei šaltuoju laikotarpiu. Mažiausia koncentracija užfiksuota kovo mėnesį (7,61 mg/l), didžiausia – rugpjūčio (23,21 mg/l), kuri yra didesnė 3 kartus už mažiausią koncentraciją bei beveik 2 kartus už vidutinę metinę koncentraciją (12,55 mg/l) (3.11 pav.).



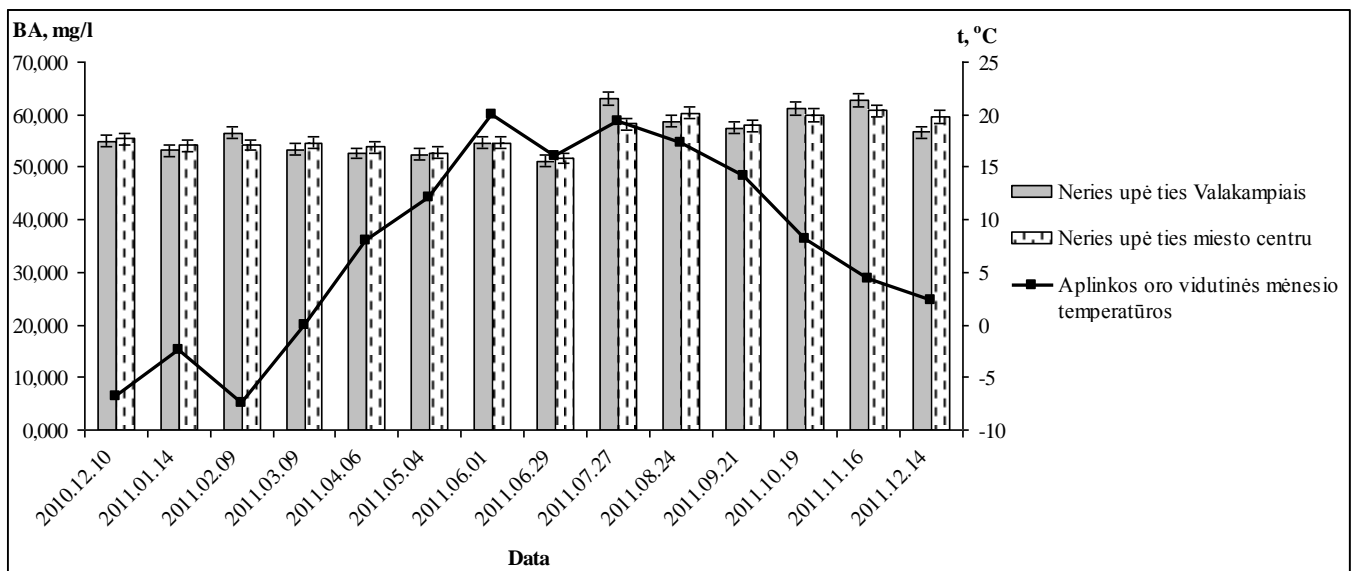
3.12 pav. Neorganinės anglies (NA) koncentracijos Vilnios upėje ir vidutinės mėnesio oro temperatūros tiriamuoju laikotarpiu

Neorganinės anglies koncentracija tiriamuoju laikotarpiu Vilnios upėje mažai priklauso nuo sezoniškumo (3.12 pav.). Didžiausia koncentracija užsikuota kovo mėnesį (54,40 mg/l), kuri viršija mažiausią rugpjūčio mėnesio koncentraciją (39,01 mg/l) 1,5 karto, o vidutinę metinę koncentraciją (47,95 mg/l) – 1,2 karto.

Palyginus tiriamųjų anglies junginių grafikus Vilnios upėje (3.10 pav.; 3.11 pav.; 3.12 pav.), matyti, kad vandens eutrofikacijos procesui įtakos gali turėti organinės anglies koncentracijos vandenyje, nes šis junginys priklauso nuo temperatūros, kaip ir tiriamosios biogeninės medžiagos.

Neries upė

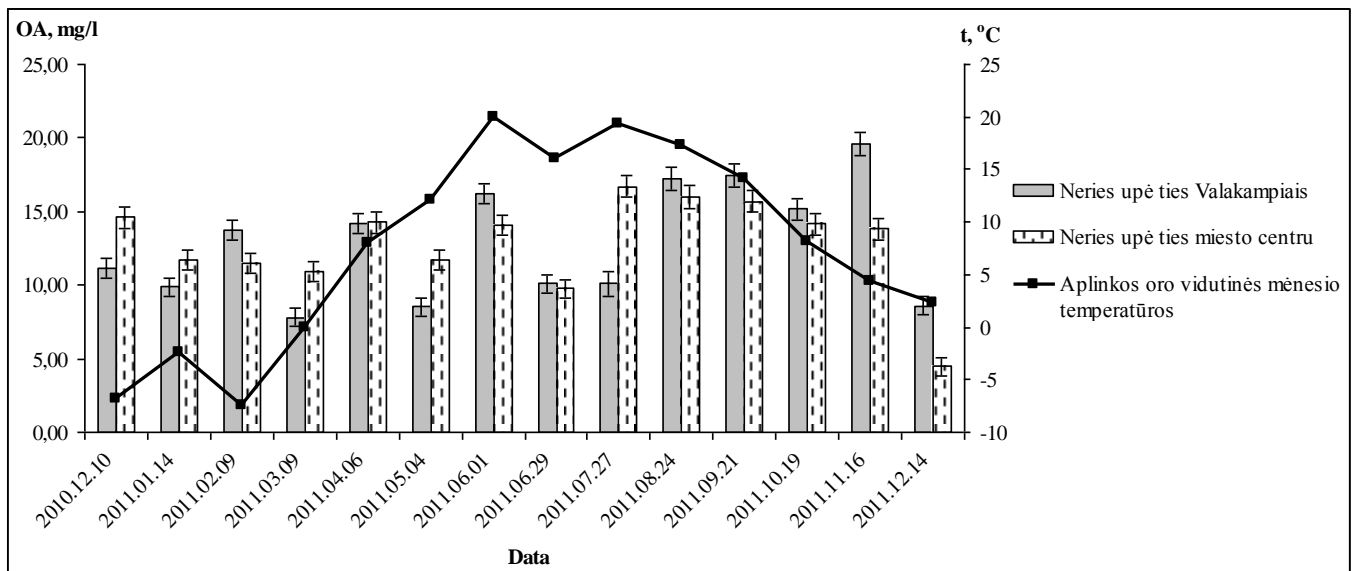
3.13 paveiksle pateiktos bendrosios anglies, 3.14 paveiksle – organinės anglies, 3.15 paveiksle – neorganinės anglies koncentracijų kitimo tendencijos Neries upėje, vidutinės aplinkos oro temperatūras tiriamuoju laikotarpiu.



3.13 pav. Bendrosios anglies (BA) koncentracijos Neries upėje ir vidutinės mėnesio oro temperatūros tiriamuoju laikotarpiu

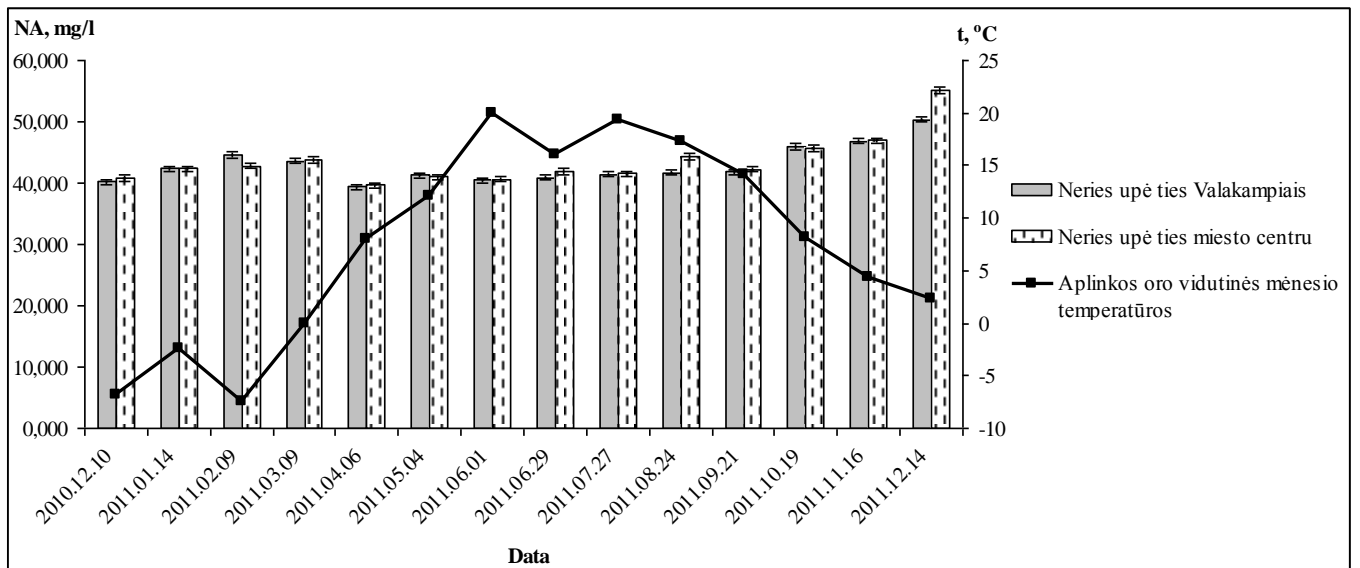
Bendrosios anglies koncentracija tiriamuoju laikotarpiu Neries upėje kito nežymiai (3.13 pav.), vidutinė metinė bendrosios anglies koncentracija buvo 56,33 mg/l, kai tuo tarpu mažiausia – 51,45 mg/l, o didžiausia – 61,71 mg/l.

Neries upėje skirtingose vietose (Valakupių II paplūdimyje ir miesto centre ties Mindaugo tiltu) tiriamosios organinės anglies koncentracija paviršiniame vandenyje svyravo nuo 6,53 mg/l iki 16,72 mg/l, vidutiniškai ji siekė 12,83 mg/l.



3.14 pav. Organinės anglies (OA) koncentracijos Neris upėje, vidutinės mėnesio oro temperatūros tiriamuoju laikotarpiu

Organinės anglies koncentracija tiriamuoju laikotarpiu Vilnios upėje priklauso nuo sezoniškumo: pavasario bei vasaros laikotarpiais organinės anglies koncentracija sumažėja, priešingai nei šaltuoju laikotarpiu (3.14 pav.). Mažiausia koncentracija užfiksuota kovo, birželio mėnesio pabaigoje (6,53 mg/l), didžiausia – liepą (16,72 mg/l), kuri yra didesnė 2,2 karto už mažiausią koncentraciją bei 1,6 karto didesnė už vidutinę metinę koncentraciją (12,83 mg/l).



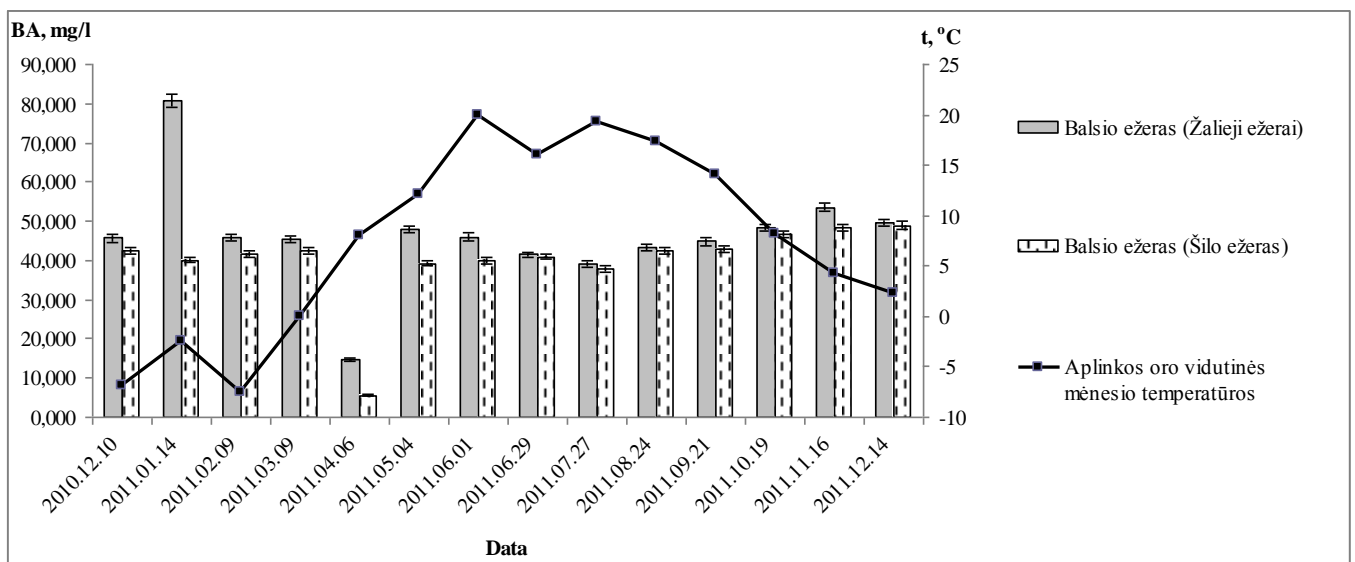
3.15 pav. Neorganinės anglies (NA) koncentracijos Neris upėje ir vidutinės mėnesio oro temperatūros tiriamuoju laikotarpiu

Neorganinės anglies koncentracija tiriamuoju laikotarpiu Vilnios upėje mažai priklauso nuo

sezoniškumo (3.15 pav.). Didžiausia koncentracija užsikuota balandžio mėnesį (52,81 mg/l), kuri viršija mažiausią rugpjūčio mėnesio koncentraciją (39,51 mg/l) 1,3 karto, o vidutinę metinę koncentraciją (43,20 mg/l) – 1,2 karto.

Balsio bei Balžio ežerai

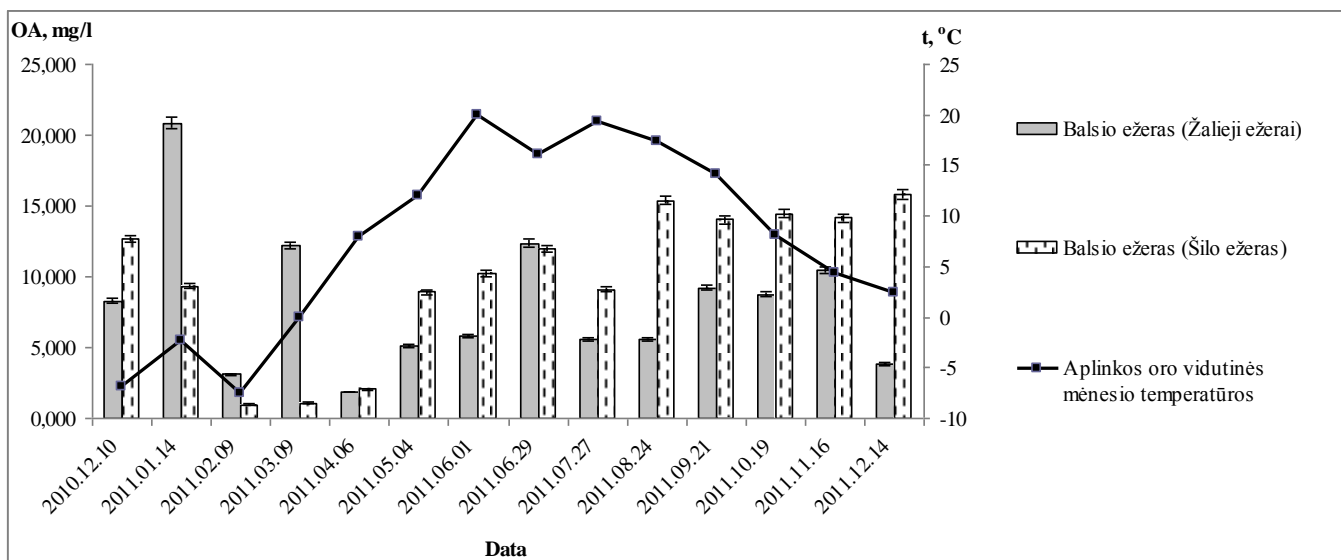
3.16 paveiksle pateiktos bendrosios anglies, 3.17 paveiksle – organinės anglies, 3.18 paveiksle – neorganinės anglies koncentracijų kitimo tendencijos bei vidutinės mėnesinės aplinkos oro temperatūros Vilnios upėje tiriamuoju laikotarpiu. Tiriamiesiems anglies junginiams nėra keliami ekologinės būklės vertinimo kriterijai ežeruose, todėl šių junginių kitimo tendencijos lygintos su vidutinėmis metinėmis jų reikšmėmis.



3.16 pav. Bendrosios anglies (BA) koncentracijos Balsio bei Balžio ežeruose ir vidutinės mėnesio oro temperatūros tiriamuoju laikotarpiu

Bendrosios anglies koncentracija ežeruose priklauso nuo metų laiko bei aplinkos oro temperatūros, kuri turi įtakos paviršinio vandens temperatūrai. Šiltuoju metų laikotarpiu bendrosios anglies kiekis mažiausias Balsio bei Balžio ežeruose balandžio mėnesį, atitinkamai 14,69 mg/l bei 5,63 mg/l (3.16 pav.), o šaltuoju – didžiausios koncentracijos Balsio ežere yra sausio mėnesį (80,65 mg/l), o Balžio – lapkritį (48,96 mg/l). Apskaičiavus vidutines bendrosios anglies koncentracijas Balsio bei Balžio ežeruose, gauti atitinkamai tokie rezultatai – 46,15 mg/l bei 39,99 mg/l. Pagal šį rodiklį galima teigti, jog Balžio ežero vanduo yra geresnės kokybės.

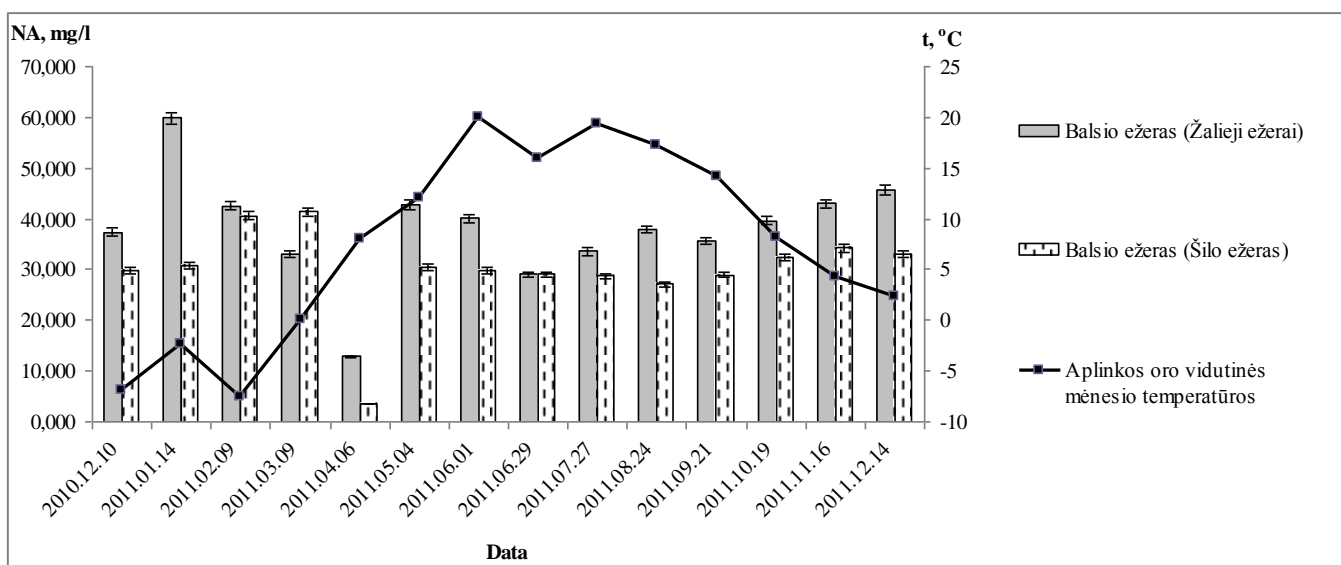
Organinės anglies koncentracija tiriamuoju laikotarpiu Balsio bei Balžio ežeruose priklauso nuo sezoniškumo. Vėlyvą žiemą (vasarį) bei pavasario sezoną organinės anglies kiekiai mažiausi visą tiriamąjį laikotarpį, o vasaros, rudens bei žiemos sezonu padidėja ežeruose (3.17 pav.).



3.17 pav. Organinės anglies (OA) koncentracijos Balsio bei Balžio ežeruose ir vidutinės mėnesio oro temperatūros tiriamuoju laikotarpiu

Balsio ežere mažiausia koncentracija nustatyta balandžio mėnesį (1,88 mg/l), didžiausia – sausio mėnesį (20,84 mg/l), nuo vidutinės metinės koncentracijos (8,089 mg/l) pastaroji skiriasi 2,6 karto. Balžio ežere mažiausia koncentracija nustatyta vasario mėnesį (0,98 mg/l), didžiausia – 2011 m. gruodžio mėnesį (15,84 mg/l), palyginus su vidutine metine koncentracija (10,016 mg/l), pastaroji didesnė 1,6 karto. Palyginus organinės anglies kiekius tiriamuosiuose ežeruose, matyti, kad Balžio ežere vidutinė metinė koncentracija 1,2 karto didesnė nei Balsio ežere.

Neorganinės anglies koncentracija tiriamuoju laikotarpiu Balsio bei Balžio ežeruose mažai kinta. Balsio ežere neorganinės anglies kiekiai visą tiriamąjį laikotarpį didesni nei Balžio ežere (3.18 pav.).



3.18 pav. Neorganinės anglies (NA) koncentracijos Balsio bei Balžio ežeruose ir vidutinės mėnesio oro temperatūros tiriamuoju laikotarpiu

Balsio ežere mažiausia neorganinės anglies koncentracija nustatyta kaip ir bendrosios bei organinės anglies – balandžio mėnesį (12,81 mg/l), didžiausia – sausio mėnesį (59,81 mg/l), nuo vidutinės metinės koncentracijos (38,06 mg/l), pastaroji skiriasi 1,6 karto. Balžio ežere mažiausia koncentracija nustatyta taip pat balandžio mėnesį (3,56 mg/l), didžiausia – kovo mėnesį (41,33 mg/l), nuo vidutinės metinės (29,97 mg/l) koncentracijos pastaroji skiriasi 1,3 karto.

Palyginus organinės anglies kiekius tiriamuosiuose ežeruose, matyti, kad Balsio ežere 1,3 karto organinės anglies koncentracija didesnė nei Balžio ežere.

Anglis bei jos junginiai paviršiniuose vandens telkiniuose yra labai svarbūs komponentai, nes anglies ciklas apima atmosferą, hidrosferą ir litosferą, be to, judėjimas vyksta ilgą laikotarpį, pavydžiui, sausumos uolienos per milijonus metų patenka į paviršinius vandenis, tuomet į vandenynus ir galiausiai nusėda ant dugno ir kaupiasi, tačiau pakilus paviršinio vandens temperatūrai, anglis ir jos junginiai gali sugrįžti į atmosferą, kurioje padidėjęs anglies junginių kiekis (CO₂) spartina klimato kaitą (Nepstad *et al* 1994).

3.3. Užterštumo charakteristikų analizė paviršiniuose vandens telkiniuose

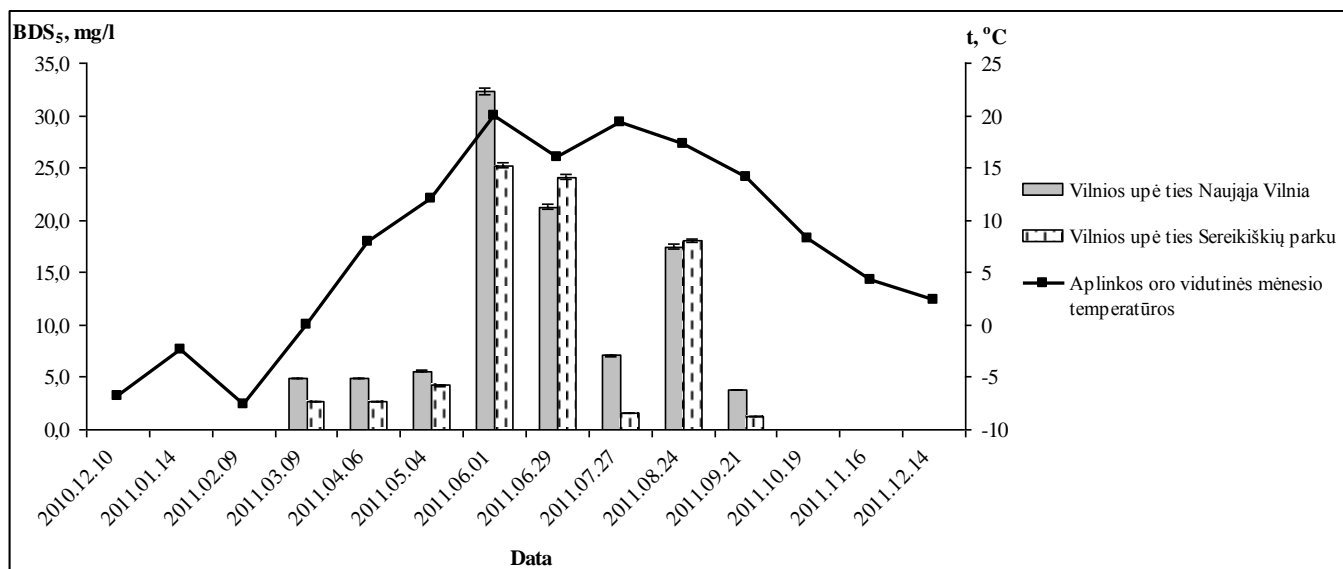
Užterštumo lygį paviršiniame vandenyje apibūdina biocheminis deguonies suvartojimas (BDS₅) ir skendinčios medžiagos (SM). Be to, biogeninių medžiagų koncentraciją paviršiniame vandenyje apibūdina ir ištirpęs deguonies kiekis.

Paviršiniuose vandens telkiniuose tiriami biocheminio deguonies suvartojimo, ištirpusio deguonies kiekio bei skendinčių medžiagų kiekiai, tiriamuoju laikotarpiu – nuo 2010 metų gruodžio iki 2011 metų gruodžio – gauti biocheminio deguonies suvartojimo (3.22 pav., 3.25 pav., 3.28 pav.), ištirpusio deguonies kiekio (3.23 pav., 3.26 pav., 3.29 pav.) ir skendinčių medžiagų (3.24 pav.; 3.27 pav., 3.30 pav.) kiekiai, kurie pateikti paveiksluose. Šie tiriami parametrai tiesiogiai susiję su eutrofikacijos procesis.

Vilnios upė

Užterštumo charakteristikas Vilnios upėje pateiktos paveiksluose: 3.19 paveiksle – biocheminio deguonies (BDS₅) suvartojimo kitimo tendencijos Vilnios upėje tiriamuoju laikotarpiu, 3.20 – ištirpusios deguonies (O₂) kiekis ir 3.21 – skendinčių medžiagų (SM) kiekis.

Biocheminis deguonies suvartojimas yra užterštumo organinėmis medžiagomis rodiklis. Tai deguonies kiekis, kurio reikia, kad lengvai skylantis organiniai teršalai biochemiškai oksiduotųsi per 5 paras (Baltrėnas ir kt. 2008).



3.19 pav. Biocheminio deguonies (BDS₅) suvartojimo kitimo tendencijas Vilnios upėje ir vidutinės mėnesio oro temperatūros tiriamuoju laikotarpiu

Užterštumas organinėmis medžiagomis Vilnios upėje mažiausias šaltuoju metų laikotarpiu, t.y tuo metu BDS₅ = 0,00 mg/l (3.19 pav.), biocheminio deguonies suvartojimo rodiklis padidėja ankstyvą pavasarį bei vasaros laikotarpiu, kai prasideda vegetacijos periodas, didžiausia koncentracija užfiksuota birželio mėnesį 32,3 mg/l Vilnios upėje ties Naujaja Vilnia bei 25,2 mg/l – Sereikiškių parke, kai aplinkos oro temperatūra buvo aukščiausia visą tiriamąjį laikotarpį 20 °C. Būtent tuo metu, azoto junginių koncentracija Vilnios upėje sumažėja, taigi eutrofikacijos procesas paspartėja.

Biocheminiam deguonies suvartojimui taikomas ekologinės būklės vertinimo kriterijus, kai upė atitinka labai gerą ekologinę būklę, tai BDS₇ <2,3 mg/l. Atliktų tyrimų nustatytos BDS₅, tai vidutinis metinis biocheminio deguonies suvartojimo rodiklis (8,05 mg/l) perskaičiuotas pagal 3.1 formulę (Šaulys 2007):

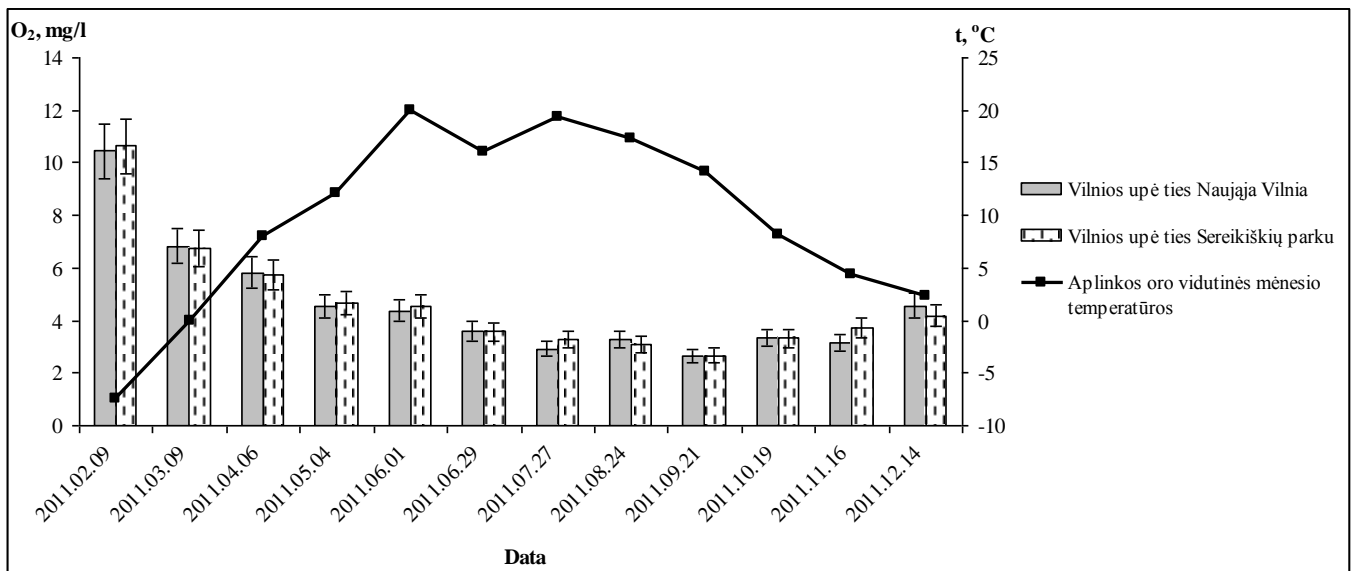
$$BDS_7 = 1,5 \cdot BDS_5 \quad (3.1)$$

čia:

BDS₇ – biocheminio deguonies suvartojimas per 7 paras, mg/l;

BDS₅ – biocheminio deguonies suvartojimas per 5 paras, mg/l.

Penkių parų biocheminį deguonies suvartojimą perskaičiavus į septynių, gauti rezultatai 12,08 mg/l, kuris viršija labai geros būklės vertinimo kriterijų (2,3 mg/l) 5 kartus, todėl Vilnios upė pagal organinių medžiagų kokybės elementą priskiriama labai prastos klasės ekologinei būklei.



3.20 pav. Ištirpusio deguonies (O_2) koncentracija Vilnios upėje ir vidutinės mėnesio oro temperatūros tiriamuoju laikotarpiu

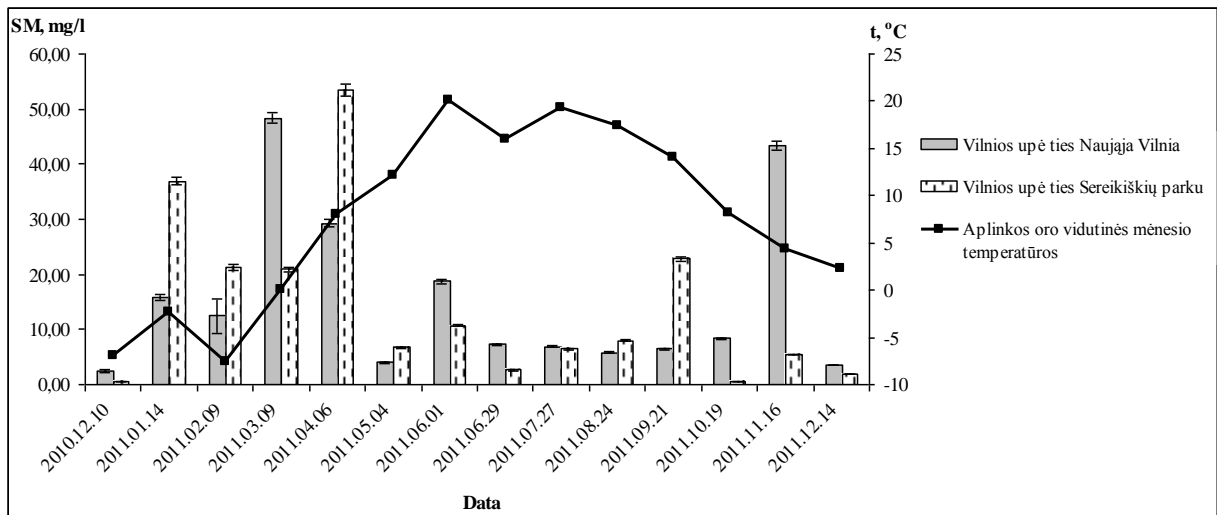
3.20 paveiksle pavaizduotas ištirpusio deguonies kiekio kitimas Vilnios upėje tiriamuoju metu laikotarpiu, palyginus šį rodiklį su biocheminio deguonies suvartojimo (3.19 pav.) rodikliu, matome, jog pastarasis yra atvirkščiai proporcingas ištirpusio deguonies kiekiui, kurio koncentracija sumažėja vasarą, o didžiausia koncentracija žiemą – 10,56 mg O_2 /l. Taigi šiltuoju laikotarpiu oksidacijos reakcijos yra intensyvesnės, vyksta nitrifikacija, kai nitritai virsta nitratais, o kai aplinkoje nėra ištirpusio deguonies – nitritai suardomi, vyksta denitrifikacija (Baltrėnas ir kt. 2008).

Mažiausia ištirpusio deguonies koncentracija Vilnios upėje užfiksuota 2,66 mg/l rugsėjo mėnesį, vidutinė metinė ištirpusio deguonies koncentracija tiriamuoju laikotarpiu buvo 4,65 mg/l, kadangi Vilnios upė priskiriama lašišiniams vandens telkiniams, todėl minimali O_2 koncentracija turi būti 6 mg/l O_2 , tai rodo, jog deguonį suvartoja vandens gyvūnija bei augalija.

3.21 paveiksle pavaizduota skendinčių medžiagų koncentracija Vilnios upėje tiriamuoju laikotarpiu bei aplinkos oro temperatūros kitimo tendencija.

Skendinčios medžiagos – mineralinių ir (arba) organinių medžiagų pakibusios dalelės, esančios nuotekose arba vandenyje (upių, ežerų ir pan.). Dalis jų, sumažėjus vandens tėkmės greičiui nusėda ir tampa nuosėdomis (dumblas) (Baltrėnas ir kt. 2008).

Skendinčių medžiagų kitimas, kaip matyti iš 3.21 paveikslo, priklauso nuo sezoniškumo, pavasario metu, esant didesniai nuotėkiui, jų koncentracija padidėja, didžiausia užfiksuota balandžio mėnesį 41,14 mg/l, mažiausia – 2010 m. gruodį 1,42 mg/l.

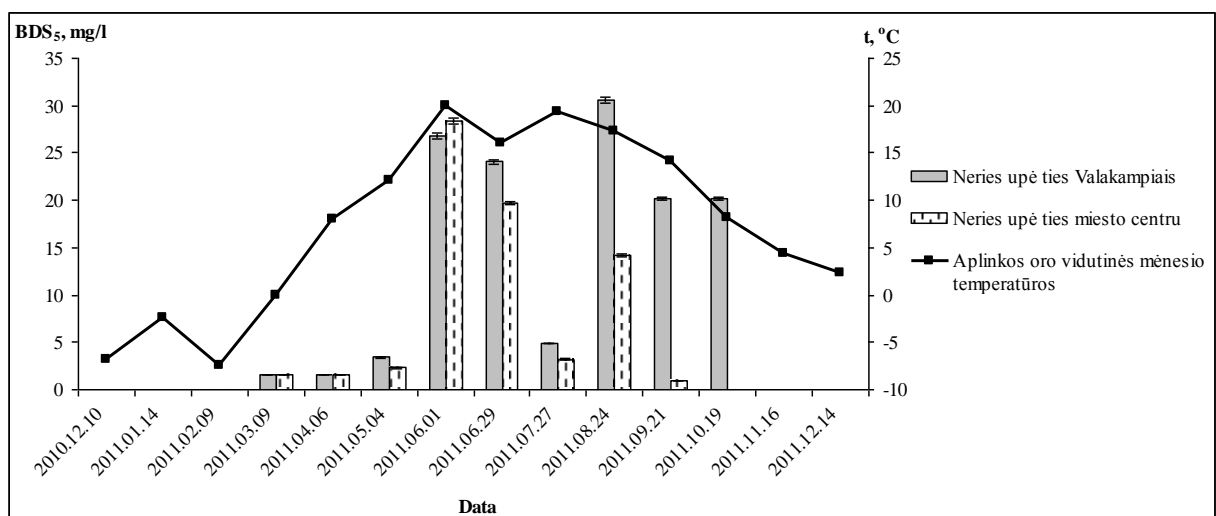


3.21 pav. Skendinčių medžiagų (SM) Vilnios upėje ir vidutinės mėnesio oro temperatūros tiriamuoju laikotarpiu

Vidutinė metinė skendinčių medžiagų koncentracija tiriamuoju laikotarpiu Vilnios upėje buvo 14,68 mg/l, kadangi Vilnios upė priskiriama lašišiniams vandens telkiniams, todėl minimali SM koncentracija turi būti 25 mg/l, tai rodo, jog Vilnios upė atitinka paviršinių vandens telkinių kokybės normą pagal skendinčių medžiagų rodiklį.

Neries upė

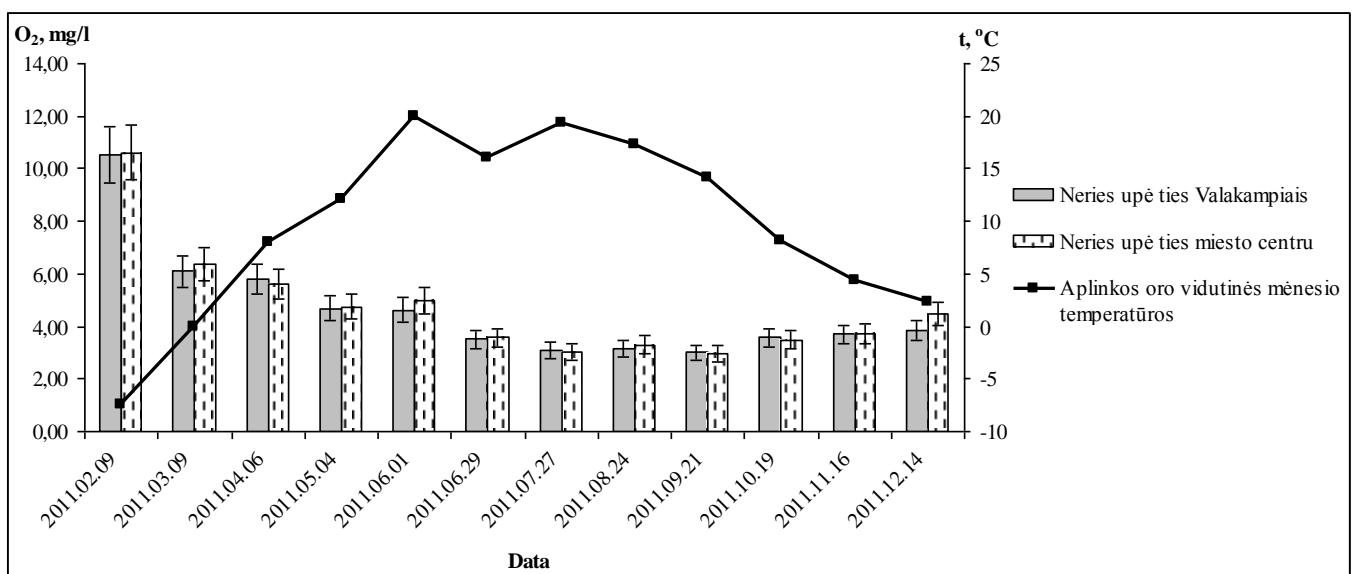
Užterštumas organinėmis medžiagomis Neries upėje mažiausias (0,00 mg/l) šaltuoju metų laikotarpiu (3.22 pav.), BDS rodiklis padidėja ankstyvą pavasarį bei vasaros laikotarpiu, didžiausia koncentracija užfiksuota rugpjūčio mėnesį 30,6 mg/l Neries upėje tiriamuoju laikotarpiu, kai aplinkos oro temperatūra buvo aukščiau +15 °C. Būtent tuo metu, azoto junginių koncentracija Neries upėje sumažėja, taigi eutrofikacijos procesas paspartėja.



3.22 pav. Biocheminio deguonies (BDS₅) suvartojimo kitimo tendencijas Neries upėje ir vidutinės mėnesio oro temperatūros tiriamuoju laikotarpiu

Penkių parų biocheminį deguonies suvartojimą perskaičiavus į septynių, gauti rezultatai 14,01 mg/l, kuris viršija labai geros būklės vertinimo kriterijų (2,3 mg/l) 6 kartus, todėl Neries upė pagal organinių medžiagų kokybės rodiklį priskiriama labai prastos klasės ekologinei būklei.

3.23 paveiksle pavaizduotas ištirpusio deguonies kiekio kitimas Neries upėje tiriamuoju metu laikotarpiu, palyginus šį rodiklį su biocheminio deguonies suvartojimo (3.22 pav.) rodikliu, matome, jog pastarasis yra atvirkščiai proporcingas ištirpusio deguonies kiekiui, kuris sumažėja vasarą, o didžiausia koncentracija žiemą vasario mėnesį – 10,62 mg O₂/l. Taigi šiltuoju laikotarpiu oksidacijos reakcijos yra intensyvesnės, vyksta nitrifikacija, kai nitritai virsta nitratais, o kai aplinkoje nėra ištirpusio deguonies – nitritai suardomi, vyksta denitrifikacija (Baltrėnas ir kt. 2008).

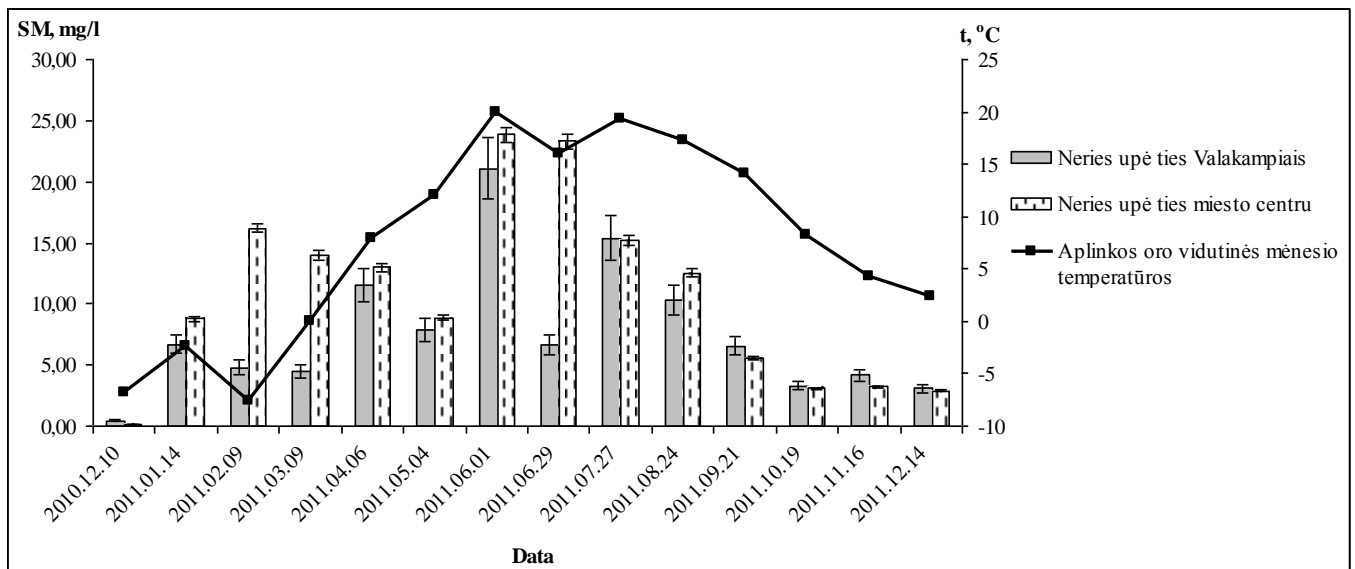


3.23 pav. Ištirpusio deguonies (O₂) kiekis Neries upėje ir vidutinės mėnesio oro temperatūros tiriamuoju laikotarpiu

Mažiausia ištirpusio deguonies koncentracija Neries upėje užfiksuota 2,98 mg/l rugsėjo mėnesį, vidutinė metinė ištirpusio deguonies koncentracija tiriamuoju laikotarpiu buvo 4,68 mg/l, kadangi Neries upė priskiriama lašišiniams vandens telkiniams, todėl minimali ištirpusio deguonies koncentracija turi būti 6 mg/l ištirpusio deguonies, tai rodo, jog deguonį vandenyje suvartoja vandens gyvūnija bei augalija.

3.24 paveiksle pavaizduota skendinčių medžiagų koncentracija Neries upėje tiriamuoju laikotarpiu bei aplinkos oro temperatūros kitimo tendencija.

Skendinčių medžiagų kitimas, priklauso nuo sezoniškumo, pavasario bei rudens laikotarpiu, jų koncentracija sumažėja (3.24 pav.), o šiltuoju vasaros laikotarpiu padidėja, didžiausia užfiksuota birželio mėnesio pradžioje 22,20 mg/l, mažiausia – 2010 m. gruodį 0,33 mg/l. Padidėjusi skendinčių medžiagų koncentracija lemia spartesnę paviršinio vandens telkinio uždumblėjimą.



3.24 pav. Skendinčių medžiagų (SM) Neries upėje ir vidutinės mėnesio oro temperatūros tiriamuoju laikotarpiu

Vidutinė metinė skendinčių medžiagų koncentracija tiriamuoju laikotarpiu Neries upėje buvo 9,09 mg/l, kadangi Neries upė priskiriama lašišiniams vandens telkiniams, todėl minimali SM koncentracija turi būti 25 mg/l, tai rodo, jog Neris atitinka paviršinių vandens telkinių kokybės normą pagal skendinčių medžiagų rodiklį.

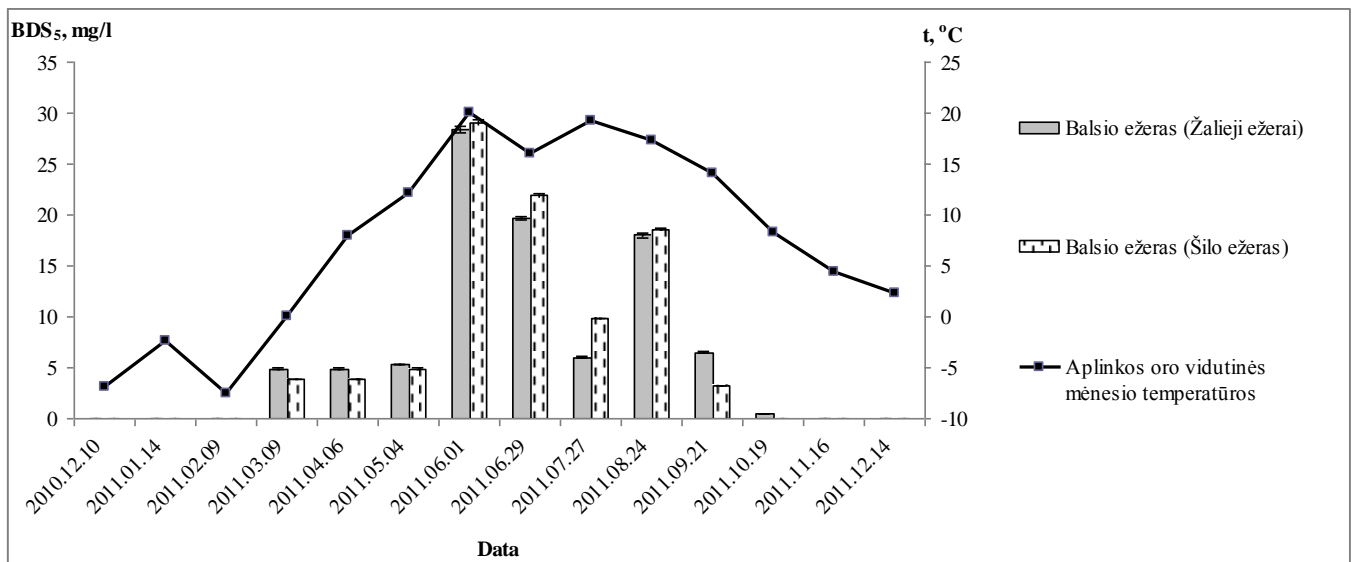
Padidėjusi skendinčių medžiagų koncentracija gali lemti greitesnį vandens telkinio uždumblėjimą. Anot K. Kilkaus (2005) padidėjęs suspenduotų medžiagų kiekis yra viena iš antropogeninės eutrofikacijos priežasčių.

Balsio bei Balžio ežerai

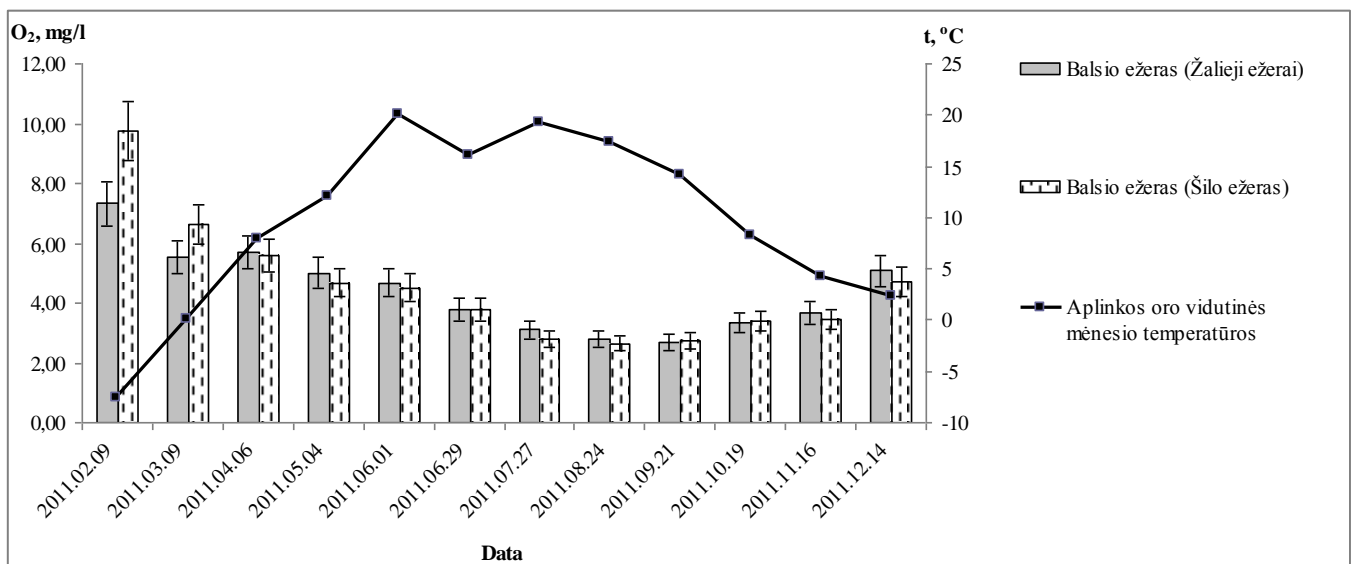
Užterštumas organinėmis medžiagomis ežeruose mažiausias šaltuoju metų laikotarpiu, biocheminio deguonies suvartojimo rodiklis padidėja ankstyvą pavasarį bei vasaros laikotarpiu (3.25 pav.), didžiausia koncentracija užfiksuota birželio mėnesį 28,4 mg/l Balsio ežere bei 29,0 mg/l – Balžio ežere, kai aplinkos oro temperatūra buvo aukščiausia visą tiriamąjį laikotarpį +20 °C. Būtent tuo metu, azoto junginių koncentracija ežeruose sumažėja, taigi eutrofikacijos procesas paspartėja.

Biocheminio deguonies suvartojimą per 5 paras ir perskaičius į biocheminį deguonies suvartojimą per 7 paras Balsio ežere, gauti rezultatai yra 12,84 mg/l, o Balžio ežere – 12,96 mg/l, tačiau ežerai nėra vertinami pagal ekologinės būklės vertinimo kriterijus.

3.26 paveiksle pavaizduotas ištirpusio deguonies kiekio kitimas ežeruose tiriamųjų metų laikotarpiu, palyginus šį rodiklį su biocheminio deguonies suvartojimo (3.25 pav.) rodikliu juose, matome, jog pastarasis yra atvirkščiai proporcingas ištirpusio deguonies kiekiui, kuris sumažėja vasarą. Balsio bei Balžio ežeruose didžiausia koncentracija užfiksuota vasario mėnesį, atitinkamai 7,32 mg O₂/l bei 9,76 mg O₂/l.



3.25 pav. Biocheminio deguonies (BDS₅) suvartojimo kitimo tendencijas Balsio bei Balžio ežeruose ir vidutinės mėnesio oro temperatūros tiriamuoju laikotarpiu



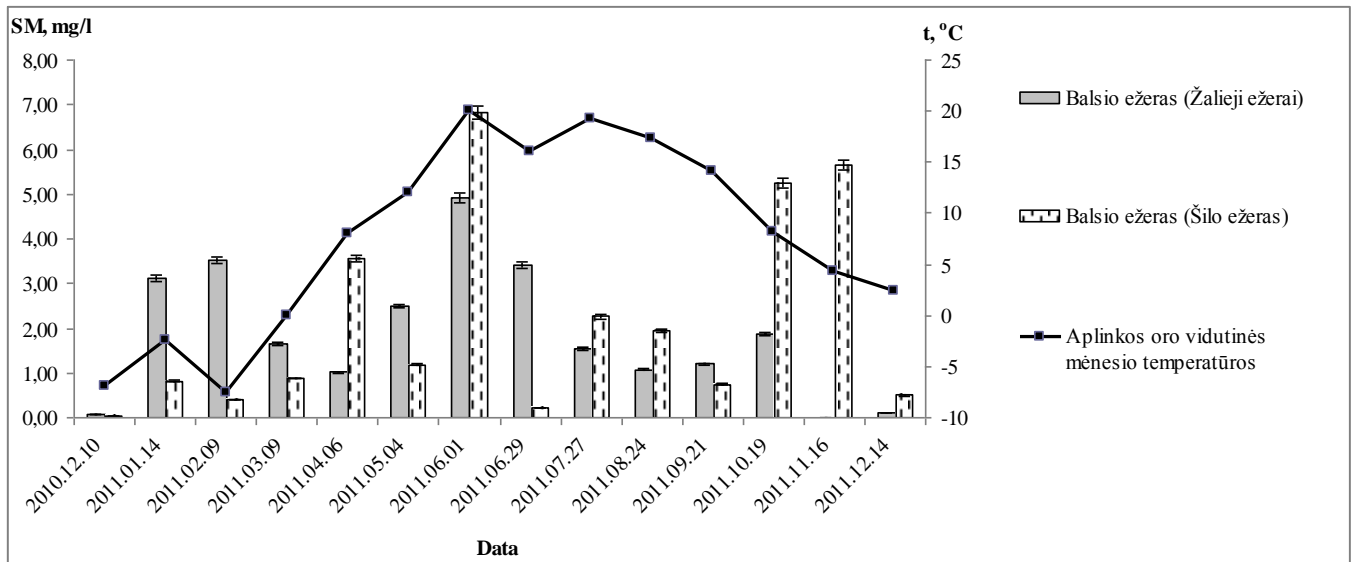
3.26 pav. Ištirpusio deguonies (O₂) kiekis Balsio bei Balžio ežeruose ir vidutinės mėnesio oro temperatūros tiriamuoju laikotarpiu

Mažiausia ištirpusio deguonies koncentracija Balsio ežere užfiksuota 2,68 mg/l rugsėjo mėnesį, Balžio ežere – 2,65 mg/l rugpjūčio mėnesį, vidutinė metinė ištirpusio deguonies koncentracija tiriamuoju laikotarpiu atitinkamai buvo 4,39 mg/l bei 4,56 mg/l.

3.27 paveiksle pavaizduota skendinčių medžiagų koncentracija tiriamuosiuose ežeruose bei aplinkos oro temperatūros kitimo tendencija tiriamuoju laikotarpiu.

Skendinčių medžiagų kitimas, kaip matyti iš 3.27 paveikslo, priklauso nuo sezoniškumo, pavasario metu, esant didesniai nuotėkiui, jų koncentracija ežeruose padidėja. Didžiausias kiekis

abiejuose ežeruose nustatytas balandžio mėnesį, atitinkamai 4,92 mg/l bei 6,82 mg/l, mažiausia – Balsio ežere lapkričio mėnesį (0,001 mg/l), o Balžio – 2010 m. gruodžio mėnesį (0,04 mg/l). Padidėjusi skendinčių medžiagų koncentracija gali spartinti vandens telkinio uždumblėjimo procesą.



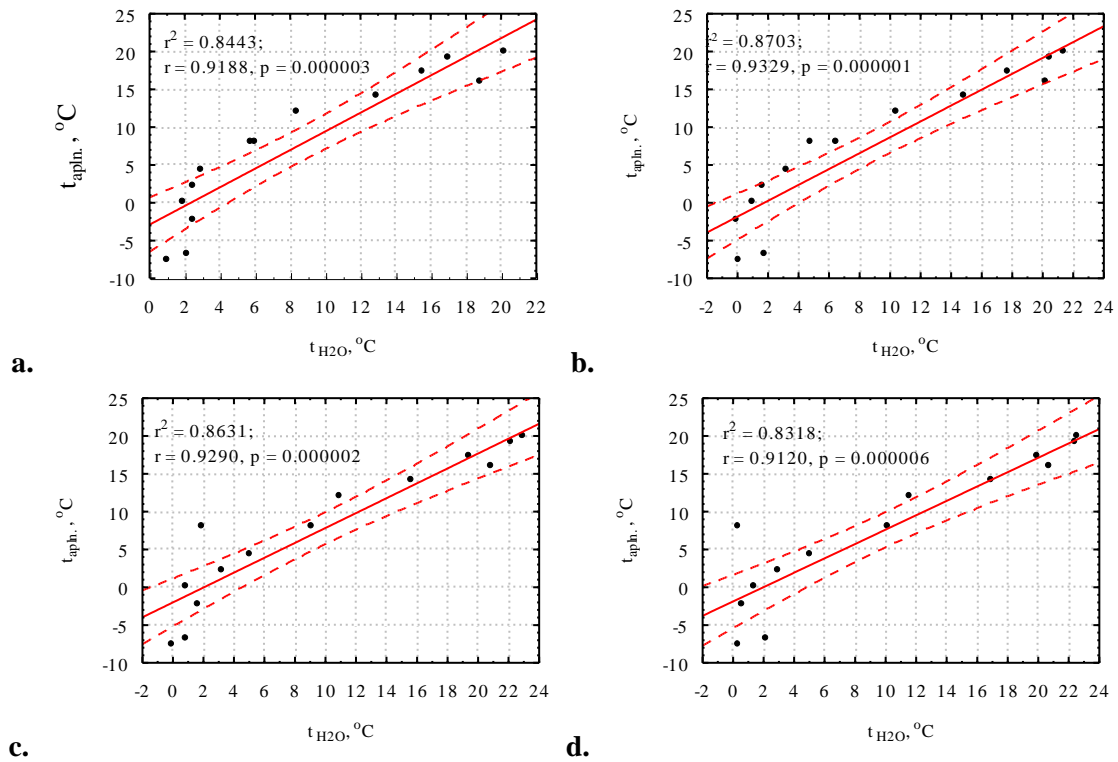
3.27 pav. Skendinčių medžiagų (SM) Balsio bei Balžio ežeruose ir vidutinės mėnesio oro temperatūros tiriamuoju laikotarpiu

Vidutinė metinė skendinčių medžiagų koncentracija tiriamuoju laikotarpiu Balsio ežere buvo 1,86 mg/l, o Balsio ežere – 2,16 mg/l.

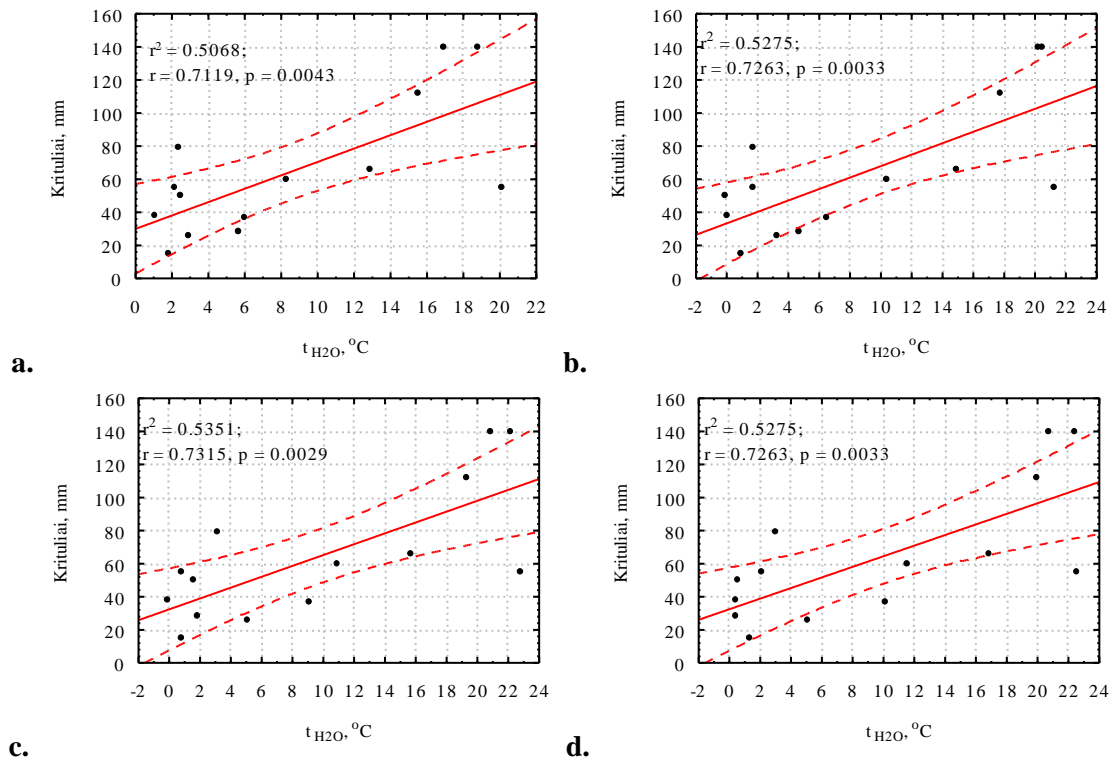
3.4. Koreliacinė duomenų analizė paviršiniuose vandens telkiniuose

Upės cheminė sudėtis yra viso baseino gamtinių sąlygų ir žmogaus ūkinės veiklos atspindys (Širvinskaitė ir Bagdžiūnaitė-Litvinaitienė 2011). Norint įvertinti vandens telkinių kokybę pagal tiriamuosius parametrus, atlikta statistinė analizė su programa *STATISTICA 6*, apskaičiuoti koreliacijos ir patikimumo koeficientai tarp tiriamų vandens kokybės rodiklių.

Paskaičiuoti koreliacijos koeficientai yra statistiškai reikšmingi, kai $p < 0,05$. Visuose tirtuose vandens telkiniuose, atlikus koreliacinę analizę, nustatyta, jog aplinkos temperatūra lemia paviršinio vandens temperatūrą telkiniuose (3.28 pav.), kylant aplinkos oro temperatūrai, kyla ir paviršinio vandens temperatūra, t.y. vanduo šiltėja, tai lemia ir organinės dalies padidėjimą vandenyje, nes susidaro palankios sąlygos jų vystymuisi. Paviršinių vandens telkinių temperatūrai įtakos taip pat turi iškrintantis kritulių kiekis (3.29 pav.).



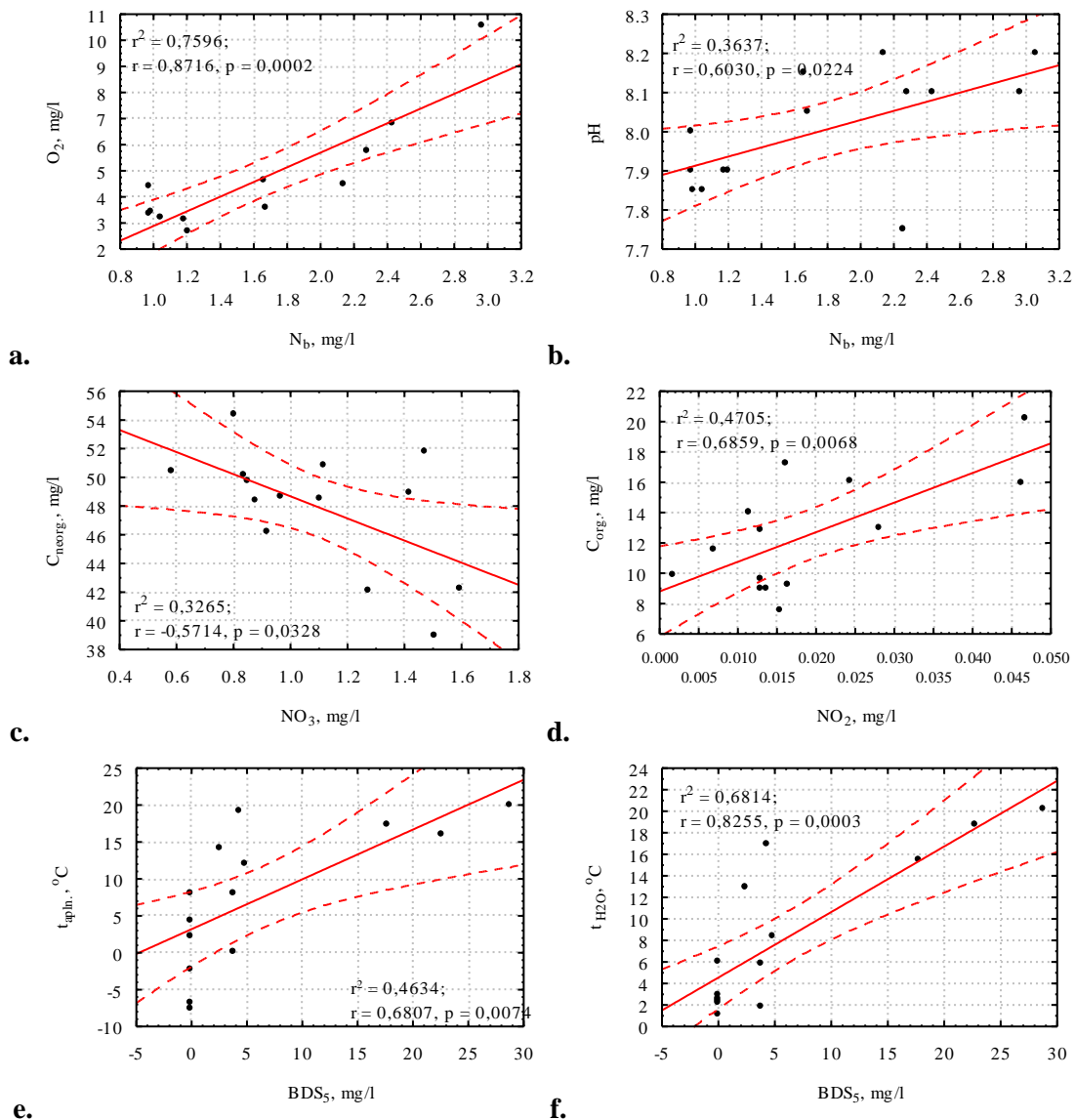
3.28 pav. Paviršinio vandens temperatūros priklausomybė nuo aplinkos temperatūros: a) Vilnios upėje; b) Neries upėje; c) Balsio ežere; d) Balžio ežere



3.29 pav. Paviršinio vandens temperatūros priklausomybė nuo kritulių kiekio: a) Vilnios upėje; b) Neries upėje; c) Balsio ežere; d) Balžio ežere

Tirtuose vandens telkiniuose statistiškai reikšmingi teigiami koreliaciniai ryšiai yra tarp paviršinio vandens temperatūros (t_{H_2O}) (3.28 pav.) ir aplinkos temperatūros ($t_{apln.}$) bei kritulių kiekio (3.29 pav.).

Atliekant koreliacinę analizę, vertinti vandens parametru, kurie turi įtakos paviršinių vandenų eutrofikacijos procesams: bendrasis azotas, nitratų azotas, nitritų azotas, priklausomybę nuo klimato rodiklių, vandens užterštumo charakteristikų bei anglies ir jos junginių. 3.30 paveiksle pateiktos koreliacines priklausomybes Vilnios upėje.

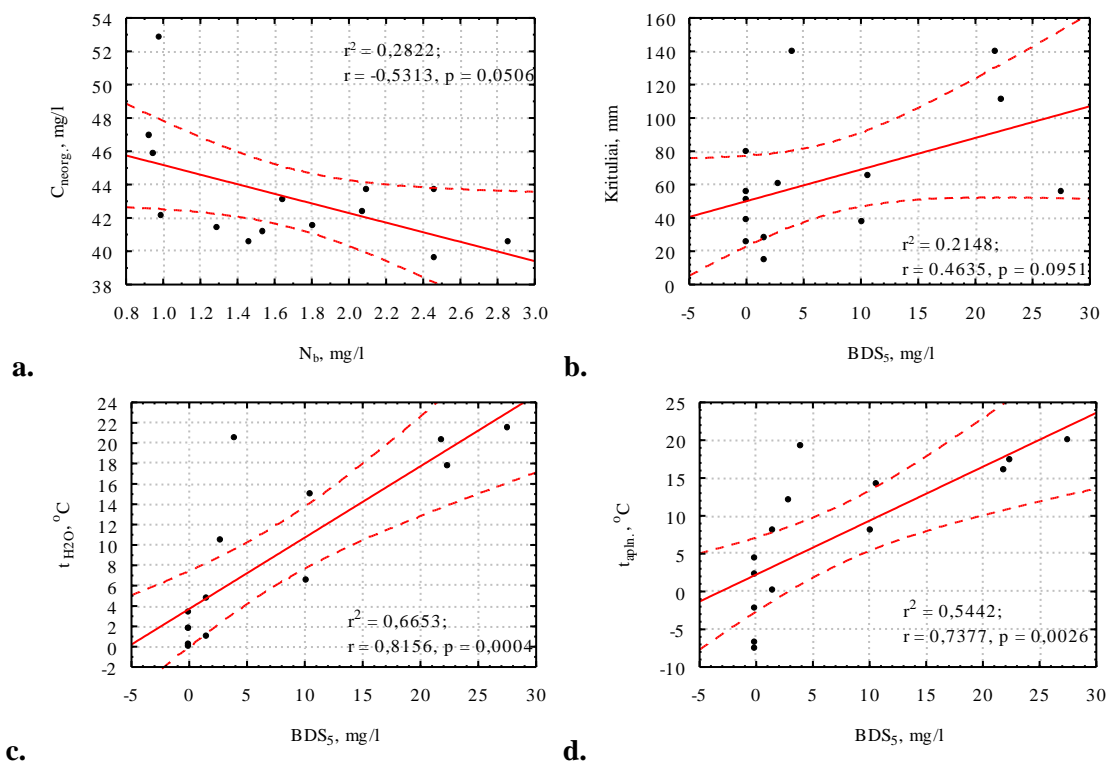


3.30 pav. Statistiškai reikšmingi ($p < 0,05$) koreliaciniai ryšiai Vilnios upėje tarp: a) bendrojo azoto (N_b) ir ištirpusios deguonies koncentracijos (O_2); b) bendrojo azoto (N_b) koncentracijos ir pH; c) nitratų azoto (NO_3-N) koncentracijos ir neorganinės anglies ($C_{neorg.}$) koncentracijos; d) nitritų azoto (NO_2-N) ir organinės anglies ($C_{org.}$) koncentracijų; e) biocheminio deguonies suvartojimo (BDS_5) ir aplinkos temperatūros ($t_{apln.}$); f) biocheminio deguonies suvartojimo (BDS_5) ir vandens temperatūros (t_{H_2O})

Statistinės analizės rezultatai parodė, jog Vilnios upės vandenyje statistiškai reikšmingi ir teigiami koreliaciniai ryšiai yra tarp bendrojo azoto (N_b) ir ištirpusios deguonies koncentracijos (O_2) ($r = 0,87$), bendrojo azoto (N_b) koncentracijos ir pH ($r = 0,60$), nitritų azoto (NO_2-N) ir organinės anglies ($C_{org.}$)

koncentracijų ($r = 0,69$), biocheminio deguonies suvartojimo (BDS_5) ir aplinkos temperatūros ($t_{apln.}$) ($r = 0,68$) bei biocheminio deguonies suvartojimo (BDS_5) ir vandens temperatūros (t_{H_2O}) ($r = 0,83$), o statistiškai reikšmingas ir neigiamas koreliacinis ryšys yra tarp nitratų azoto (NO_3-N) koncentracijos ir neorganinės anglies ($C_{neorg.}$) koncentracijos ($r = -0,57$). Pagal gautus rezultatus matyti, jog eutrofikacijos procesui Vilnios upėje įtakos turi paviršinio vandens pH, ištirpusio deguonies koncentracija bei organinės anglies koncentracija, kai šių medžiagų kiekis paviršiniame vandenyje padidėja, tuomet eutrofikacija spartėja. Tuo tarpu, kai neorganinės anglies kiekis paviršiniame vandenyje didėja, tai nitratų azoto koncentracija, kuri lemia eutrofikacijos procesą, mažėja.

3.31 paveiksle pateikiu koreliacines priklausomybes Neries upėje.



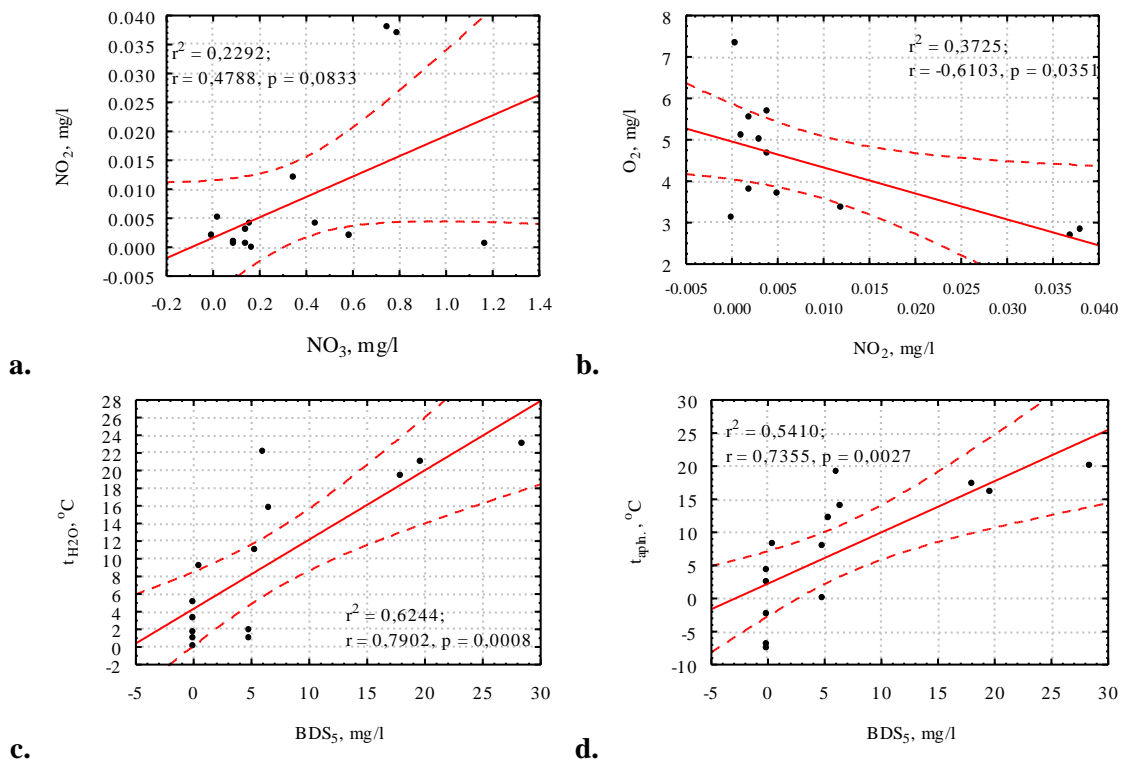
3.31 pav. Statistiškai reikšmingi ($p < 0,05$) koreliaciniai ryšiai Neries upėje tarp: a) bendrojo azoto (N_b) bei neorganinės anglies ($C_{neorg.}$) koncentracijų; b) biocheminio deguonies suvartojimo (BDS_5) ir kritulių kiekio; c) biocheminio deguonies suvartojimo (BDS_5) ir vandens temperatūros (t_{H_2O}); d) biocheminio deguonies suvartojimo (BDS_5) ir aplinkos temperatūros ($t_{apln.}$)

Atlikus statistinę analizę Neries upėje (3.31 pav.), paaiškėjo, jog bendrojo azoto (N_b) koncentracija priklauso nuo neorganinės anglies koncentracijos ($C_{neorg.}$), jei pastaroji didėja, tai nitratų azoto koncentracija, kuri lemia eutrofikacijos procesą, mažėja, tai rodo, neigiamą koreliacinį ryšį tarp šių parametru.

Tiek Vilnios upės (3.30 pav.), tiek Neries upės (3.31 pav.) paviršiniame vandenyje biocheminio deguonies suvartojimas priklauso nuo aplinkos bei paviršinio vandens temperatūrų, o Neries upėje

krituliai taip pat lemia biocheminį deguonies suvartojimą.

3.32 paveiksle pateikiu koreliacines priklausomybes Balsio ežere.



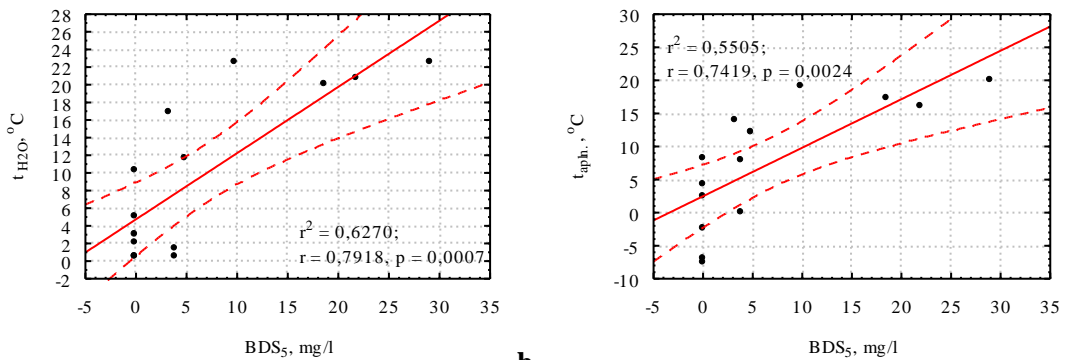
3.32 pav. Statistiškai reikšmingi ($p < 0,05$) koreliaciniai ryšiai Balsio ežere tarp: a) nitratų azoto ($\text{NO}_3\text{-N}$) ir nitritų azoto ($\text{NO}_2\text{-N}$) koncentracijų; b) nitritų azoto ($\text{NO}_2\text{-N}$) ir ištirpusio deguonies (O_2) koncentracijų; c) biocheminio deguonies suvartojimo (BDS_5) ir vandens temperatūros ($t_{\text{H}_2\text{O}}$); d) biocheminio deguonies suvartojimo (BDS_5) ir aplinkos temperatūros ($t_{\text{apl.}}$)

Pagal gautus rezultatus (3.32 pav.) matyti, jog nitratų azoto ($\text{NO}_3\text{-N}$) koncentracija Balsio ežere priklauso nuo nitritų azoto ($\text{NO}_2\text{-N}$) koncentracijos paviršiniame vandenyje, šie rodikliai yra vieni iš pagrindinių, kurie lemia eutrofikacijos procesą. Atlikus statistinę koreliacinę analizę paaiškėjo, jog yra teigiamas koreliacinis ryšis tarp šių parametru, tai rodo, jog didėjant nitritų azoto koncentracijai paviršiniame vandenyje, didėja ir nitratų azoto koncentracija, vyksta nitrifikacijos procesas vandenyje. Tačiau padidėjusi jų koncentracija rodo, kad vandens užterštumas yra didelis, o savaiminis apsivalymo procesas sutrikęs (Bagdžiūnaitė-Litvinaitienė 2005). Nitritų azoto koncentracija paviršiniame vandenyje didėja, kai mažėja ištirpusio deguonies koncentracija (anoksinė terpė) (3.32 b). Tarp šių parametru yra neigiamas koreliacinis ryšys, koreliacinis koeficientas $r = -0,61$.

Balsio ežero paviršiniame vandenyje biocheminio deguonies suvartojimas priklauso nuo aplinkos bei paviršinio vandens temperatūrų.

Balžio ežero statistinės analizės rezultatai pateikti 3.33 paveiksle. Atlikus koreliacinę Balžio ežero duomenų analizę, nustatyta, kad statistiškai reikšmingi ($p < 0,05$) ir teigiami koreliaciniai ryšiai (3.33 pav.)

yra tarp biocheminio deguonies suvartojimo (BDS_5) ir vandens (t_{H_2O}) bei aplinkos ($t_{apl.}$) temperatūrų.



3.33 pav. Statistiškai reikšmingi ($p < 0,05$) koreliaciniai ryšiai Balžio ežere tarp: a) biocheminio deguonies suvartojimo (BDS_5) ir vandens temperatūros (t_{H_2O}); b) biocheminio deguonies suvartojimo (BDS_5) ir aplinkos temperatūros ($t_{apl.}$)

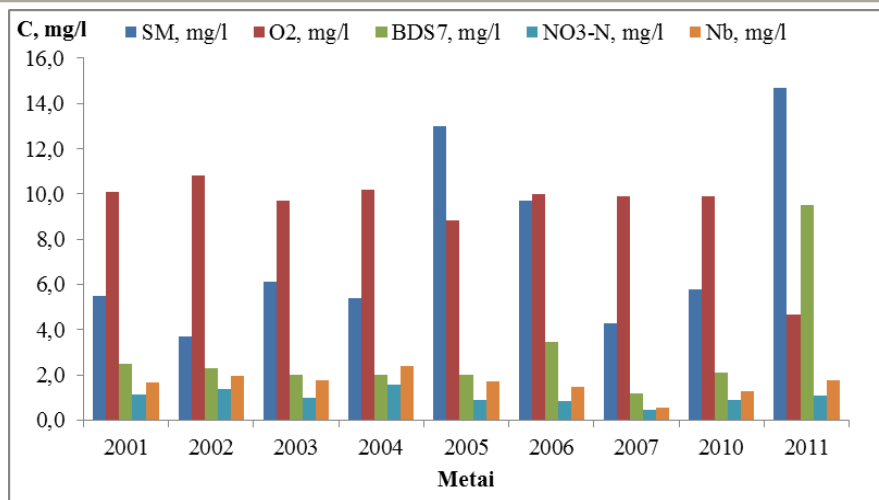
Palyginus visus tiriamuosius paviršinio vandens telkinius, atlikus koreliacine analizę, galima teigti, jog intensyviausiai eutrofikacijos procesas vyksta Vilnios upėje, o mažiausiai – Balžio ežere, nes pastarajame nėra statistiškai reikšmingų koreliacinių ryšių tarp rodiklių, kurie lemia eutrofikacijos procesą, bei kitų tiriamų parametru. Taip pat Vilnios upė savo tarša nežymiai didina Neris upės taršą.

3.5. Tiriamųjų paviršinių vandens telkinių kokybės pokyčiai, vertinant 2001 – 2010 metų ilgalaikius monitoringo duomenis

Atlikus tiriamųjų paviršinių vandens telkinių būklės vertinimą pagal fizikinius – cheminius kokybės parametrus, šie duomenys buvo lyginti su Aplinkos apsaugos agentūros 2001–2010 metų ilgalaikiais monitoringo duomenimis Vilnios ir Neris upių, kad būtų galima įvertinti ilgalaikę tiriamųjų vandens parametru kaitą.

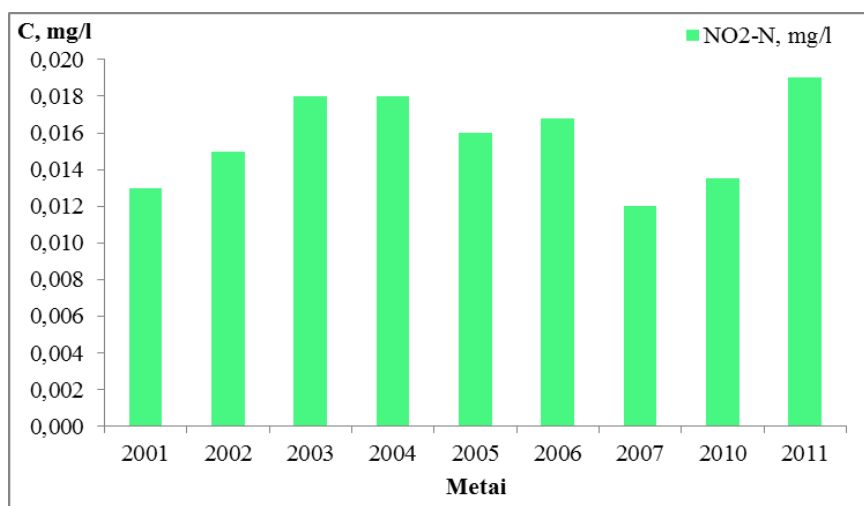
Analizuojant skirtingais metais gautus rezultatus Vilnios upėje, nustatyta, kad ir 2001–2010 metais, ir 2011 metais, lyginamųjų rodiklių koncentracijos buvo panašios. Tai parodo 3.34 bei 3.35 paveiksluose pateiktos fizikinių – cheminių kokybės elementu kitimo tendencijos Vilnios upėje.

Didžiausios bendrojo azoto, nitratu azoto (3.34 pav.) ir nitritu azoto (3.35 pav.) koncentracijos 2001–2010 metų laikotarpiu Vilnios upėje užfiksuotos 2004 metais. Tačiau 2005 – 2007 metais mažėjo, tai lėmė mažesni žemės ūkio mastai Lietuvoje.



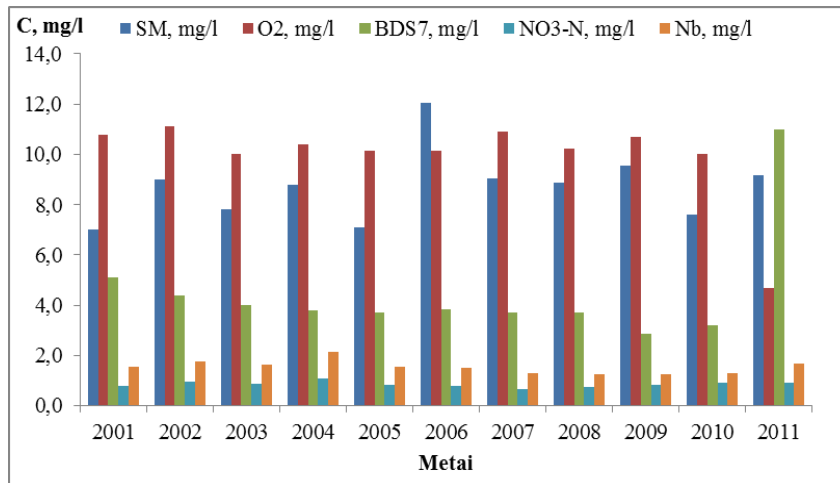
3.34 pav. Fizikinių – cheminių kokybės elementų kitimo tendencijos Vilnios upėje: skendinčių medžiagų (SM), ištirpusio deguonies (O₂), biocheminio deguonies suvartojimo (BDS₇), nitratų azoto (NO₃-N) bei bendrojo azoto (N_b) koncentracijos

Lyginant 2011 metų tiriamųjų parametru reikšmes su 2001–2010 metų laikotarpiu, matyti, jog labiausiai kintantis parametras yra skendinčių medžiagų koncentracija, kurią lemia nuotėkis, be to, 2011 metais buvo užfiksuota didesnė biocheminio deguonies suvartojimo koncentracija nei ankstesniais (2001–2010) metais. Taip pat ištirpusio deguonies koncentracija 2011 metais Vilnios upėje sumažėjo apie 2 kartus, o azoto junginių koncentracijos paviršiniame vandenyje buvo šiek tiek didesnės nei 2001–2010 metais.

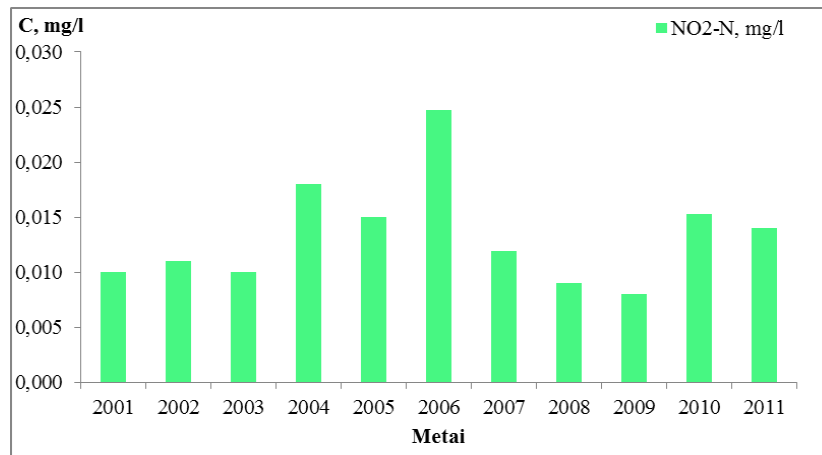


3.35 pav. Nitritų azoto (NO₂-N) koncentracijų kitimas Vilnios upėje

3.36 bei 3.37 paveiksluose pateiktos fizikinių – cheminių kokybės elementų kitimo tendencijos Neris upėje.



3.36 pav. Fizikinių – cheminių kokybės elementų kitimo tendencijos Neries upėje: skendinčių medžiagų (SM), ištirpusio deguonies (O₂), biocheminio deguonies suvartojimo (BDS₇), nitratų azoto (NO₃-N) bei bendrojo azoto (N_b) koncentracijos



3.37 pav. Nitritų azoto (NO₂-N) koncentracijų kitimas Neries upėje

Lyginant 2011 metų tiriamųjų parametru reikšmes Neries upėje su 2001–2010 metų laikotarpiu, matyti, jog 2011 metais buvo užfiksuota 3 kartus didesnė biocheminio deguonies suvartojimo koncentracija nei ankstesniais (2001–2010) metais ir ištirpusio deguonies koncentracija 2011 metais Neries upėje sumažėjo apie 2 kartus, tačiau azoto junginių koncentracijos paviršiniame vandenyje buvo panašios, lyginant su 2001–2010 metais, tik bendrojo azoto koncentracija buvo didesnė, tai rodo padidėjusį maisto medžiagų kiekį vandenyje. Didesnės maisto medžiagų koncentracijos gali lemti eutrofikaciją lėtos tėkmės upėse, todėl blogėja ir vandens telkinių ekologinės sąlygos.

Tiriamosiose upėse biocheminio deguonies suvartojimas padidėjo 2 kartus ir ištirpusio deguonies koncentracija sumažėjo 2 kartus, tai rodo, užterštumą paviršiniame vandenyje. Biocheminis deguonies suvartojimas taikomas nustatyti vandens užtaršą organinėmis medžiagomis (Hufschmid *et al* 2003), tai turi įtakos paviršinių vandenų eutrofikacijai.

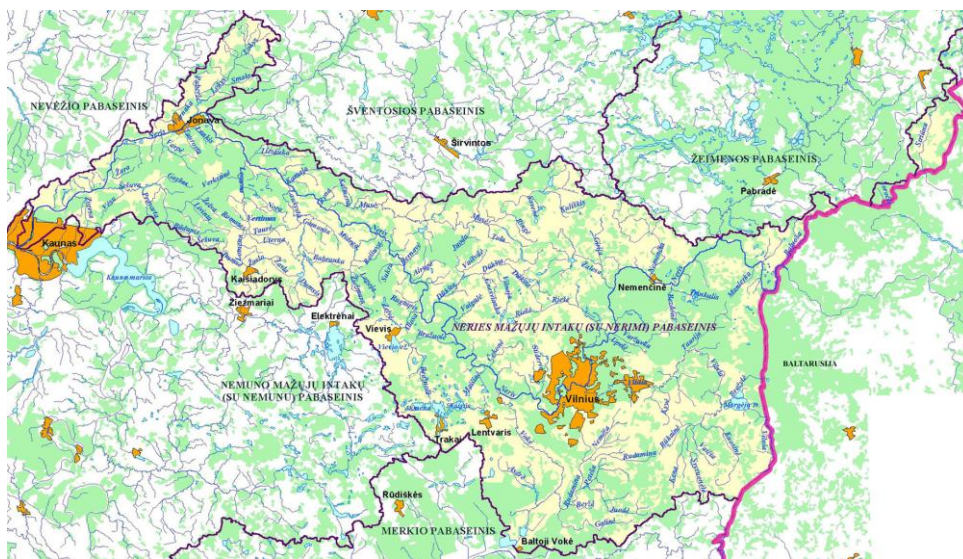
3.6. Trečiojo skyriaus išvados

1. Tiriamosios upės pagal ekologinę būklę, vertinant metines tiriamųjų azoto ir jo junginių koncentracijas, priskiriamos: Vilnios upė – labai gerai ($N_b = 1,78$ mg/l; $NO_2-N = 1,08$ mg/l), Neries upė – labai gerai ($N_b = 1,69$ mg/l; $NO_2-N = 0,94$ mg/l) ekologinės būklės klasei.
2. Tiriamieji ežerai pagal ekologinę būklę, vertinant metines bendrojo azoto koncentracijas, priskiriami: Balsio ežeras – gerai ($N_b = 1,21$ mg/l), Balžio ežeras – gerai ($N_b = 1,14$ mg/l) ekologinės būklės klasei.
3. Cheminės būklės vertinimas paviršiniuose vandens telkiniuose atliekamas pagal tai, ar tirtas kriterijus neviršija DLK. Vilnios bei Neries upėse cheminė būklė pagal vidutines metines nitritų azoto koncentracijas, atitinkamai 0,019 mg/l ir 0,014 mg/l, yra labai geros cheminės būklės, nes neviršija DLK (0,03 mg/l), Balsio (0,008 mg/l) bei Balžio (0,009 mg/l) ežeruose paviršinio vandens cheminė būklė taip pat labai gera.
4. Galutinė, arba Bendra paviršinių vandenų būklė yra abiejų – ekologinės būklės ir cheminės būklės išraiška, ir yra nustatoma pagal prastesniąją iš jų. Pagal tai tiriamos upės priklauso labai geros kokybės vandens telkiniams, o ežerai – geros.
5. Bendrasis azotas, nitratų azotas bei nitritų azotas paviršiniame vandenyje turi įtakos eutrofikacijos procesams, šių medžiagų koncentracija priklauso nuo sezoniškumo, pakilus aplinkos oro temperatūrai, pakila vandens telkinių temperatūra, suintensyvėja vegetacijos procesai, vyksta eutrofikacija, pagal atliktus tyrimus eutrofikacijai įtakos turi organinės anglies kiekiai, nes jos kitimo tendencijos artimos biogeninių medžiagų kitimui.
6. Palyginus tirtus Vilnios ir Neries upių fizikinius – cheminius kokybės parametrus su Aplinkos apsaugos agentūros ilgalaikiais monitoringo duomenimis, nustatoma, jog eutrofikacijos procesą sukeliančių biogeninių medžiagų koncentracijos paviršiniame vandenyje buvo panašios, tačiau tiriamosiose upėse biocheminio deguonies suvartojimas padidėjo 2 kartus ir ištirpusio deguonies koncentracija sumažėjo 2 kartus, tai rodo, užterštumą paviršiniame vandenyje.
7. Atlikus koreliacinę analizę ir palyginus visus tiriamuosius paviršinio vandens telkinius, galima teigti, jog intensyviausiai eutrofikacijos procesas vyksta Vilnios upėje, o mažiausiai – Balžio ežere, nes pastarajame nėra statistiškai reikšmingų koreliacinių ryšių tarp rodiklių, kurie lemia eutrofikacijos procesą, bei kitų tiriamų parametrų.
8. Neries ir Vilnios upėse biocheminio deguonies suvartojimas padidėjo 2 kartus ir ištirpusio deguonies koncentracija sumažėjo 2 kartus, tai rodo vandens užtaršą organinėmis medžiagomis, kuri turi įtakos paviršinių vandenų eutrofikacijai.

4. Neries upės matematinis modeliavimas modeliavimo programa *Fyris*

Pastaruoju metu nemažai dėmesio skiriama antropogeninės veiklos poveikio aplinkai ir paviršinių vandens telkinių tyrimams. Vandens kokybę bei jos pokyčius tiria nedidelė dalis šalies mokslininkų (Rudzianskaitė ir kt. 2005, Šukys 2005). Todėl norint užtikrinti gerą vandens kokybę ir prognozuoti galimus jos pakitimus, labai svarbu išsamiai ištirti antropogeninės veiklos pasekmėje sukeltus neigiamus aplinkos veiksnių pokyčius, biogeninių junginių koncentracijų kaitos tendencijas ir jas lemiančius veiksnius. Vienas iš pažangiausių šiuo metu tokių tyrimų atlikimo būdų yra matematinis sutelktosios ir pasklidosios taršos sąlygotų vandens kokybės pokyčių matematinis modeliavimas (Ruminaitė 2010).

Antropogeninės veiklos kontekste nagrinėjama upė Neris, kuri priklauso Nemuno upių baseinų rajonui. Lietuvoje yra 56 % viso Neries baseino ploto (4.1 pav.). Baseine vyrauja palyginti laidūs vandeniu gruntai, tačiau ežeringumas yra 2,4 % (Paukštys 2011), kitos Neries pabaseinio charakteristikos pateiktos 4.1 lentelėje.



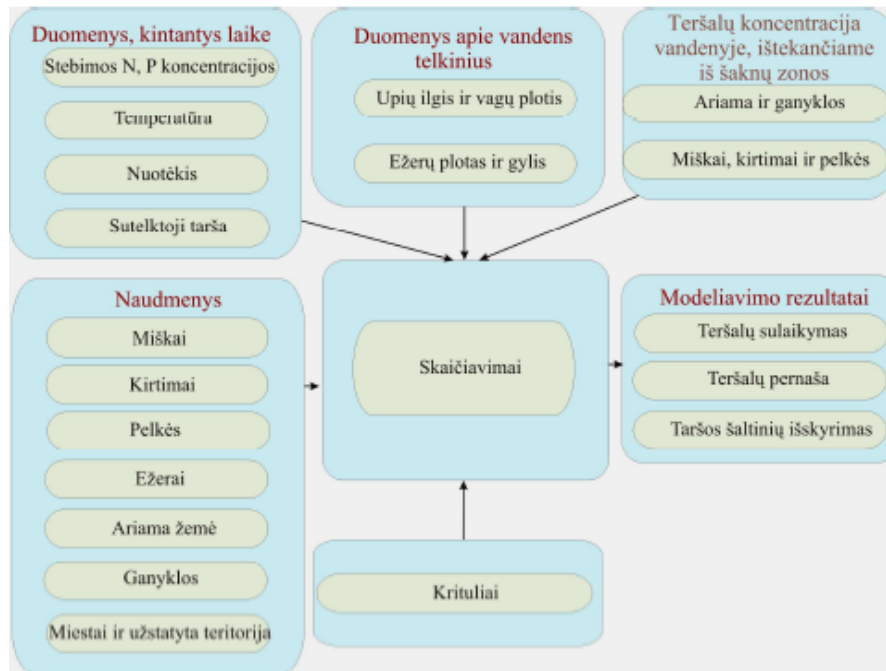
4.1 pav. Neries upės pabaseinis (Aplinkos apsaugos... 2010)

Neries pabaseinio teritorijoje miškai sudaro didžiąją dalį – 37 %, pelkės – 0,8 % miestai ir užstatytos teritorijos užima 18,5 %. (Paukštys 2011).

4.1 lentelė. Tirtos Neries pabaseinio charakteristikos

| Tirta upė | Upės pabaseinio plotas, km ² | Ariamoji žemė, km ² | Ganyklos, km ² | Miškai, km ² | Pelkės, km ² | Miestai ir užstatyta teritorija, km ² | Vandens telkiniai, km ² |
|-----------|---|--------------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|--|------------------------------------|
| Neris | 4266,79 | 346,00 | 439,05 | 1578,71 | 34,13 | 788,12 | 102,40 |

Matematinį modeliavimą atlieku modeliavimo programa *Fyris*. Tai dinaminis modelis, kuris įvertina bei prognozuoja bendrojo azoto ar fosforo poveikį paviršiniams vandens telkiniams. Modelio kokybinė dalis leidžia pakankamai tiksliai įvertinti upių vandens kokybę, teršiančių medžiagų kiekių kaitą tiriamajame baseine ir prognozuoti galimus vandens kokybės pakitimus keičiant sutelktosios ir pasklidosios taršos apkrovų dydžius. Modelio struktūroje galima išskirti 2 grupes (4.2 pav.).



4.2 pav. *Fyris* modelio principinė schema (Hansson *et al* 2006)

Pirmajai grupei priskiriami duomenys, kintantys laike (nuotėkis, vandens temperatūra, sutelktoji ir pasklidosoji tarša). *Fyris* modelis veikia naudojant mėnesio vidutinius duomenis. Antrajai grupei priskiriami duomenys, nepriklausantys nuo laiko (žemės naudmenų plotas, ežerų plotas, upių vagų plotis ir ilgis).

Biogeninių medžiagų kiekių upėje pokyčiai dėl savaiminio vandens apsivalymo, vykstant denitrifikacijos ir sedimentacijos procesams, modeliuojami įvertinant oro arba vandens telkinio paviršiaus temperatūrą, nuotėkį, upių bei ežerų vandens paviršiaus plotą.

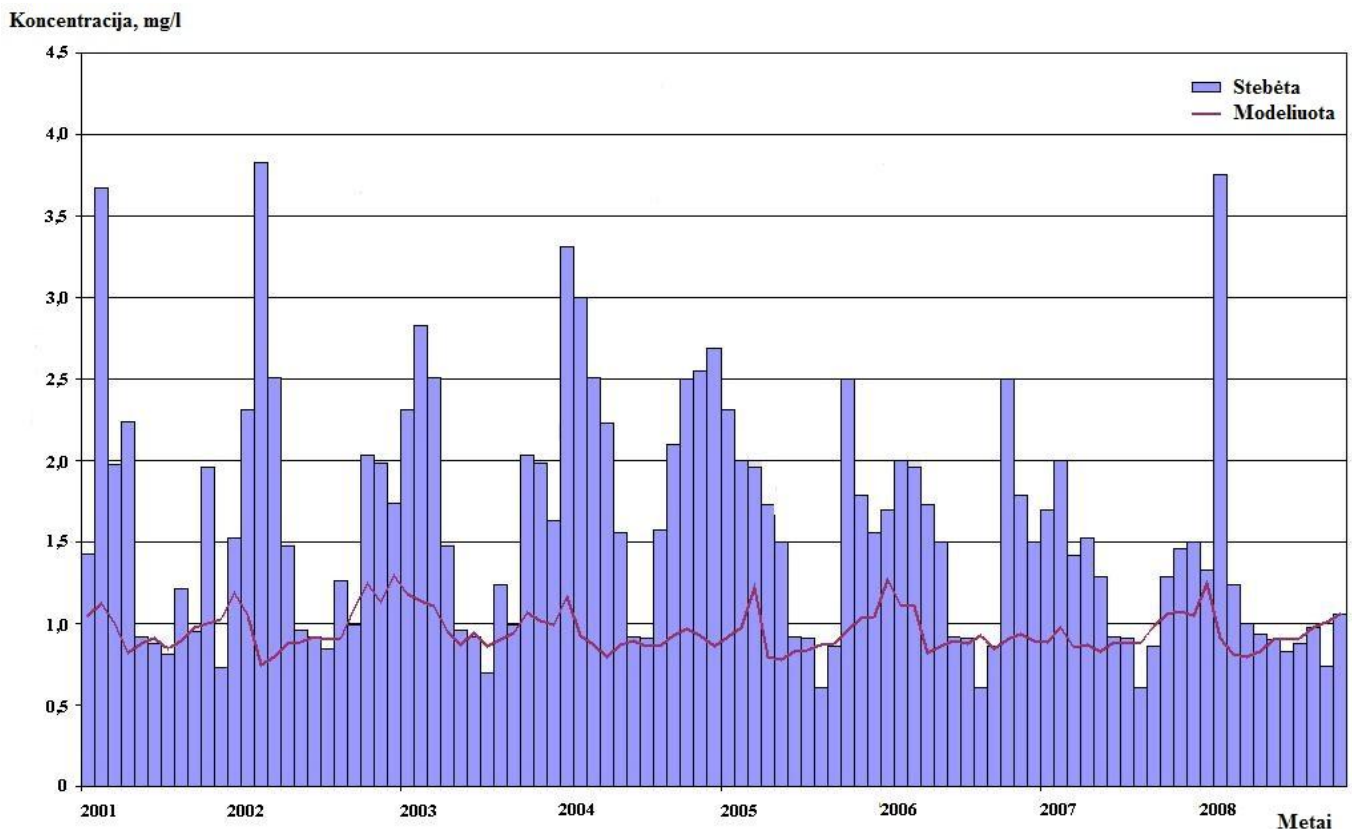
4.1 Vandens kokybės modelio kalibravimas Neries pabaseinyje bendrajam azotui

Vandens kokybės modelis buvo kalibruojamas 2001–2008 m. laikotarpiui, skaičiavimus atliekant vieno mėnesio intervalu. *Fyris* modelio kalibravimas atliktas keičiant empirinius kalibravimo koeficientus: empirinis savaiminio apsivalymo koeficientas įvertinantis teršalų sedimentaciją k_{vs} ir koeficientas c_0 , įvertinantis, kiek sumažėja savaiminis apsivalymas nukritus oro temperatūrai žemiau kaip 20 °C.

Kai modelio efektyvumo koeficientas $E = 1$, tai reiškia, kad stebėtos ir sumodeliuotos teršalų koncentracijos sutampa idealiai. Kai $E > 0,5$ – modelio efektyvumas labai geras, kai E yra tarp 0,4 ir 0,5 – modelio efektyvumas geras, o tarp 0,3 ir 0,4 – patenkinamas. Kai $E < 0,3$ reikia didinti stebėjimo duomenų eilę arba ieškoti klaidų duomenyse. Kai $E = 0$, tai rodo, kad modeliavimo duomenys atitinka tik stebėtųjų duomenų vidurkį (pagal tiesinę priklausomybę) (Ruminaite *et al* 2009).

Susisteminius modelio įvesties duomenis buvo sudarytas Neris upės pabasinio modelis. Kalibravimas buvo vykdomas tol, kol pasiektas geriausias sutapimas tarp stebėtų bei modeliuotų bendrojo azoto koncentracijų.

4.3 paveiksle pateikiu sudarytą Neris upės stebėtų bei modeliuotų bendrojo azoto koncentracijų ryšio grafiką.



4.3 pav. Stebėtų ir modeliuotų bendrojo azoto (N_b) koncentracijų dinamika 2001-2008 metais Neris upėje

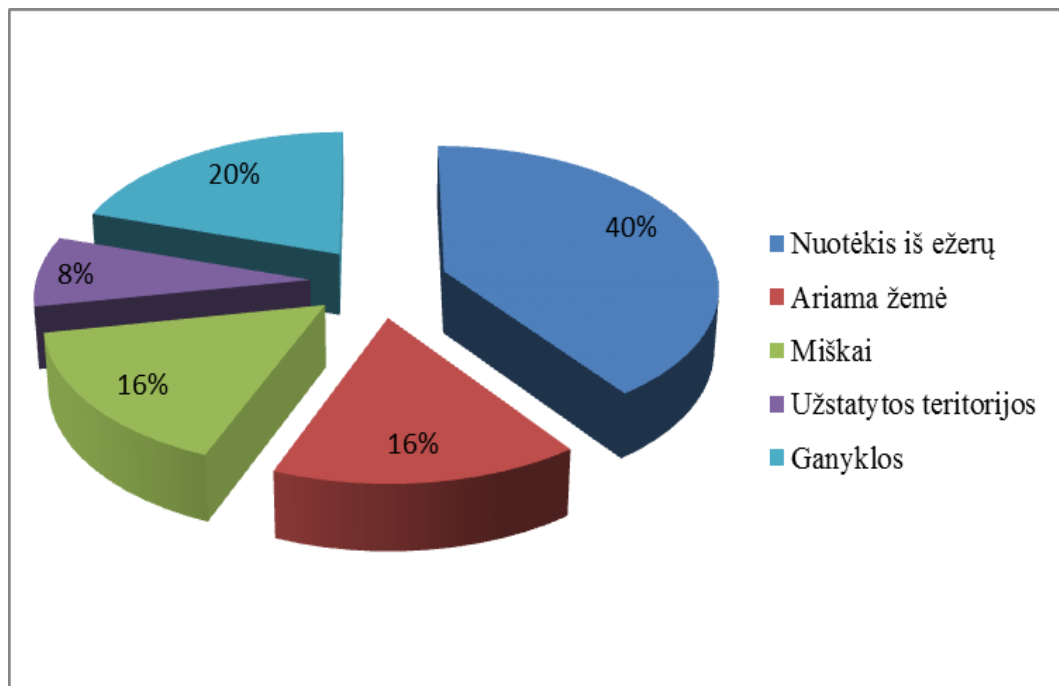
Kalibravimo proceso metu nustatyta, jog tinkamiausias koeficientas (c_0), kuris įvertina, kiek sumažėja savaiminis apsivalymas nukritus oro temperatūrai žemiau kaip $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ yra 0,028, o empirinis savaiminio apsivalymo koeficientas, kuris įvertina teršalų sedimentaciją (kvs) yra 0,10. Matematiškai buvo vertinamas vandens kokybės modeliavimo efektyvumas. Po atlikto kalibravimo, modelio efektyvumo koeficientas siekė $E = 0,67$, tai yra modelio efektyvumas labai geras ir *Fyris* modelio pateikti rezultatai atitinka stebėtuosius.

4.2 Bendrojo azoto apkrovų pasiskirstymas Neries upėje

Biogeninių medžiagų koncentraciją ir kiekį upių vandenyje gali įtakoti sezoniniai vandens nuotėkio ir debitų pokyčiai, oro sąlygos ar konkretūs teršėjai. Upėmis nuplukdomų azoto ir fosforo teršalų kiekiai daugeliu atvejų priklauso nuo upės nuotėkio ir jo formavimosi sąlygų. Vienas iš pagrindinių veiksnių, sąlygojančių nuotėkio dydį, yra kritulių kiekis (Ruminaitė 2010). Vidutinis metinis kritulių kiekis 2001–2008 m. laikotarpiu pagal meteorologijos stoties duomenis buvo 605 mm (artimas normai).

Besikeičiančios klimato sąlygos, lemia gausesnį kritulių kiekį vasaros laikotarpiu (Murphy 2000), o tai gali įtakoti didesnę nuotėkį ir didesnę azoto bei jo junginių išplovimą į paviršinius vandenis (Martins *et al* 2001), ypač šiltuoju metų laiku. Todėl gali suintensyvėti eutrofikacijos procesas paviršiniuose vandens telkiniuose.

Azotas į vandens telkinius gali patekti su atmosferos vandenimis – lietumi, ištirpusiu sniegu bei ledu, taip pat žmogaus ūkinės veiklos pasekmėje. Modeliavimo rezultatai parodė bendrojo azoto apkrovas Neries upėje per modeliuojamą laikotarpį iš visų taršos šaltinių 2001–2008 metų laikotarpyje (4.4 pav.).



4.4 pav. Bendrasis azotas (N_b), patenkantis iš visų taršos šaltinių į Neries upę 2001–2008 metais

Neries upės pabaseinyje didžiausią plotą užima miškingos teritorijos (4.1 lentelė), tačiau pagal modeliavimo rezultatus gauta, jog didžiausia bendrojo azoto koncentracija į Neries upę patenka su nuotėkiu iš ežerų (40 %), esančių Neries upės pabaseine (4.4 pav.).

Taip pat pagal gautus modeliavimo rezultatus, galima teigti, jog bendrojo azoto taršos apkrovų pasiskirstymui įtakos turi didieji miestai bei užstatyta teritorija, nes išleidžiamos buitinės nuotekos daro

poveikį urbanizuotose teritorijose esančioms upių bei kitų paviršinių vandens telkinių atkarpoms.

4.3 Ketvirtojo skyriaus išvados

1. Neries upės vandens taršai bendruoju azotu įvertinti pasirinktas matematinio modeliavimo metodas, naudojant *Fyris* modelį.
2. Modeliuojant programa *Fyris* kalibravimo proceso metu nustatyta, jog tinkamiausias koeficientas (c_0), kuris įvertina, kiek sumažėja savaiminis apsivalymas nukritus oro temperatūrai žemiau kaip 20 °C yra 0,028, o empirinis savaiminio apsivalymo koeficientas, kuris įvertina teršalų sedimentaciją (kvs) yra 0,10, o modelio efektyvumo koeficientas modeliuojant bendrąjį azotą buvo $E = 0,67$.
3. Vidutiniškai iš ariamos žemės patenka 16 %, iš valymo įrenginių, namų valdų bei užstatytų teritorijų – 11 %, iš miškingos teritorijos ir ganyklų – 38 %, o su nuotėkiu iš ežerų į Neries upės pabaseinį patenka 40 % viso pabaseiniui tenkančio azoto.

Išvados

1. Eutrofikacija gamtoje vyksta kaip natūralus procesas, tačiau ją spartina žmogaus veikla: nesaikingas tręšimas, pramoninė oro ir vandens tarša, nevalytos komunalinės nuotekos, didėjanti oro ir vandens temperatūra taip pat spartina eutrofikacijos procesą, todėl prastėja vandens išteklių kokybė, vyksta antropogeninė eutrofikacija.
2. Tiriamosios upės pagal ekologinę būklę, vertinant metines tiriamųjų azoto ir jo junginių koncentracijas, priskiriamos: Vilnios upė – labai gerai ($N_b = 1,78$ mg/l; $NO_2-N = 1,08$ mg/l), Neries upė – labai gerai ($N_b = 1,69$ mg/l; $NO_2-N = 0,94$ mg/l) ekologinės būklės klasei.
3. Tiriamieji ežerai pagal ekologinę būklę, vertinant metines bendrojo azoto koncentracijas, priskiriami: Balsio ežeras – gerai ($N_b = 1,21$ mg/l), Balžio ežeras – gerai ($N_b = 1,14$ mg/l) ekologinės būklės klasei.
4. Atlikus koreliacinę analizę ir palyginus visus tiriamuosius paviršinio vandens telkinius, galima teigti, jog intensyviausiai eutrofikacijos procesas vyksta Vilnios upėje, o mažiausiai – Balžio ežere, nes pastarajame nėra statistiškai reikšmingų koreliacinių ryšių tarp rodiklių, kurie lemia eutrofikacijos procesą, bei kitų tiriamųjų parametru.
5. Vertinant ilgalaikius (2001 – 2010 m.) monitoringo duomenis ir lyginant juos su Neries ir Vilnios upių natūriniais tyrimais, nustatiau, jog azoto ir jo junginių koncentracija vandenyje kito panašiai, tačiau biocheminio deguonies suvartojimas padidėjo 2 kartus ir ištirpusio deguonies koncentracija sumažėjo 2 kartus, tai rodo vandens užtaršą organinėmis medžiagomis, kuri turi įtakos paviršinių vandenų eutrofikacijai.
6. Atlikus matematinį modeliavimą modeliavimo programa *Fyris*, nustatyta, jog Neries upės savaiminis apsivalymas nukritus oro temperatūrai žemiau kaip 20 °C sumažėja 0,028, o empirinis apsivalymo koeficientas yra 0,10, kai modelio efektyvumo koeficientas 0,64.

Rekomendacija

1. Siekiant sustabdyti eutrofikaciją, rekomenduojamas vandens valymas, trąšų ir taršos kontrolė. Taip pat siekiant sulėtinti ežerų eutrofikacijos procesą, mažinti biogenų prietaką, reikia riboti ūkinę veiklą ežerų pakrantėse: įteisintos vandens telkinių apsaugos juostos ir zonos ir griežtai reglamentuotas jų naudojimas.

Literatūros sąrašas

- Aplinkos apsaugos agentūra [interaktyvus]. 2010. Žiūrėta 2010 gruodžio 19 d. Prieiga per internetą: <<http://vanduogamta.lt/cms/index?rubricId=3193a6ad-8865-45f6-8c57-c6cddf18edb8>>.
- Aplinkos apsaugos agentūra. 2010. Klimato kaitos poveikis Nemuno UBR upėms bei ežerams. Vilnius. 82 p.
- Arustienė, J.; Bareikienė, D.; Beinoravičius, R.; Bieliauskaitė, D.; Bieliauskienė, V.; Bimbaitė, V.; Danaitienė, J.; Danielius, D.; Daugėlienė, L.; Ežerskis, G.; Galvonaitė, A.; Garnaga, G.; Giedraitienė, J.; Graževič, A.; Graičiūnas, V.; Grigorianas, V.; Gurjanovaitė, K.; Juozapaitis, A.; Juozefaitė, V.; Kairienė, E.; Kajutis, A.; Kavolytė, R.; Kitrienė, Z.; Kulvičienė, L.; Kvietkus, A.; Laurutėnaitė, B.; Liutkevičius, G.; Lunskutė, G.; Markauskas, G.; Martišius, L.; Mickevičienė, I.; Mikulėnas, V.; Minajeva, J.; Minderis, K.; Netikšaitė, S.; Noreika, S.; Olenina, I.; Pakštys, L.; Paulauskaitė, S.; Petrauskaitė, J.; Plungė, S.; Pumputytė, A.; Šilienė, Z.; Šiožinytė, V.; Širvinskas, R.; Štriupkuvienė, N.; Titova, J.; Valantiejiene, V.; Valiukas, D.; Želvys, A. 2010. Aplinkos ministerija: Aplinkos būklė 2009. Tik faktai. Vilnius: Petro ofsetas. 39 p.
- Bagdžiūnaitė – Litvinaitienė, L. 2005. Biogeninių medžiagų kaitos upių vandenyje tyrimai ir įvertinimas: Daktaro disertacija. Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius. 133 p.
- Balevičius, A.; Bukantis, A.; Bukelskis, E.; Ignatavičius, G.; Kutorga, E.; Mierauska, P.; Rimkus, E.; Rukšėnienė, J.; Sinkevičius, S.; Stankūnavičius, G.; Valiuškevičius, G.; Zemlys, P.; Žaromskis, R. P. 2007. *Globali aplinkos kaita*. Vilnius: Petro ofsetas. 297 p.
- Balevičius, A.; Ciunys, A.; Bukelskis, E. 2007. Senasis ežerėlis. Paviršinių vandens telkinių valymo studija. Vilnius. 77 p.
- Baltrėnas, P.; Butkus, D.; Oškiniš, V.; Vasarevičius, S.; Zigmontienė, A. 2008. *Aplinkos apsauga*. Mokojoji knyga. Vilnius: Technika. 573 p.
- Baltrušaitis Audrius. 2009. Žemsiubių panaudojimas Lietuvos ežerų valymui. Magistrantūros studijų baigiamasis darbas. Kaunas: Akademija. 53 p.
- Beinoravičius, R.; Bieliauskaitė, D.; Bieliauskienė, V.; Bimbaitė, V.; Danaitienė, J.; Dubra, J.; Ežerskis, G.; Garnaga, G.; Giedraitienė, J.; Graževič, A.; Gurjanovaitė, K.; Jančiauskienė, V.; Jašinskaitė, A.; Juozefaitė, V.; Kairienė, E.; Kajutis, A.; Kavolytė, R.; Kitrienė, Z.; Kondratjeva, L.; Krušinskas, V.; Kulvičienė, L.; Laurutėnaitė, B.; Lunskutė, G.; Marcinonienė, I.; Mikalkėnaitė, A.; Mikulėnas, V.;

Minderis, K.; Netikšaitė, S.; Noreika, S.; Pakštys, L.; Pumputytė, A.; Repinskaja, O.; Skavičiūtė, D.; Šilienė, Z.; Šiožinytė, V.; Štriupkuvienė, N.; Titova, J.; Vaičiūtė, D.; Valiukas, D.; Želvys, A.; Zitkevičius N. 2009. Aplinkos ministerija: Aplinkos būklė 2008. Tik faktai. Vilnius: Petro ofsetas. 35 p.

Bieška, D.; Jaraminienė, E.; Latvėnaitė – Staškevičienė, G.; Naujėkaitė, J.; Bružas, M.; Rinkevičius, S.; Paškauskienė, Ž.; Tauginas, T.; Tījūnaitė, R.; Valuntienė, I.; Nagevičius, M.; Siniak, N. 2010. Lietuvos Respublikos 5 – asis Nacionalinis Jungtinių Tautų bendrosios klimato kaitos konvencijos įgyvendinimo pranešimas. Vilnius. 132 p.

Bukantis, A.; Gedžiūnas, P.; Giedraitienė, J.; Ignatavičius, G.; Jonynas, J.; Kavaliauskas, P.; Lazauskienė, J.; Reipšleger, R.; Sakalauskienė, G.; Sinkevičius, S.; Šulijienė, G.; Žilinskas, G.; Valiukevičius, G. 2008. Lietuvos gamtinė aplinka, būklė, procesai ir raida. Vilnius: Petro ofsetas 238 p.

Burtraw, D.; Palmer K.; Siikamäki J. 2006. Air Emissions of Ammonia and Methane from Livestock Operations, *Recurces for the future*, 28.

Butler, J.H.; Battle, M.; Bender, M. L.; Montzka, S.A.; Clark, A.D.; Saltzman, E.S.; Sucher, C.M.; Severinghaus J.P.; Elkins J.W. 1999. A record of atmospheric halocarbons during the twentieth century from polar firn air, *Nature*, 399: 749 – 755.

Ciūnys, A. 1997. Ežerų valymas ir sapropelio paruošimo technologijos, *Aplinkos tyrimai, inžinerija ir vadyba*, 1(4): 55 -61.

Ciūnys, A.; Katkevičius, L. 2008. *Aplinkosaugos darbai ir jų reglamentavimas*. Mokomoji knyga. Kaunas: Ardipa. 57 p.

Darnusis vystymasis [interaktyvus]. 2009. Žiūrėta 2010 lapkričio 19 d. Prieiga per internetą: <<http://darnusvystymasis.gpf.lt/lt/siltnamio-efekta-sukeliancios-dujos>>.

Deaton, M. L.; Winebrake, J. J. 1999. *Dynamic Modeling of Environmental Systems*. New York: Springer – Verlag. 197 p.

Dunnivant, F. M.; Elliot, A. A. 2006. *Basic introduction to pollutant fate and transport: An integrated approach with chemistry, modeling, risk assessment and environmental legislation*. New Jersey: Wiley interscience. 400 p.

European Environmental Agency report. 2004. *Impact's of Europe's Changing climate. An indicator – based assessment*. Liuksemburgas: Europos Bendrijų oficialiųjų leidinių biuras. 107 p.

- Europos komisija. 2006. Klimato kaita, kas tai? Pažintinis leidinys jaunimui. Liuksemburgas: Europos Bendrijų oficialiųjų leidinių biuras. 20 p.
- Gailiušis, B.; Baršienė J.; Jablonskis J.; Kilkus K.; Ruseckas J.; Tilickis B.; Tumas R.; Vincevičienė V.; Virbickas J. 1999. Vandens ekosistemų būklė ir tvarios raidos prielaidos. Vilnius: Ecoslit. 290 p.
- Gailiušis, B.; Kovalenkoviėnė, M.; Gaigalas, K. 2002. Antropogeninis poveikis Žuvinto ežero hidrologiniam režimui ir vandens kokybei, *Energetika 2*: 38 – 44 p.
- HANNA Instruments [interaktyvus]. 2010. Žiūrėta 2011 balandžio 18 d. Prieiga per internetą: <<http://www.hannainst.com/usa/prods2.cfm?id=033&ProdCode=HI%2098127>>.
- Hansson, K.; Wallin, M.; Lindgren, G. 2006. The Fyris model Version 2.0. Technical description. Sweden: Swedish University of Agricultural Sciences. 19 p.
- Harnisch, J.; Eisenhauer, A. 1998. Natural CF₄ and SF₆ on Earth, *Geophysical. Research. Letters* 25(13): 2401-2404.
- Henderson – Sellers B.; Markland H. R. 1990. Decaying Lakes. The Origins and Control of Cultural Eutrophication. New York: John Wiley & Sons. 254 p.
- HN 92:2007. Paplūdimiai ir jų maudyklų vandens kokybė. *Valstybės žinios* 139 – 5716.
- Houghton, J.T.; Callander, B.A.; Varney, S.K. 1990. Climate Change 1990: The Intergovernmental Panel on Climate Change Scientific Assessment. Cambridge: University Press. 394 p.
- Hufschmid, A.; Becker-Van Slooten, K.; Strawczynski, A.; Vioget, P.; Parra, S.; Peringer, P.; Pulgarin, C. 2003. BOD5 measurements of water presenting inhibitory Cu²⁺. Implications in using of BOD to evaluate biodegradability of industrial wastewaters. *Chemosphere* 50: 171-176.
- Jensen H. S.; Andersen F. O. 1992. Importance of temperature, nitrate, and pH for phosphate release from aerobic sediments of four shallow, eutrophic lakes, *Limnology and Oceanography* 37: 577-589.
- Jorgensen S. E.; Vollenweider R. A. 1988. Guidelines of lake management. Principles of lake management, *International Lake Environment Committee*, 3: 310 p.
- Kilkus, K. 2005. *Ežerotyra*. Vadovėlis aukštosioms mokykloms. Vilnius: Vilniaus universiteto leidykla. 272 p.
- LAND 65 – 2005. Vandens kokybė. Nitratų kiekio nustatymas. Spektrometrinis metodas, vartojant

sulfosalicilo rūgštį, *Valstybės žinios* 59 – 2084.

LAND 39 – 2000. Vandens kokybė. Nitrito kiekio nustatymas. Molekulinės absorbcijos spektrometrinis metodas, *Valstybės žinios* 100-3185.

LAND 46 – 2007. Vandens kokybė. Skendinčių medžiagų nustatymas. Košimo pro stiklo pluošto koštuva metodas, *Valstybės žinios* 80-3284.

LAND 84 – 2006. Vandens kokybė. Kjeldalio azoto nustatymas. Mineralizavimo seleno metodas. *Valstybės žinios* 92-3440.

Lietuvos gamtos fondas [interaktyvus]. 2010. Žiūrėta 2010 lapričio 29 d. Prieiga per internetą: <<http://www.glis.lt/?pid=64>>.

Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba prie Aplinkos ministerijos [interaktyvus]. 2011. Žiūrėta 2011 spalio 19 d. Prieiga per internetą: <http://www.meteo.lt/klim_lt_klimatas.php>.

Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija [interaktyvus]. 2009. Žiūrėta 2010 gruodžio 4 d. Prieiga per internetą: <<http://www.am.lt/VI/files/0.566249001204183704.doc>>.

Lietuvos Respublikos aplinkos ministerijos Klaipėdos regiono aplinkos apsaugos departamentas [interaktyvus]. 2006. Žiūrėta 2010 lapričio 4 d. Prieiga per internetą: <http://klrd.am.lt/VI/article.php3?article_id=30>.

Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2001 m. spalio 25 d. įsakymas Nr. 52 „Dėl paviršinio vandens telkinių klasifikavimo tvarkos ir kokybės normų patvirtinimo“, *Valstybės žinios* 93-3295.

Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2005 m. gruodžio 21 d. įsakymas Nr.D1 – 633 „Dėl paviršinių vandens telkinių, kuriuose gali gyventi ir veistis gėlavandenės žuvis, apsaugos reikalavimų aprašo patvirtinimo“, *Valstybės žinios* 5-159.

Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2007 m. balandžio 12 d. įsakymas Nr. D1 – 210 „Dėl paviršinių vandens telkinių būklės nustatymo metodikos“, *Valstybės žinios* 47.

Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2009 m. liepos 3 d. įsakymas Nr. D1 – 386 „Dėl nuotekų tvarkymo reglamento patvirtinimo pakeitimo“, *Valstybės žinios* 83 – 3472.

Lietuvos Respublikos Aukščiausiosios Tarybos Pirmininko Pavaduotojo 1992 sausio 21 dienos Aplinkos apsaugos įstatymas Nr. I – 2223, *Valstybės žinios* 5 – 75.

Lietuvos žemės ūkio universitetas [interaktyvus]. 2009. Žiūrėta 2010 gruodžio 14 d. Prieiga per internetą: < http://www.lzuu.lt/nm/l-projektas/-Aplinkos_tarsa/6.htm>.

Linkevičienė, R.; Timinskas, J.; Šimanauskienė, R. 2004. Ežero baseino ir apyežerio įtaka organogeninio atabrado raidai, *Geografijos metraštis*, 37 (1 – 2): 35 – 46.

Losevičiūtė, I.; Daujotas, A.; Petrėytė, M.; Cicėnienė, V. 2008. Ploviklių reglamento (648/2004/EB) įgyvendinimo situacija Lietuvoje ir pasiūlymai jai pagerinti. Ataskaita. Vilnius. 50 p.

Martins, I.; Pardal, M.A.; Lillebø, A.I.; Flindt, M.R.; Marques, J.C. 2001. Hydrodynamics as a Major Factor Controlling the Occurrence of Green Macroalgal Blooms in a Eutrophic Estuary: A Case Study on the Influence of Precipitation and River Management, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 55 (2): 165 – 177.

Metinė ataskaita pagal JT bendrąją klimato kaitos konvenciją. 2007. Lietuvos Respublikos nacionalinė šiltnamio efektą sukeliančių dujų inventoriaus 2007 m. ataskaita. Vilnius. 79 p.

Mickevičius, D. 1998. *Cheminės analizės metodai*. 1 dalis (Spektrinė analizė). Vilnius: Žiburys. 408 p.

Ministry of Foreign Affairs of Denmark. Embassy of Denmark, Vilnius [interaktyvus]. 2008. Žiūrėta 2010 spalio 24 d. Prieiga per internetą: < <http://www.ambvilnius.um.dk/en/menu/Politics/EnergetikaIrKlimatoKaita/15ojiAliKonferencijaKopenhagoje2009/KlimatoKaitosPasekms/>>.

Miškinis, V.; Galinis, A.; Konstantinavičiūtė, I.; Norvaiša, E.; Alėbaitė, I.; Tarvydas, D. 2007. Išmetimų į atmosferą šiltnamio dujų kiekio kitimo iki 2010 m. prognozių ir Lietuvos galimybių, įgyvendinant prisiimtą įsipareigojimą 20 % sumažinti šiltnamio dujų kiekį iki 2020 m., įvertinimo ir pasiūlymų parengimas. Galutinė ataskaita. Kaunas: Smaltija. 117 p.

Murphy, J. 2000. Predictions of climate change over Europe using statistical and dynamical downscaling techniques, *International Journal of Climatology*, 20 (5): 489 – 501.

Nepstad, D. C.; Carvalho, C. Davidson, E. A.; Jipp, P. H.; Lefebvre, P. A.; Negreiros, G. H.; Silva, E. D.; Stone, T. A.; Trumbore, S. E.; Vieira, S. 1994. The role of deep roots in the hydrological and carbon cycles of Amazonian forests and pastures. *Nature* 372: 666 – 669.

Niemistö P.; Horppila J. 2007. The contribution of ice cover to sediment resuspension in a shallow temperate lake: possible effects of climate change on internal nutrient loading, *Journal of Environmental Quality* 36 (5): 1318-1323.

- Paliulis, D. 2004. Aplinkos taršos nustatymo metodai. *Mokomoji knyga*. Vilnius: Technika. 104 p.
- Paukštys, B. 2011. Lietuvos vandens telkinių būklė ir ūkinės veiklos poveikis. Vilnius: Vandens harmonija. 632 p.
- Pociene, A.; Pocius, S. 2008. Prevencinės vandens taršos mažinimo priemonės. *Mokomoji knyga*. Kaunas: Ardiva. 76 p.
- Povilaitis, A. 2003. Biogeninių medžiagų trendai pagal normalizuotą upių nuotėkį, *Lietuvos žemės ūkio universiteto ir Lietuvos vandens ūkio instituto mokslo darbai* 23(43)–24(44): 33–39.
- Povilaitis, A. 2004. Phosphorus trends in Lithuania rivers affected by agricultural nonpoint pollution, *Aplinkos tyrimai, inžinerija ir vadyba* 4(30): 17–27.
- Povilaitis, A. 2006. Impact of agriculture decline on nitrogen and phosphorus loads in Lithuania rivers, *Ekologija* 1: 32–39.
- Rudzianskaitė, A.; Šukys, P. 2005. Azoto, fosforo ir kalio kiekių kaita karsto zonos upelių vandenyje ir dumble, *Vandens ūkio inžinerija* 2(5): 20–25.
- Ruminaitė, R. 2010. Antropogeninės veiklos įtakos upių nuotėkiui ir vandens kokybės tyrimai ir vertinimas: Daktaro disertacija. Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius. 167 p.
- Ruminaitė, R.; Šileika, A. S.; Lukianas, A. 2009. Analysis of the Mūša catchment pollution with total nitrogen, *Ekologija* 55(2): 114–122.
- Šaulys, V. 2007. Vandenų apsaugos politika ir teisė. *Mokomoji knyga*. Vilnius: Technika. 152 p.
- Širvinskaitė, A.; Bagdžiūnaitė-Litvinaitienė, L. 2011. Šyšos upės vandens kokybės kaitos įvertinimas. 14-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“, Vilnius, 2011 m. balandžio 14 d., straipsnių rinkinys: 205–210. ISBN 978-9955-28-956-2.
- Šukys, P.; Šaulienė, A. 2005. Upelių nuotėkio ir taršos ypatumai karsto rajone, *Vandens ūkio inžinerija* 2(5): 93–99.
- Technologijos.lt [interaktyvus]. 2010. Žiūrėta 2011 sausio 3 d. Prieiga per internetą: <http://www.technologijos.lt/n/mokslas/gamta_ir_biologija/S-16267/straipsnis?name=S-16267&l=2&p=1>.
- VELP Scientifica [interaktyvus]. 2010. Žiūrėta 2011 gegužės 31 d. Prieiga per internetą: <

<http://www.velp.com/en/default.asp>>.

Winder M.; Schindler D. E. 2004. Climate change uncouples trophic interactions in an aquatic ecosystem. *Ecology* 85: 2100-2106.

World Meteorological Organization [interaktyvus]. 2010. Žiūrėta 2011 sausio 7 d. Prieiga per internetą: <http://www.wmo.int/pages/index_en.html>.

Zagorskis, A. 2009. Mažo našumo oro valymo biofiltrų tyrimai ir kūrimas. Daktaro disertacija. Vilnius: Technika. 160 p.

Žalakevičius, M.; Ozolinčius, R.; Bukantis, A.; Ruseckas, J.; Rimkus, E.; Valiuškevičius, G.; Stankūnavičius, G.; Stakėnas, V. 2007. Klimato kaitos poveikio šalies ekosistemoms, bioįvairovei, vandens ištekliams, žemės ir miškų ūkiui ir žmonių sveikatai įvertinimo studija ir pasekmių švelninimo strateginis planas. Ataskaita. Strateginio plano projektas. Vilnius. 240 p.

Priedai

Mokslinių publikacijų sąrašas:

1. Margenytė, L.; Zigmontienė, A. 2011. Azoto ir jo junginių kaitos tyrimai paviršiniuose vandens telkiniuose šaltuoju metų laikotarpiu. 14-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“, Vilnius, 2011 m. balandžio 14 d., straipsnių rinkinys: 186–192. ISBN 978-9955-28-956-2.
2. Margenytė, L.; Zigmontienė, A. 2012. Pagrindinių vandens užterštumo charakteristikų analizė. 15-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“, Vilnius, 2012 m. balandžio 12 d. (pateiktas redakcijai).
3. Margenytė, L.; Zigmontienė, A. 2012. Seasonal quality changes of nitrogen and carbon in Vilnia river. *Journal of Environmental Sciences* (pateiktas redakcijai).

Dalyvavimas konferencijose:

1. 14-oji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ 2011 metų teminė konferencija APLINKOS APSAUGOS INŽINERIJA, 2011 m. balandžio 14 d. pranešimo tema (stendinio): Biogeninių medžiagų tyrimai paviršiniuose vandens telkiniuose šaltuoju metų laikotarpiu.
2. 15-oji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ 2012 metų teminė konferencija APLINKOS APSAUGOS INŽINERIJA, 2012 m. balandžio 12 d. pranešimo tema (stendinio): Pagrindinių vandens užterštumo charakteristikų analizė Vilnios upėje.