



**KURŠIŲ MARIŲ DUGNO NUOSĖDŲ MAISTINGŪJŲ  
MEDŽIAGŲ IR JŲ POVEIKIO KURŠIŲ MARIŲ EKOSISTEMAI  
TYRIMŲ  
GALUTINĖ ATASKAITA**



**Klaipėda, 2016**

Pagrindinis ekspertas-projekto vadovas:  
Dr. Ričardas Paškauskas

Pagrindiniai ekspertai:

Dr. Petras Zemlys

Dr. Mindaugas Žilius

Tyrimai atliekami sutinkamai su paslaugų 2015 m. balandžio 7 d. viešojo pirkimo - pardavimo sutartimi Nr. 28TP-2015-19 SUT-15P-13 tarp Aplinkos apsaugos agentūros ir Klaipėdos universiteto.

## TURINYS

SANTRUMPŲ SĄRAŠAS .....	7
ĮVADAS .....	8
I skyrius. ESAMOS SITUACIJOS ANALIZĖ .....	9
ĮVADAS .....	9
1.1 PAGRINDINĖS KURŠIŲ MARIŲ DUGNO SEDIMENTACINĖS APLINKOS .....	9
1.2. MAISTMEDŽIAGIŲ PASISKIRSTYMAS DUGNO NUOSĖDOSE .....	13
1.2.1. Amonis poriniame vandenyje .....	13
1.2.2. Nitratai ir nitritai poriniame vandenyje .....	14
1.2.3. Dalelinis organinis azotas nuosėdose .....	15
1.2.4. Ištiręs reaktyvus fosforas .....	15
1.2.5. Nuosėdose surištas neorganinis fosforas .....	16
1.3. APYKAITA TARP VANDENS STORYMĖS IR DUGNO NUOSĖDŲ .....	17
1.3.1. Amonio apykaita tarp nuosėdų ir priedugnio vandens .....	17
1.3.2. Nitratų ir nitritų apykaita tarp nuosėdų ir priedugnio vandens .....	18
1.3.3. Ištirpusio reaktyviojo fosforo apykaita tarp nuosėdų ir priedugnio vandens .....	18
1.4. MAISTMEDŽIAGIŲ APYKAITOS PROCESŲ SEZONINIAI POKYČIAI .....	19
1.5. NUOSĖDŲ SVARBA DUGNO IR PELAGIALĖS APYKAITOJE .....	20
1.6. BENDRA MODELIO SHYFEM CHARAKTERISTIKA .....	23
1.7. BIOGEOCHEMINIO MODELIO AQUABC BENDRA CHARAKTERISTIKA .....	24
1.8. MODELIO AQUABC IŠPLĖTIMAS .....	26
IŠVADOS .....	28
LITERATŪRA .....	30
II skyrius. LAUKO TYRIMAI .....	31
ĮVADAS .....	31
2.1. TYRIMO MEDŽIAGA IR METODAI .....	33
2.1.1. Tyrimo vietos .....	33
2.1.2. Vandens fiziko-cheminių charakteristikų nustatymas .....	35
2.1.3. Suspenduotų dalelių koncentracijos ir dydžio įvertinimas .....	36
2.1.4. Vandens biologinių charakteristikų nustatymas .....	37
2.1.4.1. Fitoplanktono analizė .....	37
2.1.4.2. Zooplanktono analizė .....	37
2.1.5. Dugno nuosėdų kolonėlių paėmimas ir inkubacija .....	38
2.1.6. Bendrosios apykaitos tarp nuosėdų ir priedugnio vandens matavimas .....	39
2.1.7. Deguonies ir pH vertikalus mikroprofilavimas nuosėdose .....	41
2.1.8. Nuosėdų kolonėlių pjaustymas .....	41
2.1.9. Porinio vandens ekstrakcija iš nuosėdų .....	42
2.1.10. Nuosėdų fizinių ir geocheminių parametrų nustatymas .....	43
2.1.11. Analitinės cheminių junginių analizės .....	46
2.2. REZULTATAI .....	48

2.2.1 Kuršių marių vandens žydėjimo intensyvumas 2015 metais .....	48
2.2.2 Dalelinis organinis azotas paviršinėse nuosėdose .....	49
2.2.3 Fosforas dugno nuosėdos.....	50
2.2.4 Maistmedžiagų koncentracija poriniame vandenyje .....	53
2.2.4.1 Amonio azoto kiekis poriniame vandenyje.....	53
2.2.4.2 Suminis nitratų ir nitritų azoto kiekis poriniame vandenyje .....	54
2.2.4.3 Ištirpusio reaktyvaus fosforo kiekis poriniame vandenyje.....	55
2.2.5 Bendroji maistmedžiagų apykaita tarp dugno nuosėdų ir priedugnio vandens .....	56
2.2.6 Azoto redukcija ir fiksacija dugno nuosėdose .....	58
IŠVADOS.....	59
LITERATŪROS SĄRAŠAS .....	61
III skyrius. DUGNO NUOSĖDŲ TARŠOS POVEIKO KURŠIŲ MARIŲ MAISTINGŲJŲ MEDŽIAGŲ BALANSUI VERTINIMAS .....	63
ĮVADAS .....	63
3.1 MAISTINGŲJŲ MEDŽIAGŲ KONCENTRACIJOS SKIRTINGUOSE DUGNO NUOSĖDŲ TIPUOSE.....	64
3.2 MAISTINGŲJŲ MEDŽIAGŲ KONCENTRACIJOS VANDENYJE.....	64
3.3 FIZIKINIŲ-CHEMINIŲ, BIOLOGINIŲ SĄLYGŲ ĮTAKA MAISTINGŲJŲ MEDŽIAGŲ SRAUTAMS TARP NUOSĖDŲ IR VANDENS STORYMĖS.....	66
3.4 MAISTINGŲJŲ MEDŽIAGŲ PATEKIMAS IŠ SKIRTINGŲ NUOSĖDŲ TIPŲ Į VANDENS STORYMĘ IR PRIEŠINGA KRYPTIMI.....	69
3.4.1 Maistingųjų medžiagų srautai tarp dugno nuosėdų į vandens storymės per metus ir pagal sezonus	69
3.5 MAISTINGŲJŲ MEDŽIAGŲ KIEKIAI DUGNO NUOSĖDOSE.....	72
3.5.1 Maistingųjų medžiagų metiniai kiekiai ir kiekiai pagal sezonus dugno nuosėdose .....	72
3.6 DUGNO NUOSĖDŲ MAISTINGŲJŲ MEDŽIAGŲ ĮTAKA BENDRAM KURŠIŲ MARIŲ MAISTINGŲJŲ MEDŽIAGŲ BALANSUI.....	73
3.7 PATEIKTI ERDVINIO PASISKIRSTYMO VANDENS PAVIRŠINIAME IR PRIEDUGNINIAME SLUOKSNYJE BEI DUGNO NUOSĖDOSE TYRIMŲ REZULTATUS	78
3.8 ANTRINĖS TARŠOS POVEIKIO VERTINIMO METODIKOS .....	78
3.8.1 Modeliavimo priemonių charakteristika .....	78
3.8.1.1 Modelis SHYFEM.....	78
3.8.1.2 Nuosėdų pernašos submodelis.....	79
3.8.1.3 Bangų submodelis .....	80
3.8.1.4 Biogeocheminis submodelis.....	80
3.8.2 Modelio modifikacijos.....	82
3.8.2.1 Nuosėdų pernašos submodelio sujungimas su biogeocheminiu submodeliu .....	82
3.8.2.2 Ledo dangos submodelis.....	82
3.8.2.3 Biogeocheminis submodelis .....	83
3.8.3 Modelio realizacija Kuršių marioms .....	83
3.8.3.1 Hidrodinaminis submodelis .....	83
3.8.3.2 Nuosėdų pernašos submodelis.....	87
3.8.3.3 Biogeocheminis submodelis .....	87
3.8.4. Maistingųjų medžiagų balanso skaičiavimai .....	89

IŠVADOS.....	90
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	92
IV skyrius. REKOMENDACIJOS .....	93
ĮVADAS .....	93
4.1 REKOMENDUOJAMOS TYRIMŲ VIETOS IR JŲ SKAIČIUS.....	94
Rekomendacijos tyrimo vietų skaičiui.....	94
4.2 REKOMENDUOJAMI MATUOTI PARAMETRAI.....	95
4.2.1 Rekomendacijos matuotiniams parametrams .....	95
4.3 REKOMENDUOJAMOS PRIEMONĖS ANTRINĖS TARŠOS POVEIKIO MAŽINIMUI.....	97
4.3.1. Situacijos vertinimas.....	97
4.3.2 Įgyvendintų ir įgyvendinamų priemonių įtaka Kuršių marių dugno nuosėdų maistingųjų medžiagų antrinės taršos poveikio prevencijai ir sumažinimui .....	98
4.3.3. Išvados .....	104
4.4 ANTRINĖS TARŠOS POVEIKIO MAŽINIMO PRIEMONIŲ EFEKTYVUMO VERTINIMAS IR KAŠTŲ NAUDOS ANALIZĖ .....	105
LITERATŪROS SĄRAŠAS .....	105
PRIEDAI .....	108

## SANTRUMPU SĄRAŠAS

Al	aliuminis
AQUABC	Aquatic Biogeochemical Cycling
BNP	bendras neorganinis fosforas
C	anglis
Ca	kalcis
Chl-a	chlorofilo a vandens storumėje
CO <sub>2</sub>	anglies dioksidas
DOC	ištirpusi organinė anglis
DON	ištirpęs organinės azotas
DSi	dalelinis silicis
GF/F	stiklo pluošto filtrai
HDPE	didelio tankio polietilenas
Fe	geležis
INP	Ištirpęs neorganinės azotas
IRP	ištirpęs reaktyvus fosforas
Md	medianinis dalelės dydis
Mg	magnis
Mn	manganas
N	azotas
n	imties dydis
N <sub>2</sub>	ištirpęs molekulinis azotas
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	amonio azotas
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> <sub>eks</sub>	apykaitinis amonio azotas
NO <sub>x</sub> <sup>-</sup>	suminis nitritų ir nitratų azotas
O <sub>2</sub>	vandenyje ištirpęs deguonis
P	fosforas
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	neorganinis fosforas
PAR	fotosintetiškai aktyvi radiacija
PE	Polietilenas
PS	Polistirenas
POC	dalelinė organinė anglis
PON	bendras dalelinis azotas
Si	silicis
SiO <sub>2</sub>	vandenyje ištirpęs neorganinis silicis
SN	standartinis nuokrypis
TCO <sub>2</sub>	bendra ištirpusi neorganini anglis
TDN	bendras ištirpęs azotas (TDN=NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> +NO <sub>x</sub> <sup>-</sup> +DON)
TDP	bendras ištirpęs fosforas
TIP	bendras neorganinis fosforas
TOP	bendras organinis fosforas
TN	bendras azotas
TP	bendras fosforas
TPP	bendras dalelinis fosforas
TPIP	bendras dalelinis neorganinis fosforas

## IVADAS

Baigiamoji ataskaita apima 1-3 uždavinius numatytus įvadinėje ataskaitoje:

**1 uždavinys.** Atlikti biogeocheminius tyrimus, reikalingus vertinant maistingųjų medžiagų kiekius Kuršių marių dugno nuosėdose ir jų poveikį medžiagų balansui.

1 uždavinys apima šias veiklas:

I dalis:

**1.1 veikla.** Išanalizuoti esamą informaciją apie maistingųjų medžiagų kiekius Kuršių marių dugno nuosėdose, veiksnius, darančius įtaką maistingųjų medžiagų patekimui į vandens stovymę, jų balansui ir įvertinti trūkstamos informacijos (duomenų, tyrimų ir kt.) reikalingumą.

**1.2 veikla.** Įvertinti fizikinių-cheminių, biologinių parametrų (dugno nuosėdose ir vandenyje) poreikį maistingųjų medžiagų balanso, biogeocheminių procesų vertinimui.

II dalis:

**1.3 veikla.** Atlikti maistingųjų medžiagų balanso vertinimui reikalingų fizikinių-cheminių, biologinių parametrų bei procesų tyrimus, apimančius ne mažiau kaip vieno metų ciklą.

**1.4 veikla.** Pateikti mėginių paėmimo, matavimų, laboratorinių analizių metodikas ir susijusią informaciją dėl tyrimų kokybės užtikrinimo

**2 uždavinys.** Remiantis atliktais lauko tyrimais bei biogeocheminių, hidrodinaminių ir nešmenų transporto modelių skaičiavimų rezultatais, įvertinti antrinės (iš dugno nuosėdų) taršos poveikį Kuršių marių maistingųjų medžiagų balansui.

2 uždavinys apima šias veiklas:

**2.1 veikla.** Modelio paruošimas Kuršių marių dugno nuosėdų maistingųjų medžiagų ir jų poveikio Kuršių marių ekosistemai vertinimui.

**2.2 veikla.** Įvertinti maistingųjų medžiagų koncentracijas skirtinguose dugno nuosėdų tipuose.

**2.3 veikla.** Įvertinti maistingųjų medžiagų koncentracijas vandenyje.

**2.4 veikla.** Įvertinti fizikines-chemines, biologines sąlygas ir jų įtaką maistingųjų medžiagų srautams tarp nuosėdų (vertinimas turi atsižvelgti ir į skirtingus dugno nuosėdų tipus) ir vandens stovymės.

**3 uždavinys.** Pateikti rekomendacijas monitoringo programai siekiant įvertinti maistingųjų medžiagų dugno nuosėdose įtaką vandens kokybei.

3 uždavinys apima šias veiklas:

**3.1 veikla.** Pasiūlyti Kuršių marių dugno nuosėdų optimalių tyrimų vietų skaičių ir tyrimų atlikimo dažnumą per metus.

**3.2 veikla.** Pasiūlyti tiriamus parametrus, reikalingus vertinant maistingųjų medžiagų įtaką Kuršių marių vandens kokybei.

**3.3 veikla.** Pasiūlyti priemones Kuršių marių maistingųjų medžiagų antrinės taršos poveikio Kuršių marių ekosistemai mažinti.

**3.4 veikla.** Atlikti priemonių pasiūlytų pagal 3.3 veiklą efektyvumo, siekiant sumažinti antrinės taršos poveikį, vertinimą ir pateikti preliminarių kaštų naudos analizę.

Atasakaitą sudaro 4 skyriai. I skyriuje nagrinėjama iki šiol atlikti dugno nuosėdų biogenu tyrimai bei jų rezultatai, aptariamoms modelių taikymo galimybės bei matuotinių rodiklių sąrašas. II skyrius skirtas lauko tyrimams. Čia pateikiamos tyrimų metodikos bei apibendrinami lauko tyrimų rezultatai. III skyriuje pateikiamas galutinis dugno maisto medžiagų vaidmens įvertinimas, gautas remiantis modeliavimo ir lauko tyrimų rezultatais. IV skyriuje pateikiamos rekomendacijos monitoringui bei priemonės Kuršių marių būklės gerinimui.

## **I skyrius. ESAMOS SITUACIJOS ANALIZĖ**

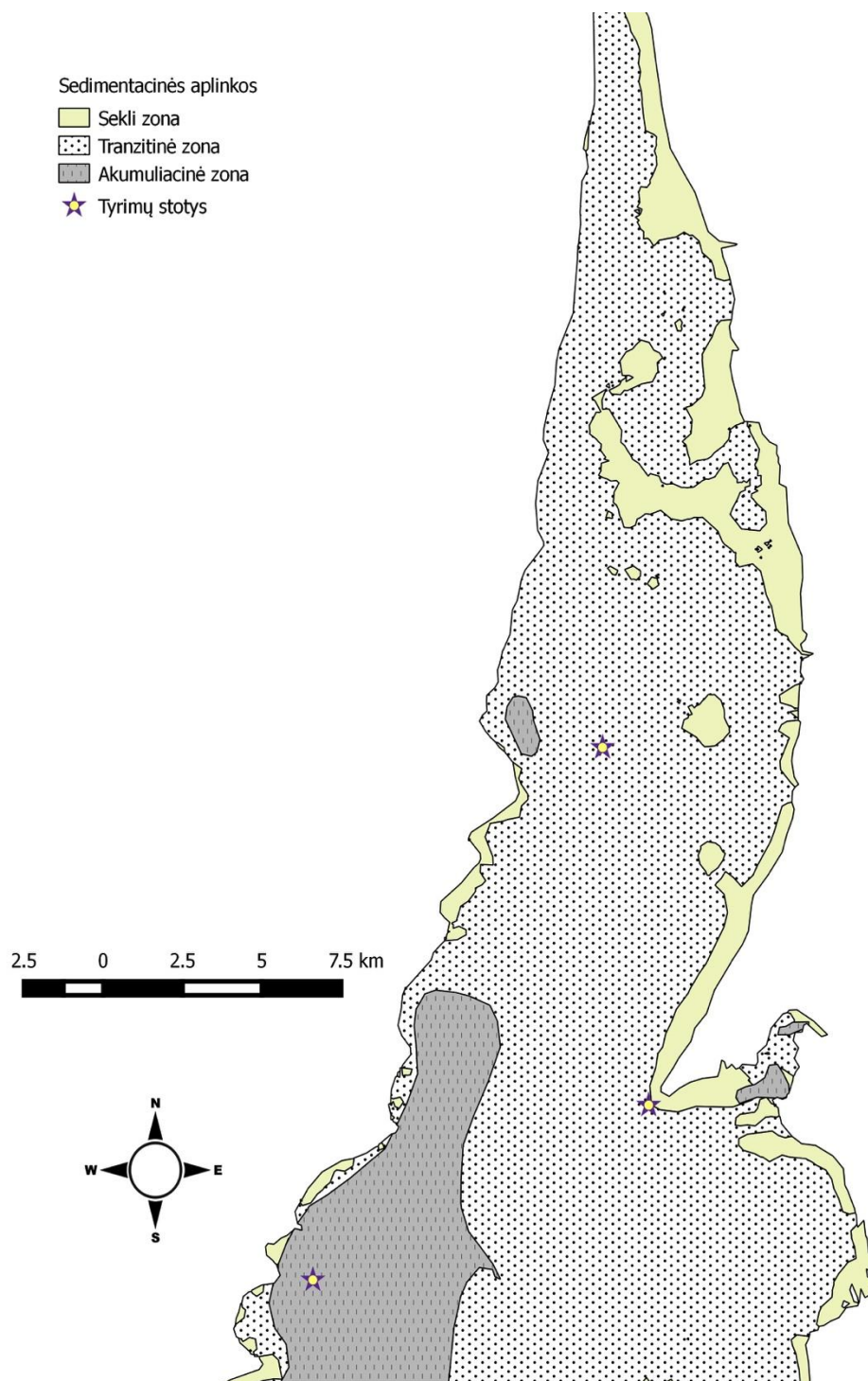
### **ĮVADAS**

Šiame skyriuje pateikiamas 1 uždavinio „Atlikti biogeocheminius tyrimus, reikalingus vertinant maistingųjų medžiagų kiekius Kuršių marių dugno nuosėdose ir jų poveikį medžiagų balansui“. I dalies rezultatai. Jis apima 1.1, 1.2 veiklas numatytas įvadinėje ataskaitoje ir remiasi I tarpinėje ataskaitoje pateikta medžiaga.

Skyrius parengtas pagal šiuo metu publikuotus rezultatus moksliniuose leidiniuose ir vykdytų „COCOA“ (BONUS EEIG, 2014–2015 m.), „ANOKSIJA“ (Postdoc projektas, 2012–2014 m.), „CISOCUR“ (Visuotinė dotacija, LMT, 2012–2015 m.) ir „AMBER“ (BONUS ERA-NET PLUS, 2011–2012 m.) projektų ataskaitas. Jose pateikiamas 2009 ir 2013 metais nustatytų maistmedžiagų koncentracija paviršinėse Kuršių marių dugno nuosėdose. Nuo 2009 metų vykdomų tyrimų, pagrindu pateikiamas biologinių, fizinių-cheminių aplinkos veiksnių poveikio maistmedžiagų biogeocheminiams virsmams ir judrumui nuosėdose vertinimas. Apibendrinus surinktą informaciją ir atsižvelgiant į projekte taikomo matematinio modelio SHYFEM naudojamus parametrus, yra pateikiamas trūkstamų duomenų ir tyrimų poreikis.

### **1.1 PAGRINDINĖS KURŠIŲ MARIŲ DUGNO SEDIMENTACINĖS APLINKOS**

Kuršių marių dugno nuosėdų vaidmuo sulaikant ar išskiriant azotą (N) ir fosforą (P) tyrinėjamas nuo 2009 metų, taikant nesuardytos struktūros nuosėdų kolonėlių inkubaciją, izotopų poravimo metodus, porinio vandens ekstrakcijos ir profiliavimo metodus. Per šį laikotarpį tyrimai buvo atlikti tiek sekliose, tiek ir giliose marių vietose, apimančiose skirtingus nuosėdų tipus (dumblą, dumblingą smėlį ir smėlį). Siekiant supaprastinti biogeocheminius tyrimus ir gautų rezultatų interpretavimą, ankstesnių darbų metu, atsižvelgus į visų Kuršių marių kompleksiskumą pagal hidrodinamiką, gylį, granulometriją yra išskirtos trys vyraujančios sedimentacinės aplinkos visam plotui (Pustelnikovas ir Gulbinskas 2002; Ferrarin et al. 2008; Zilius et al. 2014): akumuliacinė, tranzitinė ir sekli (1.1 pav., 1.1 lentelė). Šiose aplinkose pastaraisiais metais atliekami pagrindiniai fundamentiniai maistmedžiagių virsmų ir apykaitos tarp dugno nuosėdų ir priedugnio vandens tyrimai (Zilius 2011; Zilius et al. 2012a,b; Zilius et al. 2014, 2015; Zilius, priduta spaudai.).



**1.1 pav.** Kuršių marių (Lietuvos Respublikos dalies) žemėlapis su išskirtomis sedimentacinėmis aplinkomis. Žvaigždutės identifikuoja tyrimo stotis, kuriose buvo atliktas maistmedžiagių koncentracijos dugno nuosėdose ir jų apykaitos tarp nuosėdų ir priedugnio vandens vertinimas.

Akumuliacinė aplinka yra sutinkama centrinėje - pietvakarinėje marių dalyje, kurioje vandens masių apykaitos laikas didelis (> 100 dienų), chlorofilo *a* koncentracija didžiausia, o dugno nuosėdas įprastai sudaro smulkus dumblas ( $Md=0,048$  mm; Giardino et al. 2010; Zilius et al. 2014). Smulkiausios dalelės dažniausiai klostomos giliausiose dugno vietose, kur vyksta santykinai intensyvi sedimentacija dėl fitoplanktono produkcijos. Nusėdusi organinė medžiaga ant nuosėdų paviršiaus suintensyvina tenai vykstančius biogeocheminius maistmedžiagių virsmus, tokius kaip mineralizaciją, denitrifikaciją ar fosforo atsipalaidavimą (Zilius 2011; Zilius et al. 2012a, 2014, 2015).

**1.1 lentelė.** Pagrindinės maistmedžiagių tyrimo vietų charakteristikos ir dugno tipų užimamas plotas visose Kuršių mariose (Lietuvos Respublikos ir Rusijos federacijos teritorija).

Zona	Gylis	Nuosėdų tipas	Vandens užsistovėjimo laikas	Užimamas plotas mariose
Akumuliacinė	3,5 m	Dumblas	>100 d.	45 %
Tranzitinė	1,5 m	Smulkus smėlis	<40 d.	54 %
Sekli	0,5–1,0 m	Smulkus smėlis	<40 d.	1 %

Tranzitinė aplinka yra šiaurinėje marių dalyje, kuri yra nuolat veikiamą Nemuno prietakos ir retkarčiais jūrinio vandens įsiveržimo iš Baltijos jūros. Ši zona pasižymi trumpu vandens masių apykaitos laiku ir dideliu dugno šlities koeficientu (Ferrarin et al. 2008; Razinkovas asm. praneš.), ribojančiais organinės medžiagos kaupimais dugno nuosėdose. Todėl daugiausia vyrauja smulkaus smėlio nuosėdos ( $Md=0,171$  mm; Zilius et al. 2014). Priklausomai nuo metų laikotarpio, fotosintetiškai aktyvi radiacija (PAR) šioje aplinkoje gali prasiskverbti pro vandens storumę iki pat dugno nuosėdų paviršiaus. Besikeičiantis PAR intensyvumas priedugnio sluoksnyje, reikšmingai veikia maistmedžiagių biogeocheminius virsmus ir jų apykaitos kryptį (Zilius et al. 2012b).

Sekli aplinka yra viena iš negiliausių ir tinkamiausių aplinkų bentosiniams producentams funkcionuoti (pvz., mikrofitobentosui). Jų suformuota bioplėvelė nuosėdų paviršiuje funkcionuoja tarsi filtras, sulaikantis maistmedžiagių patekimą į vandens storumę. Nors dugno nuosėdos čia apšviestos ištisu metus, tačiau PAR intensyvumas priklauso nuo fitoplanktono žydėjimo masto ir pasikartojančios nuosėdų resuspensijos dėl vėjo sukeltų bangų.

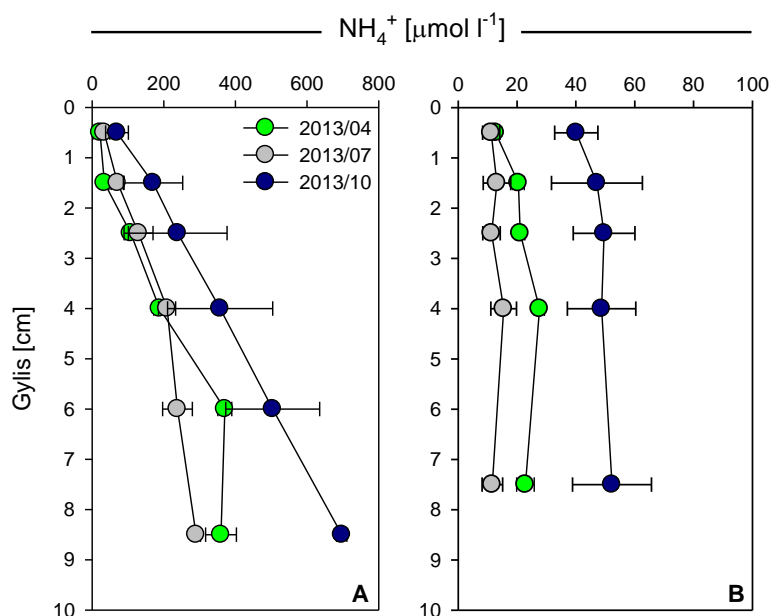
Atsižvelgiant į duomenų prieinamumą ir išsamumą ir į tai, kad sekli zona užima labai mažą Kuršių marių paviršiaus plotą, tolimesnė apžvalga apie maistmedžiagių koncentracijas nuosėdose ir jų poriniame vandenyje apima tik akumuliacinę ir tranzitinę aplinką.

## 1.2. MAISTMEDŽIAGIŲ PASISKIRSTYMAS DUGNO NUOSĖDOSE

Maistmedžiagės dugno nuosėdose gali būti tiek neorganinių, tiek ir organinių junginių sudėtyje, kurie yra ištirpę poriniame vandenyje arba chemiškai susijungę į mineralinius kompleksus su nuosėdų dalelėmis. Ištirpusios organinės ir neorganinės maistmedžiagės nuosėdų poriniame vandenyje yra vienas aktualiausių antrinės taršos šaltinių estuarinėse sistemose. Priklausomai nuo vyraujančių sezoninių fiziko-cheminių ir biologinių procesų taip pat ir fizinės apykaitos (difuzijos, advekcijos ir resuspensijos bei sedimentacijos) tarp dugno nuosėdų ir priedugnio vandens maistmedžiagės gali būti pernešamos į vandens storumę ir iš vandens storumės į dugno nuosėdas.

### 1.2.1. Amonis poriniame vandenyje

2013 metais matuoti sezoniniai amonio azoto ( $\text{NH}_4^+$ ) koncentracijos pokyčiai nuosėdų poriniame vandenyje parodo, kad ši N cheminė forma intensyviausiai kaupiasi smulkaus dumblo nuosėdose, esančiose akumuliacinėje Kuršių marių zonoje (1.2A pav.). Šiose nuosėdose  $\text{NH}_4^+$  koncentracija poriniame vandenyje palaipsniui didėjo su nuosėdų gyliu iki  $711,3 \mu\text{mol l}^{-1}$ .



**1.2 pav.** Vidutinė ( $\pm\text{SN}$ ,  $n=3$ ) amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) koncentracija paviršinėse Kuršių marių dugno nuosėdų poriniame vandenyje skirtingais tyrimo sezonais 2013 metais: A) smulkaus dumblo nuosėdose, B) smėlio nuosėdose.

Smėlio poriniame vandenyje  $\text{NH}_4^+$  koncentracija buvo ženkliai mažesnė nuo  $2,9 \mu\text{mol l}^{-1}$  iki  $73,9 \mu\text{mol l}^{-1}$  (2B pav.). Skirtingai nei dumblo nuosėdose,  $\text{NH}_4^+$  koncentracija smėlio poriniame vandenyje buvo tolygiai pasiskirsčiusi visame viršutiniame 10 cm sluoksnyje.

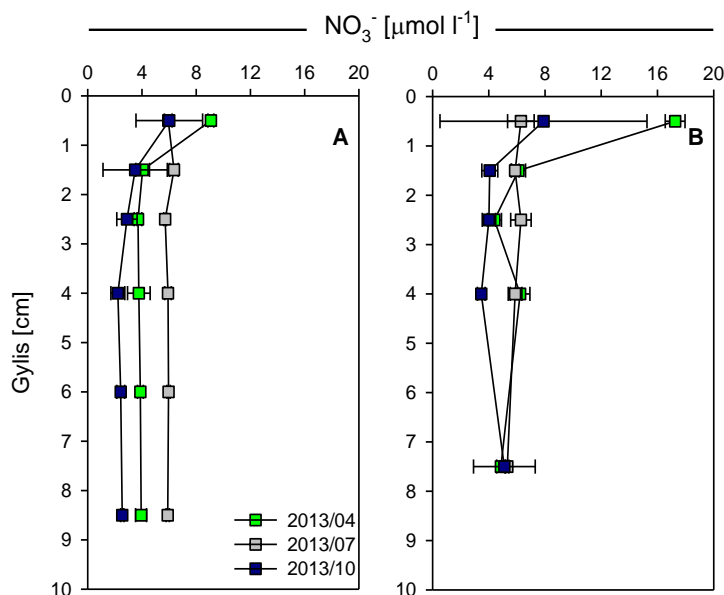
Pavasario–vasaros periodu  $\text{NH}_4^+$  koncentracija nuosėdų poriniame vandenyje mažai kito abiejose tirtose marių zonose, o rudenį – padidėjo iki 2 ir 3,5 karto, atitinkamai smulkaus dumblo ir smėlio zonose, lyginant su vasara.

Vykstant adsorbcijos procesams nuosėdose, dalis  $\text{NH}_4^+$  ištirpusio poriniame vandenyje jungiasi su šalia esančiomis molio dalelėmis. Šis  $\text{NH}_4^+$  kompleksas, esantis ištirpusioje ir absorbuotoje formoje bendrai vadinamas apykaitiniu amoniu ( $\text{NH}_4^+_{\text{eks}}$ ). 2009 metais atlikti tyrimai rodo, kad Kuršių mariose  $\text{NH}_4^+_{\text{eks}}$  koncentracija dugno nuosėdose pasiskirsto panašiai kaip ir  $\text{NH}_4^+$  poriniame vandenyje. Didžiausia  $\text{NH}_4^+_{\text{eks}}$  koncentracija buvo nustatyta dumblyje ( $0.83 \pm 0.41 \mu\text{mol NH}_4^+ \text{ cm}^{-3}$ ), tuo tarpu smėlyje iki 7 kartų mažesnė ( $0.12 \pm 0.08 \mu\text{mol NH}_4^+ \text{ cm}^{-3}$ ). Taip pat nustatyta, kad  $\text{NH}_4^+_{\text{eks}}$  kiekis dumblo nuosėdose didėja į gylį, tuo tarpu smulkaus smėlio nuosėdose viršutiniame 10 cm sluoksnyje jis pasiskirsto tolygiai.

Zilius (2011) pateikia, kad dalis  $\text{NH}_4^+$ , esančio dumblo ir smėlio poriniame vandenyje dėl difuzijos ir advekcijos transporto ar resuspensijos gali būti pernešamas į priedugnio vandenį arba pačiose nuosėdose susirišti su molio dalelėmis.

### 1.2.2. Nitratai ir nitritai poriniame vandenyje

Ištirpęs neorganinis N gali būti sutinkamas ir oksiduotoje cheminėje formoje – nitritų ir nitratų sudėtyje ( $\text{NO}_x^-$ ). Lyginant su amoniu,  $\text{NO}_x^-$  koncentracija yra iki 20 kartų mažesnė nuosėdų poriniame vandenyje (1.3 pav.).



**1.3 pav.** Vidutinės ( $\pm\text{SN}$ ,  $n=3$ ) suminė nitritų ir nitratų ( $\text{NO}_x^-$ ) koncentracijos vertikalus pasiskirstymas Kuršių marių dugno nuosėdų poriniame vandenyje skirtingais tyrimo sezonais 2013 metais: A) smulkaus dumblo nuosėdose, B) smėlio nuosėdose.

Nustatyta, kad tiek nitritai, tiek ir nitratai labiausiai kaupiasi paviršiniame marių nuosėdų sluoksnyje (0–2 cm). Didžiausia  $\text{NO}_x^-$  koncentracija poriniame vandenyje buvo išmatuota pavasarį abiejuose tyrimo zonose, likusiais metų sezonais ji ženkliai sumažėdavo. Priešingai nei  $\text{NH}_4^+$  pasiskirstymo tendencijos, didžiausia  $\text{NO}_x^-$  koncentracija nuo 3,6 iki 26,9  $\mu\text{mol l}^{-1}$  buvo nustatyta smulkaus smėlio nuosėdose, tranzitinėje zonoje (1.3B pav.). Giliau nei 2 cm,  $\text{NO}_x^-$  koncentracija

visada būdavo ženkliai mažesnė (1.3A pav.). Tuo tarpu akumuliacinėje aplinkoje, kurioje dažnai susidaro deguonies trūkumas,  $\text{NO}_x^-$  koncentracija dumblo poriniame vandenyje retai kada viršydavo  $7 \mu\text{mol l}^{-1}$ .

Kuršių marių nuosėdų poriniame vandenyje  $\text{NO}_3^-$  yra pagrindinė (>70 %) oksiduoto azoto forma.

### 1.2.3. Dalelinis organinis azotas nuosėdose

Kuršių mariose N susijęs su organine medžiaga labiausiai kaupėsi dumblo nuosėdose, kuriose jo kiekis sudarydavo iki 1,83 % sausos nuosėdų masės (1.2 lentelė). Penkiasdešimt kartų mažesnis dalelinio N kiekis buvo sutinkamas tranzitinės zonos smėlyje. 2013 metais abiejose tirtose dugno nuosėdose, dalelinio N kiekis mažiausias buvo vasarą.

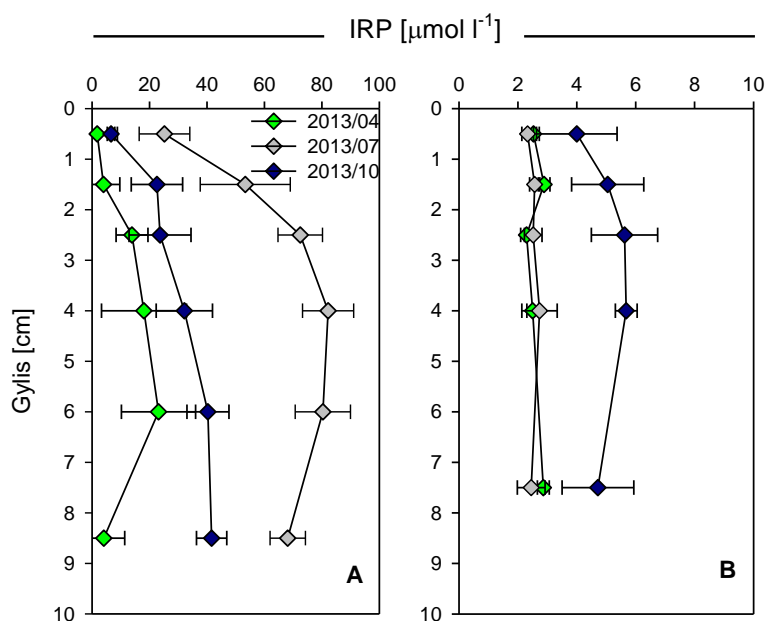
**1.2 lentelė.** Dalelinio azoto kiekis (%) nuosėdų paviršiuje (0–2 cm) akumuliacinėje ir tranzitinėje zonoje gegužę, liepą ir rugsėjį 2013 metais

Zona	Data	Vidurkis $\pm$ SN	Min.	Maks.
Akumuliacinė	2013/05	1,78 $\pm$ 0,06	1,73	1,84
	2013/07	1,59 $\pm$ 0,15	1,44	1,75
	2013/09	1,68 $\pm$ 0,06	1,61	1,72
Tranzitinė	2013/05	0,03 $\pm$ 0,00	0,02	0,03
	2013/07	0,01 $\pm$ 0,00	0,01	0,01
	2013/09	0,03 $\pm$ 0,00	0,03	0,04

### 1.2.4. Ištirpęs reaktyvus fosforas

Didesni ištirpusio reaktyviojo fosforo (IRP) kiekiai buvo susikaupę marių dumble (1.4A pav.), kuriame koncentracija palaipsniui didėjo į nuosėdų gylį iki  $91.6 \mu\text{mol l}^{-1}$ . Šiose dugno nuosėdose IRP koncentracija būdavo iki 2 kartų didesnė vasaros metu, lyginant su pavasariu ir rudeniu. Smėlio poriniame vandenyje IRP koncentracija buvo nuo 2,8 iki  $6,9 \mu\text{mol l}^{-1}$  visame tirtame nuosėdų sluoksnyje (1.4B pav.). Pavasario – vasaros sezonais IRP koncentracija beveik nekito, tačiau vėliau, rudenį padidėjo beveik 2 kartus.

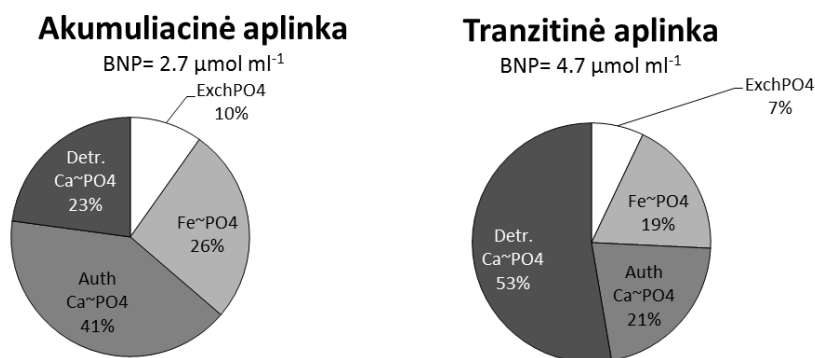
IRP koncentracijos gradientas tarp nuosėdų ir priedugnio vandens parodė, kad fosforas buvo visada transportuojamas iš dugno nuosėdų į priedugnio vandenį (išskyrus atvirų marių nuosėdas rudenį).



**1.4 pav.** Vidutinės ( $\pm$ SN,  $n=3$ ) ištirpusio reaktyvaus fosforo (IRP) koncentracijos vertikalus pasiskirstymas Kuršių marių dugno nuosėdų poriniame vandenyje skirtingais tyrimo sezonais 2013 metais: A) smulkas dumblo nuosėdose, B) smėlio nuosėdose.

#### 1.2.5. Nuosėdose surištas neorganinis fosforas

Bendras neorganinis P (BNP) yra vienas iš pagrindinių IRP šaltinių estuarijų nuosėdose. 2013 metais atlikti tyrimai rodo, Kuršių mariose didesnis BNP kiekis nustatytas smėlyje, esančiame tranzitinėje aplinkoje (1.5 pav.).



**1.5 pav.** Bendro neorganinio fosforo (BNP) cheminės formos ir jų procentinė sudėtis paviršinėse Kuršių marių nuosėdose (0–2 cm). Vidutinis variacijos koeficientas yra 23%. TIP yra bendras neorganinis fosforas. Exch PO<sub>4</sub> - lengvai absorbuotas reaktyvus fosforas (IRP), Fe~PO<sub>4</sub> - IRP surištas su geležimi, Auth Ca~PO<sub>4</sub> - IRP surištas su kalcio autogeniniu mineralu (apatitu arba karbonatu) ir Detr. Ca~PO<sub>4</sub> - IRP yra surištas su kalcio mineralu detritinėje formoje.

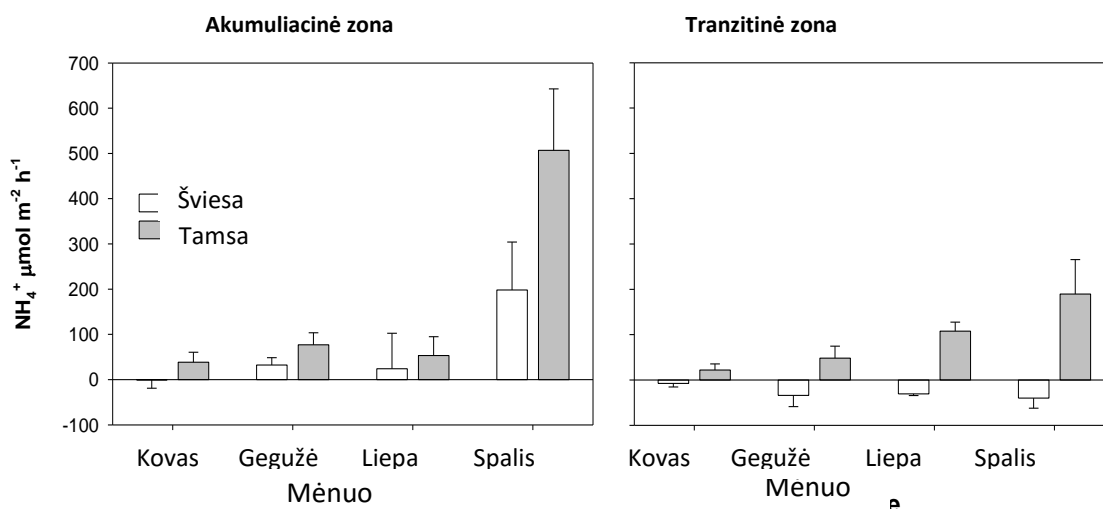
Tuo tarpu dumble BNP koncentracija buvo 2 kartus mažesnė. Detali cheminė ekstrakcija parodė, kad didesnė BNP dalis (>40 %) glūdi detritinėje formoje, kurioje IRP yra surištas su kalcio mineralu (Detr. Ca~PO<sub>4</sub>). Pagrindinis šios cheminės P formos šaltinis yra kristalinės uolienos erozija žemyninėje dalyje ir tolimesnė pernaša su upėmis į marias. Įprastai ši P forma yra

nereaktyvi ir biologiškai neprieinama gyviesiems organizmams. Tačiau kitos BNP formos, tokios kaip silpnai absorbuota (Exch  $\text{PO}_4$ ), geležies ( $\text{Fe}\sim\text{PO}_4$ ) ir kalcio autogeninio mineralo (Auth  $\text{Ca}\sim\text{PO}_4$ ) surištos, yra labiau reaktyvios. Dėl pasikeitusio pH, redukcinių-oksidacinių sąlygų, druskingumo ar kitų veiksnių įtakojančių diagenetinius procesus IRP gali būti iš jų atpalaiduojamas. Atsižvelgiant į reaktyvių BNP formų procentinę sudėtį, dumblo nuosėdose ir smėlyje atitinkamai yra 59 % ir 47 % BNP. Vadinas, dumblo nuosėdose yra santykinai daugiau reaktyvaus fosforo kuris gali atsipalaiduoti iš mineralinių formų ir dėl difuzinio ar advekcinio transporto būti pernešamas į vandens storumę.

### 1.3. APYKAITA TARP VANDENS STORYMĖS IR DUGNO NUOSĖDŲ

#### 1.3.1. Amonio apykaita tarp nuosėdų ir priedugnio vandens

Remiantis 2009 metų matavimais, galime teigti  $\text{NH}_4^+$  bendros apykaitos tamsoje greičiai tamsoje reikšmingai skiriasi tarp tyrimo vietų ir sezonų (Zilius, 2011). Šių tyrimų metu nustatyta, kad vyraujančiose dugno aplinkose sezoniškumas yra svarbiausias faktorius, lemiantis  $\text{NH}_4^+$  apykaitos greitį ir kryptį ( $-67,2\text{--}741,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ) tarp nuosėdų ir priedugnio vandens (1.6 pav.).



**1.6 pav.** Vidutiniai ( $\pm\text{SN}$ ,  $n=5$ ) bendrosios amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) apykaitos greičiai šviesoje (balti stulpeliai) ir tamsoje (pilki stulpeliai) akumuliacinėje ir tranzitinėje zonoje kovą, gegužę, liepą ir spalį 2009 metais. Teigiama reikšmė reiškia  $\text{NH}_4^+$  atsipalaidavimą iš nuosėdų į vandenį, neigiama – transportą iš vandens į dugno nuosėdas.

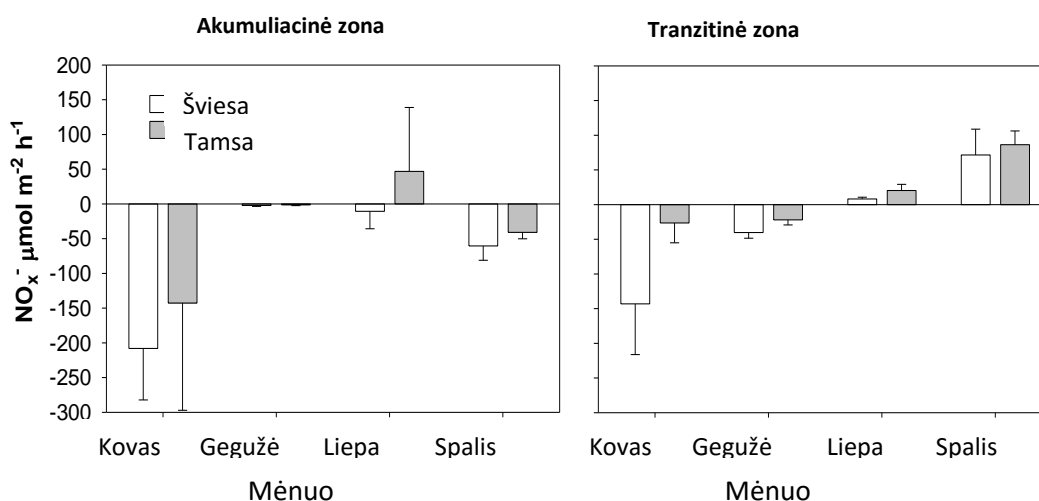
Akumuliacinėje aplinkoje  $\text{NH}_4^+$  bendros apykaitos tamsoje greičiai tamsoje buvo panašūs pavasario–vasaros laikotarpiu ( $54,0\pm 33,3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ), tačiau rudenį reikšmingai padidėjo iki 9 kartų ( $506,7\pm 135,9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ), nepaisant mažėjančios vandens temperatūros (Zilius, 2011). Panaši  $\text{NH}_4^+$  apykaitos tendencija tarp nuosėdų ir priedugnio vandens buvo stebima ir tranzitinėje aplinkoje.

2009 metais išmatuoti bendrosios  $\text{NH}_4^+$  apykaitos greičiai tamsoje ir šviesoje skyrėsi tyrimo metu (dvifaktorinė ANOVA,  $p<0,05$ , išskyrus kovą ir liepą). Tačiau apšviestumo sąveika

su vietos faktoriumi parodė, kad šviesos įtaka  $\text{NH}_4^+$  apykaitos greičiams priklausė ir nuo tyrimo vietos. Todėl sekliose smėlio nuosėdose  $\text{NH}_4^+$  asimiliacija šviesoje iš priedugnio vandens padidėdavo iki  $-77,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{h}^{-1}$ . Šviesa mažai veikė  $\text{NH}_4^+$  apykaitos greičius giliau esančiose dumblo nuosėdose, nors, kai kuriais sezonais,  $\text{NH}_4^+$  buvo asimiliuojamas ir jų paviršiuje dėl nusėdusių fitoplanktono ląstelių (1.6 pav.).

### 1.3.2. Nitratų ir nitritų apykaita tarp nuosėdų ir priedugnio vandens

Išmatuotas bendrosios  $\text{NO}_x^-$  apykaitos greitis tamsoje kito nuo  $-400,7$  iki  $179,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{h}^{-1}$  marių vyraujančiose nuosėdose (1.7 pav.). Sezoniškumas buvo vienas iš svarbiausių faktorių, lėmusių apykaitos greitį tarp dugno nuosėdų ir priedugnio vandens. Šaltuoju metų periodu marių dugno nuosėdos funkcionavo kaip akumuliacinė zona upių atneštam  $\text{NO}_x^-$ , o vasarą – kaip šaltinis priedugnio vandeniui. Tačiau sezono ir vietos faktoriaus sąveika (dvifaktorinė ANOVA,  $p < 0,001$ ) parodė skirtingas apykaitos tendencijas tarp nuosėdų ir priedugnio vandens tyrimo stotyse.



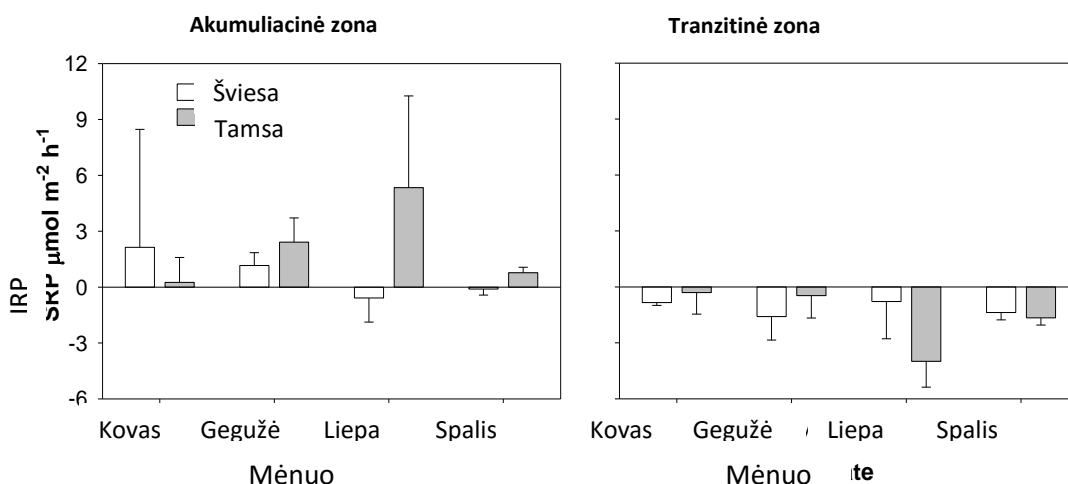
**1.7 pav.** Vidutiniai ( $\pm$ SN,  $n=5$ ) bendrosios nitratų ir nitritų ( $\text{NO}_x^-$ ) apykaitos greičiai šviesoje (balti stulpeliai) ir tamsoje (pilki stulpeliai) atvirų marių dumble ir dumblėtame smėlyje kovą, gegužę, liepą ir spalį 2009 metais. Teigiama reikšmė reiškia  $\text{NO}_x^-$  atsipalaidavimą iš nuosėdų į vandenį, neigiama – transportą iš vandens į dugno nuosėdas.

2009 metais statistiškai reikšmingi ( $p < 0,05$ ) skirtumai tarp  $\text{NO}_x^-$  apykaitos greičių šviesoje ir tamsoje buvo nustatyti tik kovo ir spalio mėnesį. Apšviestumo ir vietos faktorių sąveika parodė, kad šviesos įtaka  $\text{NO}_x^-$  apykaitos greičiams tarp dugno nuosėdų ir priedugnio priklauso nuo tyrimo vietos vandens priklausė nuo tyrimo vietos (1.7 pav.).

### 1.3.3. Ištirpusio reaktyviojo fosforo apykaita tarp nuosėdų ir priedugnio vandens

Apibendrinus 2009 metų tyrimus akivaizdu, kad IRP bendrosios apykaitos greičiai tamsoje reikšmingai ( $p < 0,05$ ) skyrėsi tarp tyrimo vietų (Zilius, 2011); smėlio nuosėdos funkcionavo kaip akumuliacinė aplinka IRP ( $-6,0$ – $0,1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ), o atvirų marių dumblas kaip šaltinis

priedugnio vandeniui (iki  $11,8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ) (1.8 pav.). Iš pastarųjų nuosėdų IRP išsiskyrimas didėjo nuo pavasario iki vasaros (nuo  $0,3 \pm 1,3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{h}^{-1}$ , kovo mėnesį, iki  $5,1 \pm 5,2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{h}^{-1}$  liepą). Rudenį IRP išsiskyrimo greitis sumažėjo apie 6 kartus, iki  $0,8 \pm 0,3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{h}^{-1}$ .



**1.8 pav.** Vidutiniai ( $\pm\text{SN}$ ,  $n=5$ ) bendrosios ištirpusio reaktyvaus fosforo (IRP) apykaitos greičiai šviesoje (balti stulpeliai) ir tamsoje (pilki stulpeliai) atvirų marių dumble (kairėje) ir dumblėtame smėlyje (dešinėje) kovą, gegužę, liepą ir spalį 2009 metais. Teigiama reikšmė reiškia IRP atsipalaidavimą iš nuosėdų į vandenį, neigiama – transportą iš vandens į dugno nuosėdas.

Ankstesni tyrimai parodė, kad apykaitos greičiai šviesoje ir tamsoje skyrėsi tik smėlio nuosėdose vasarą ir rudenį ( $p < 0,05$ , atitinkamai liepą ir spalį). Vis dėlto esant netgi ribotam dugno nuosėdų paviršiaus apšviestumui, IRP buvo asimiliuojamas.

#### 1.4. MAISTMEDŽIAGIŲ APYKAITOS PROCESŲ SEZONINIAI POKYČIAI

Ankstesni tyrimai parodė, kad nuo temperatūros ir maistmedžiagų priklausanti sezoninė chlorofilo *a* dinamika vandenyje yra vienas iš svarbiausių aplinkos veiksnių, reguliuojančių maistmedžiagų apykaitos procesus (Zilius 2011; Zilius et al. 2014).

Ankstyvą pavasarį dėl ištirpusio ledo ir upių atneštų maistmedžiagų prasideda pavasarinis diatominių dumblių žydėjimas, tuo pat metu ir jų sedimentacija. Didžioji dalis ant nuosėdų paviršiaus susikaupusių ląstelių išlieka gyvos ir, tikėtina, kad gali tęsti maistmedžiagų asimiliaciją iš priedugnio vandens (Zilius 2011; Sundbäck asm. praneš.). Išmatuoti maistmedžiagų apykaitos greičiai šviesoje ir tamsoje patvirtina faktą, kad fiziologiškai aktyvios diatomų ląstelės gali asimiliuoti upių atneštas maistmedžiagas iš priedugnio vandens (ypač šviesoje padidėdavo  $\text{NH}_4^+$  ir  $\text{NO}_x^-$  asimiliacija).

Vidurvasarį (liepą) išskirtinai akumuliacinėje marių aplinkoje didesnė fitoplanktono produkcija lemia intensyvesnę organinės medžiagos sedimentaciją ir vandenyje ištirpusio deguonies ( $\text{O}_2$ ) suvartojimą nuosėdose. Padidėjęs  $\text{O}_2$  suvartojimas dumblo nuosėdose akivaizdžiai gali sumažinti oksinio sluoksnio storį, taip pagreitindamas IRP išsiskyrimą iš nuosėdų. Žinoma, kad eutrofikuotose vandens telkiniuose tokia tarpusavyje susijusių procesų seka, kaip padidėjęs

organinės medžiagos kaupimasis nuosėdose → sumažėjęs  $O_2$  įsiskverbimas į nuosėdas → padidėjęs P išsiskyrimas į vandenį, gali suintensyvinti melsvabakterių žydėjimą (Vahtera et al. 2007). Išsamesni tyrimai parodė, kad šios „savarankiškai funkcionuojančios sistemos“ efektyvumas mariose labiausiai priklauso nuo dugno nuosėdų biogeocheminių savybių, kurias nulemia elektronų akceptoriai ir jų prieinamumas biogeocheminių procesų (mineralizacijos, oksidacijos) metu, tai yra  $O_2$ ,  $NO_3^-$ ,  $Mn^{4+}$  arba  $Fe^{3+}$  (Zilius et al. 2015). Dėl to ploname sluoksnyje, nuosėdų paviršiuje veikiantis  $O_2$ ,  $Mn^{4+}$  ir  $Fe^{3+}$  kompleksas, funkcionuoja kaip P gaudyklė, ribojanti jo prietaką į vandens storumę.

Marių dumble nusėdęs fitodetritas yra greitai mineralizuojamas, o šio proceso metu susidaręs amonis taip pat išsiskiria iš nuosėdų ir kaupiasi priedugnio vandenyje, sąlygodamas didesnes  $NH_4^+$  koncentracijas. Tačiau šis apykaitos greitis priklauso nitrifikacijos proceso nuosėdose, kurio metu  $NH_4^+$  oksiduojamas iki nitritų arba nitratų (Zilius 2011).

Rudenį, nepaisant aktyvaus metabolizmo nuosėdose, vis dėlto maistmedžiagų akumuliacija poriniame vandenyje atvirų marių dumble sumažėjo. Viena iš galimų priežasčių galėjo būti porinio vandens išplovimas iš nuosėdų resuspensijos metu arba lėtesnė maistmedžiagų akumuliacija poriniame vandenyje sumažėjus temperatūrai. Kita vertus, didelės chlorofilo *a* koncentracijos nuosėdų paviršiuje ir intensyvi amonio apykaita rodo, kad rudenį nusėdusi organinė medžiaga buvo mineralizuojama paviršiniame nuosėdų sluoksnyje, o giliau nuosėdose metabolizmas ir maistmedžiagų akumuliacija buvo menki dėl žemos organinės medžiagos maistinės (Bartoli et al. priduota spaudai).

## 1.5. NUOSĖDŲ SVARBA DUGNO IR PELAGIALĖS APYKAITOJE

Kuršių marių dugno nuosėdų įtaka pašalinat N iš vandens tiesiogiai priklauso nuo  $NO_x^-$  koncentracijos. 2009 metų pavasario pabaigoje tranzitinės zonos smėlis dėl jose egzistuojančių mikrodumblių ir vykstančios denitrifikacijos galėjo akumuliuoti iki 80 %  $NO_x^-$  (1.10 pav.). Vasaros–rudens laikotarpiu esant mažai  $NO_x^-$  koncentracijai, vyraujančios marių nuosėdos jau funkcionavo kaip  $NO_x^-$  šaltinis priedugnio vandeniui (1.9 ir 1.10 pav.).

Bendro ištirpusio neorganinio azoto ( $INP=NH_4^+ + NO_x^-$ ) paros balanso skaičiavimas parodė, kad marių nuosėdos gali padidinti N koncentraciją iki 30 % per parą.

Nuosėdų įtaka pašalinant/praturtinant maistmedžiagėmis vandens storumę glaudžiai siejasi su vandens apykaitos greičiu (Nixon et al. 1996; Silvennoinen et al. 2008). Todėl akumuliacinėje aplinkoje, kurioje vandens apykaitos greitis - 100 dienų, dumblo nuosėdos gali būti svarbios kontroliuojant eutrofikacijos procesą. Nors vandens apykaitos greitis didesnis smėlio aplinkoje (Ferrarin et al. 2008), tačiau nedidelis gylis turi lemiamos reikšmės taip pat dugno ir pelagialės apykaitoje.

Kuršių mariose smėlio nuosėdos 2009 metais funkcionavo kaip akumuliacinė aplinka IRP, akumuliuodamos iki 4 % per parą (1.9 pav.), o dumblo nuosėdos buvo INP šaltinis priedugnio vandeniui (išskyrus tik ankstyvą pavasarį). Šiltuoju metų periodu marių akumuliacinėje aplinkoje INP koncentracijos vandens stovymėje per parą galėdavo padidėti iki 7 %. Tai galėjo turėti lemiamos reikšmės melsvabakterių žydėjimui, turint omenyje glaudų ryšį tarp maistmedžiagių ir chlorofilo *a* vandenyje (Langas et al. 2010). Apibendrinant nuosėdų vaidmenį dugno ir pelagialės apykaitoje akivaizdu, kad seklios Kuršių marių dugno aplinkos funkcionuoja kaip akumuliacinė aplinka maistmedžiagėms, o gilesnės - kaip šaltinis.

Reikia atkreipti dėmesį, kad čia pateikti įvertinimai yra paremti matavimais, atliktais ramiu oru ir neatsižvelgia į galimą maisto medžiagų apykaitą dėl resuspensijos, kada dėl vėjo bangų dalis dugno nuosėdų yra pakeliama į vandens stovymę kartu su jose esančiomis maisto medžiagomis. Patikimai įvertinti resuspensijos indėlių lauko tyrimo metodais yra labai sunku, tačiau tai galima atlikti naudojant matematinius modelius.

### AKUMULIACINĖ ZONA (3.0 M GYLIS/DUMBLAS)

	Pavasaris (Kovas)			Pavasaris (Gegužė)			Vasara (Liepa)			Ruduo (Spalis)		
<b>Paros pokytis</b>	7 %	-1 %	1 %	20 %	-2 %	7 %	18 %	12 %	43 %	31 %	-2 %	2 %
<b>Bendra apykaita</b>	0,92	3,43	0,01	1,85	0,03	0,06	1,28	1,12	0,13	12,20	0,98	0,02
<b>Nuosėdos</b>												
<b>Vandens stovymė</b>												

**1.9 pav.** Vidutinis (n=5) bendrosios maistmedžiagių apykaitos greitis (mmol m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) tamsoje tarp dugno nuosėdų ir priedugnio vandens, ir jos nulemtas maistmedžiagių koncentracijos pokytis (%) visoje vandens stovymėje (3 m) per parą. Rodyklės kryptis rodo apykaitos pobūdį, rodyklė nukreipta iš nuosėdų – išsiskyrimą ir akumuliacija vandenyje, rodyklė nukreipta į nuosėdas – asimiliacija. Rodyklės storis parodo apykaitos intensyvumą.

## TRANZITINĖ ZONA (1,5 M GYLIS/SMULKUS SMĖLIS)

	Pavasaris (Kovas)			Pavasaris (Gegužė)			Vasara (Liepa)			Ruduo (Spalis)		
<b>Paros pokytis</b>	-1 %	-2 %	-3 %	-6 %	-80 %	-4 %	5 %	5 %	-4 %	15 %	8 %	-7 %
<b>Bendra apykaita</b>	0,04	2,54	0,02	0,23	0,84	0,03	0,30	0,49	0,04	2,25	1,92	0,04
<b>Nuosėdos</b>												
	<b>Vandens storumė</b>											

**1.10 pav.** Vidutinis (n=5) bendrosios maistmedžiagių apykaitos greitis ( $\text{mmol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) tamsioje tarp dugno nuosėdų ir priedugnio vandens, ir jos nulemtas maistmedžiagių koncentracijos pokytis (%) visoje vandens storumėje (1.5 m) per parą. Rodyklės kryptis rodo apykaitos pobūdį, rodyklė nukreipta iš nuosėdų – išsiskyrimą ir akumuliacija vandenyje, rodyklė nukreipta į nuosėdas – asimiliacija. Rodyklės storis parodo apykaitos intensyvumą.

### 1.6. BENDRA MODELIO SHYFEM CHARAKTERISTIKA

Šio projekto tyrimuose naudojamą skaitinį modelį SHYFEM (Shallow water HYdrodynamic Finit Element Model) sudaro baigtinių elementų hidrodinaminis submodelis,

nuosėdų transporto submodelis, biogeocheminis submodelis AQUABC bei kiti submodeliai, kurių čia neaprašinsime, nes šiame projekte jų naudojimas nenumatomas. Visi submodeliai yra apjungti programinio kodo lygmenyje ir sudaro vieną kompiuterinę programą. Hidrodinaminis modelis SHYFEM yra sukurtas Venecijos jūrinių tyrimų institute (CNR-ISMAR) ir yra sėkmingai taikytas visai eilei jūros priekrantės teritorijų. Hidrodinaminių lygčių skaitiniam sprendimui yra naudojamas baigtinių elementų metodas, kuris leidžia naudoti teritoriškai kintamos raiškos gardeles, kas yra didelis privalumas modeliuojant procesus, vykstančius sudėtingos morfologijos priekrantės teritorijose. Modelis gali būti naudojamas kaip dvimatis ir trimatis. Jo programinė įranga yra atvirojo kodo ir ją galima be apribojimų atsisiųsti iš SHYFEM internetinio puslapio (S.HY.F.E.M Shallow water hydrodynamic model 2011). Šiame internetiniame puslapyje taip pat pateikiamas išsamus mokslinių publikacijų apie tyrimus atliktus su šiuo modeliu sąrašas bei modelio dokumentacija.

Modelis SHYFEM yra ne kartą taikytas Kuršių marioms ir Lietuvos Baltijos jūros priekrantei tiek kaip atskiras hidrodinaminis modelis tiek kartu su įvairiais ekologiniais modeliais (Daunys et al. 2006; Erturk et al. 2008; Ferrarin et al. 2008; Zemlys et al. 2008; Lietuvos jūrų išteklių darniojo valdymo sistema 2011).

## **1.7. BIOGEOCHEMINIO MODELIO AQUABC BENDRA CHARAKTERISTIKA**

Modelis AQUABC (Aquatic Biogeochemical Cycling) yra ekologinis modelis išvystytas Klaipėdos universiteto Baltijos pajūrio aplinkos tyrimų ir planavimo institute, bendradarbiaujant su Stambulo Technikos universitetu. AQUABC yra programinio kodo lygmenyje sujungtas su hidrodinaminiu modeliu SHYFEM ir naudoja pastarojo hidrodinaminių ir termodinaminių kintamųjų skaičiavimus. Šis modelis yra anksčiau Kuršių marioms taikytų ekologinių modelių (Zemlys et al. 2008; Erturk et al. 2008; Lietuvos jūrų išteklių darniojo valdymo sistema 2011) tolesnio vystymo rezultatas. Modelis turi pelaginių procesų bei dugno nuosėdose, vykstančių procesų submodelius. Pelaginės dalies modelio būsenos kintamųjų sąrašas pateiktas 3-je lentelėje, nuosėdų dalies – 4-je lentelėje.

Pelaginė modelio dalis aprašo šias pagrindines procesų grupes:

- keturių pagrindinių fitoplanktono grupių (diatamai, N nefiksuojančios melsvabakterės, N fiksuojančios melsvabakterės ir žaliadumbliai) augimas, kvėpavimas, ekskrecija, mirimas ir išėdimas (zooplanktono);
- zooplanktono augimas ir mirimas;
- azotą fiksuojančių bakterijų N<sub>2</sub> fiksacija;
- NH<sub>4</sub><sup>+</sup> nitrifikacija;
- detritinės dalelinės organinės medžiagos tirpimas;

- ištirpusios organinės medžiagos mineralizacija;
- skendinčių dalelių sedimentacija;
- visų modeliuojamų medžiagų pernaša dėl advekcijos ir turbulencinės difuzijos.

**1.3 lentelė.** Modelio AQUABC pelaginės dalies būsenos kintamųjų sąrašas

<b>Kintamojo nr.</b>	<b>Kintamojo pavadinimas</b>
1.	Diatominiai dumbliai
2.	N nefiksuojančios melsvabakterės
3.	N fiksuojančios melsvabakterės
4.	Kitos fitoplanktono rūšys (žaliadumbliai ir kt.)
5.	Zooplanktonas
6.	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
7.	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ir NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
8.	Ištirpęs organinis N
9.	Dalelių pavidalo organinis P
10.	Ištirpęs neorganinis P
11.	Ištirpęs organinis P
12.	Dalelių pavidalo organinis P
13.	Ištirpęs mineralinis Si
14.	Dalelių pavidalo organinis Si
15.	Ištirpusi neorganinė C
16.	Ištirpusi organinė C
17.	Dalelių pavidalo organinė C
18.	Šarmingumas
19.	O <sub>2</sub>

**1.4 lentelė.** Modelio AQUABC dugno nuosėdų dalies būsenos kintamųjų sąrašas

<b>Kintamojo nr.</b>	<b>Kintamojo pavadinimas</b>
1.	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> poriniame vandenyje
2.	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> poriniame vandenyje
3.	Ištirpęs organinis N poriniame vandenyje
4.	Dalelių pavidalo organinis N
5.	Ištirpęs neorganinis P poriniame vandenyje
6.	Ištirpęs organinis P poriniame vandenyje
7.	Dalelių pavidalo organinis P
8.	Ištirpęs mineralinis Si poriniame vandenyje
9.	Dalelių pavidalo organinis Si
10.	Ištirpusi neorganinė C poriniame vandenyje
11.	Ištirpusi organinė C poriniame vandenyje
12.	Dalelių pavidalo organinė C
13.	Šarmingumas
14.	O <sub>2</sub>
15.	Druskingumas

Modelyje yra įdiegta programa CO2SYS, kuri įgalina aprašyti CO<sub>2</sub> sistemą (pH, ištirpusi neorganinė anglis, šarmingumas). Modelis remiasi pastovia C, N ir P stochiometrija (Redfieldo) fitoplanktone bei zooplanktone.

Modelio dugno nuosėdų dalis aprašo šių biogeocheminių procesų grupes:

- NH<sub>4</sub><sup>+</sup> nitrifikacija, denitrifikacija,
- detritinės dalelinės organinės medžiagos tirpimas;
- ištirpusios organinės medžiagos mineralizacija;
- skendinčių dalelių sedimentacija;
- visų modeliuojamų medžiagų pernaša dėl advekcijos ir molekulinės difuzijos.

Pagal biogeocheminių procesų modeliavimo procedūros reikalavimus visi modelio būsenos kintamieji turi būti matuojami. Matavimų duomenys yra naudojami modelio parametrų (konstantų) kalibravimui bei modelio patikrai. Siekiant užtikrinti modelio patikimumą bei palengvinti patikrą bus matuojami ir svarbiausių procesų greičiai. Visų matuojamų rodiklių sąrašas pateiktas priede.

## 1.8. MODELIO AQUABC IŠPLĖTIMAS

Siekiant įvertinti maistingųjų medžiagų kiekius Kuršių marių dugno nuosėdose ir jų poveikį medžiagų balansui, į modelį būtina įtraukti papildomus procesus. Šie procesai yra maisto medžiagų patekimas į vandens storumę dėl resuspensijos bei maisto medžiagų surišimas ir iškritimas nuosėdų pavidalu dėl sąveikos su metalais bei jų atpalaidavimas dugno nuosėdose (adsorbcija, desorbcija).

Maisto medžiagų patekimo į vandens storumę dėl resuspensijos įvertinimui būtina modelį AQUABC susieti su nuosėdų transporto modeliu, kuris yra viena iš modelio SHYFEM sudėtinių dalių. Tam tikslui yra reikalingos tam tikros programinio kodo korekcijos, kurios bus atliktos šio projekto vykdymo metu, bei tam tikrų parametrų matavimai būtini nuosėdų transporto modelio kalibravimui, kurių sąrašas pateiktas 1.5 lentelėje.

**1.5 lentelė.** Papildomi būsenos kintamieji būtini maisto medžiagų patekimui į vandens storumę dėl resuspensijos modeliavimui.

Kintamojo nr.	Kintamojo pavadinimas
1.	Suspenduotų dalelių dydis (granulometrija)
2.	Suspenduotų dalelių koncentracija
3.	Dugno nuosėdų dalelių dydis (granulometrija)
4.	Dugno nuosėdų tankis
5.	Dugno nuosėdų poringumas

Maisto medžiagų surišimas ir iškritimas nuosėdų pavidalu dėl sąveikos su metalais bei jų atpalaidavimas dugno nuosėdose (adsorbicija, desorbicija) modeliavimui modelis AQUABC turi būti papildytas naujais būsenos kintamaisiais, kurių sąrašas pateiktas 1.6-je lentelėje ir modelio testavimui šie rodikliai turi būti matuojami.

**1.6 lentelė.** Papildomi būsenos kintamieji būtini maisto medžiagų patekimui į vandens stovymę dėl resuspensijos modeliavimui.

<b>Kintamojo nr.</b>	<b>Kintamojo pavadinimas</b>
1.	Al
2.	Ca
3.	Mg
4.	Fe (II/III)
5.	Mn (II/IV)
6.	Dalelių pavidalo neorganinis fosforas

## IŠVADOS

Atlikta Kuršių marių maistmedžiagių apykaitos tarp dugno nuosėdų ir vandens storumės analizė rodo, kad lauko tyrimai vykdyti ramiomis meteorologinėmis sąlygomis ir reprezentuoja daugiausia tik difuzinį ir advekcinį ištirpusių maisto medžiagų transportą tarp minėtų aplinkų. Nors ši informacija yra vertinga, norint susidaryti pilną vaizdą apie maistmedžiagių apykaitą, būtina atsižvelgti į maistmedžiagių transportą vykdomą dėl dalelinio pavidalo medžiagų sedimentacijos bei dėl dalelinio pavidalo ir ištirpusios medžiagų resuspendavimo vėjuotu orų laikotarpiu. Atsižvelgiant į ribotas galimybes šiuos procesus tirti lauko sąlygomis, pilnam apykaitos vaizdui susidaryti yra būtina taikyti matematinius modelius. Pasirinktas modelis su kuriuo bus tai atliekama yra modelis SHYFEM.

Kuršių mariose yra išskirtos trys vyraujančios sedimentacinės aplinkos akumuliacinė, tranzitinė ir sekli. Šiose aplinkose pastaraisiais metais buvo atliekami pagrindiniai fundamentiniai maistmedžiagių virsmų ir apykaitos tarp dugno nuosėdų ir priedugnio vandens tyrimai. Šiuo suskirstymu taip pat bus remiamasi šio projekto tyrimuose.

Apibendrinant iki šiol atliktus lauko tyrimus ramiomis meteorologinėmis sąlygomis galima padaryti šias preliminarias išvadas:

1. Ankstesnių tyrimų rezultatai rodo, kad vyraujančios Kuršių marių dugno nuosėdos nuolat išskiria  $\text{NH}_4^+$  į vandens storumę, išskyrus smėlio nuosėdas pavasario laikotarpiu (kovo ir gegužės mėnesiais). Priklausomai nuo apykaitos intensyvumo dugno nuosėdos per dieną gali padidinti  $\text{NH}_4^+$  kiekį nuo 5 % iki 31 % vandens storumėje.
2. Kuršių mariose smėlio nuosėdos funkcionuoja kaip akumuliacinė aplinka vandenyje ištirpusiam neorganiniam P. Šios nuosėdos gali akumuliuoti nuo 1 % iki 7 % IRP kiekio iš vandens storumės.
3. Giliau esančios smulkaus dumblo nuosėdos yra IRP šaltinis vandens storumei pavasario – rudens sezonais. Vasaros metu vykstant intensyviausiai bento-pelaginei apykaitai iš dumblo akumuliacinėje aplinkoje galėtų išsiskirti 922664 moliai P per dieną ir tai padidintų IRP koncentraciją vandens storumėje iki 43 %.
4. Dugno nuosėdų įtaka pašalinant su upėmis atneštą azotą iš Kuršių marių ekosistemos tiesiogiai priklauso nuo  $\text{NO}_x^-$  koncentracijos. Intensyviausiai N pašalinamas dėl denitrifikacijos pavasario pabaigoje kai per parą dugno nuosėdos iš vandens storumės akumuliuoja iki 80 %  $\text{NO}_x^-$  kiekio esančio storumėje.

Kaip jau buvo minėta aukščiau, šie skaičiai neatspindi srautų, vykstančių dėl sedimentacijos ir resuspensijos, kuri vyksta vėjuotu oru, nes vėjuotų dienų skaičius sudaro žymią metų dalį ir tai gali vaidinti svarbų vaidmenį dugno nuosėdų įtakai maistmedžiagių balansui Kuršių mariose.

Matuojamų fizikinių-cheminių bei biologinių parametrų sąrašas pateiktas 1 priede. Jį sudaro 81 parametras. Tolimesniuose tyrimuose naudojamo biogeocheminių modelio būsenos kintamųjų sąrašas bei modelio testavimo poreikiai yra pagrindiniai veiksniai, nulemiantys šio sąrašo parametrų skaičių bei struktūrą.

## LITERATŪRA

- Bartoli M., Nizzoli D., Zilius M., Bresciani M., Fulweiler R.W., Pusceddu A., Bianchelli S., Sundbäck K., Razinkovas-Baziukas A., Viaroli P. Sedimentary processes with special emphasis on nitrogen transformations in a turbid freshwater estuary. Priduota spaudai į "Limnology and Oceanography".
- Daunys D., Zemlys P., Olenin S., Zaiko A., Ferrarin C., 2006. Impact of the zebra mussel *Dreissena polymorpha* invasion on the budget of suspended material in a shallow lagoon ecosystem. *Helgoland Marine Research* 60 (2): 113-120.
- Erturk A., Razinkovas A., Zemlys P., Pilkaityte R., Gasiunaite Z., 2008. Linking NPZD and foodweb models of an estuarine lagoon ecosystem. Proceedings of the US/EU Baltic 2008 Symposium. IEEE Catalog Number: CFP08AME-CDR, ISBN: 978-1-4244-2268-5, Library of Congress: 2008902075.
- Ferrarin C., Razinkovas A., Gulbinskas S., Umgiesser G. and Bliudziute L., 2008. Hydraulic regime-based zonation scheme of the Curonian Lagoon. *Hydrobiologia* 611: 133-146.
- Giardino C., Bresciani M., Pilkaityte R., Bartoli M., Razinkovas A., 2010. In situ measurements and satellite remote sensing of case 2 waters: first results from the Curonian Lagoon. *Oceanologia* 52(2): 197-210.
- Langas V., Daunys D., Paškauskas R., Zemlys P., Pilkaitytė R., Razinkovas A., S. Gulbinskas S., 2010. Tarpinių ir pakrantės vandenų būklė, ją įtakojantys veiksniai ir būklės gerinimo priemonės. Vilnius. 136.
- Lietuvos jūrų išteklių darniojo valdymo sistema taikant naujoviškas stebėjimo, modeliavimo priemones ir ekosistemų metodą 2011 <http://www.corpi.ku.lt/~lt0047/>.
- Nixon S.W., Ammerman J.W., Atkinson L.P., Berounsky V.M., Billen G., Boicourt W.C., Boynton W.R., Church T.M., DiToro D.M., Elmgren R., Garber R.H., Giblin A.E., Jahnke R.A., Owens N.J.P., Pilson M.E.Q., Seitzinger S.P., 1996. The fate of nitrogen and phosphorus at the land-sea margin of the North Atlantic Ocean. *Biogeochemistry* 35: 141-180.
- S.HY.F.E.M Shallow water hydrodynamic model 2011 <https://sites.google.com/site/shyffem/>
- Pustelnikovas O., Gulbinskas S., 2002. Lithology and chemical composition of recent sediments of the Curonian Lagoon. In: E. Emelyanov, (Eds.) *Geology of the Gdansk Basin. Baltic Sea. Yantarny skaz, Kaliningrad.* 316-327.
- Silvennoinen H., Hietanen S., Liikanen A., Stange C.F., Russow R.f, Kuparinen J., Martikainen P., 2007. Denitrification in the River Estuaries of the Northern Baltic Sea. *Ambio* 36(2): 134-140.
- Vahtera E., Conley D.J., Gustafsson B.G., Kuosa H., Pitkänen H., Savchuk O.P., Tamminen T., Viitasalo M., Voss M., Wasmund N., Wulff F., 2007. Internal ecosystem feedbacks enhance nitrogen-fixing cyanobacteria blooms and complicate management in the Baltic Sea. *Ambio* 36: 186-194.
- Zemlys P., Ertürk A. and Razinkovas A., 2008. 2D finite element ecological model for the Curonian lagoon. *Hydrobiologia*, 611 (1): 167-179.
- Zilius M., 2011. Oxygen and nutrient exchange at the sediment-water interface in the eutrophic boreal lagoon (Baltic Sea). PhD dissertation, University of Klaipėda, Klaipėda
- Zilius M., Bartoli M., Daunys D., Pilkaityte R., Razinkovas A., 2012a. Patterns of benthic oxygen uptake in a hypertrophic lagoon: spatial variability and controlling factors. *Hydrobiologia* 699: 85-98.
- Zilius M., Daunys D., Petkuvienė J., Bartoli M., 2012b. Sediment-water oxygen, ammonium and soluble reactive phosphorus fluxes in a turbid freshwater estuary (Curonian lagoon, Lithuania): evidences of benthic microalgal activity. *Journal of Limnology* 71(2): 309-319. DOI: 10.4081/jlimnol.2012.e33.
- Zilius M., Bartoli M., Bresciani M., Katarzyte M., Ruginis T., Petkuvienė J., Lubiene I., Giardino C., Bukaveckas P.A., De Wit R., Razinkovas A., 2014. Feedback Mechanisms Between Cyanobacterial Blooms, Transient Hypoxia, and Benthic Phosphorus Regeneration in Shallow Coastal Environments. *Estuaries and Coasts* 37: 680-694 DOI: 10.1007/s12237-013-9717-x.
- Zilius M., Giordani G., Petkuvienė J., Lubiene I., Ruginis T., Bartoli M., 2015 Phosphorus mobility under transient anoxia conditions in two shallow eutrophic lagoons (Curonian and Sacca di Goro lagoons). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. DOI: 10.1016/j.ecss.2015.07.004

## II skyrius. LAUKO TYRIMAI

### ĮVADAS

Šiame skyriuje pateikiamas 1 uždavinio „Atlikti biogeocheminius tyrimus, reikalingus vertinant maistingųjų medžiagų kiekius Kuršių marių dugno nuosėdose ir jų poveikį medžiagų balansui“ II dalies (1.3-1.4 veiklos) rezultatai. Skyriaus medžiaga remiasi II tarpine ataskaita.

Sutinkamai su technine specifikacija (p. 2.3.2) galutinis dugno nuosėdų poveikis Kuršių marių maistingųjų medžiagų balansui atliekamas matematinio modelio pagalba, atsižvelgiant į visą kompleksą veiksnių (hidrodinamika, nuosėdų pernaša, biogeocheminiai procesai ir pan.) todėl šioje ataskaitoje yra pateikiami visi atlikti tyrimai, reikalingi modelio vystymui.

Igyvendinant 1.3 veiklą, vandens parametrų ir biogeocheminių procesų, numatytų 1.2 veikloje, tyrimai buvo atlikti 6 stotyse, Kuršių mariose (Lietuvos Respublikos teritorija), apimant 2015 metų ciklą. Įvertintų parametrų ir procesų sąrašas pateikiamas 2.1 lentelėje.

2.1 lentelė. Matuotų fizikinių-cheminių bei biologinių parametrų sąrašas.

Nr.	Parametro pavadinimas	Sutrumpinimas bazėje	Matavimo terpė
1.	Diatominiai dumbliai		Vandens storumėje
2.	Azotą nefiksuojančios melsvabakterės		Vandens storumėje
3.	Azotą fiksuojančios melsvabakterės		Vandens storumėje
4.	Kitos fitoplanktono rūšys (žaliadumbliai ir kt.)		Vandens storumėje
5.	Chlorofilas a	chl-a	Vandens storumėje
6.	Zooplanktonas		Vandens storumėje
7.	Amonio azotas	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Vandens storumėje
8.	Nitritų azotas	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Vandens storumėje
9.	Nitratų azotas NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Vandens storumėje
10.	Ištirpęs organinis N	DON	Vandens storumėje
11.	Dalelių pavidalo organinis N	PON	Vandens storumėje
12.	Ištirpęs neorganinis P	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Vandens storumėje
13.	Ištirpęs organinis P	DOP	Vandens storumėje
14.	Dalelių pavidalo organinis P	PP	Vandens storumėje
15.	Bendras P	BP	Vandens storumėje
16.	Ištirpęs mineralinis Si	SiO <sub>2</sub>	Vandens storumėje
17.	Dalelių pavidalo Si	PSi	Vandens storumėje
18.	Ištirpusi bendra neorganinė C	TCO <sub>2</sub>	Vandens storumėje
19.	Ištirpusi organinė C	DOC	Vandens storumėje
20.	Dalelių pavidalo organinė C	POC	Vandens storumėje
21.	Šarmingumas	Alk	Vandens storumėje
22.	Ištirpęs kalcis	Ca <sup>2+</sup>	Vandens storumėje
23.	Ištirpęs magnis	Mg <sup>2+</sup>	Vandens storumėje
24.	Ištirpusi geležis	Fe <sup>2+</sup>	Vandens storumėje
25.	Ištirpęs manganas	Mn <sup>2+</sup>	Vandens storumėje
26.	Suspenduotų dalelių dydis		Vandens storumėje
27.	Suspenduotų dalelių koncentracija		Vandens storumėje

28.	pH		Vandens storumėje
29.	Vandenyje ištirpęs deguonis	O <sub>2</sub>	Vandens storumėje
30.	Druskingumas		Vandens storumėje
31.	Temperatūra		Vandens storumėje
32.	Fotosintetiškai aktyvi radiacija	PAR	Vandens storumėje
33.	Amonio azotas	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Poriniame vandenyje
34.	Nitritų azotas	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Poriniame vandenyje
35.	Nitratų azotas	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Poriniame vandenyje
36.	Ištirpęs organinis N	DON	Poriniame vandenyje
37.	Dalelių pavidalo organinis N	PN	Nuosėdose
38.	Ištirpęs neorganinis P	TDP	Poriniame vandenyje
39.	Ištirpęs organinis P	DOP	Poriniame vandenyje
40.	Dalelių pavidalo bendras neorganinis P	TIP	Nuosėdose
41.	Lengvai absorbuotas neorganinis P	Exchang-P	Nuosėdose
42.	Su geležimi/manganu surištas neorganinis P	Fe/Mn-P	Nuosėdose
43.	Autogeninis su kalciumu surištas neorganinis P	Ca-authig-P	Nuosėdose
44.	Detrinis su kalciumu surištas neorganinis P	Ca-detr-P	Nuosėdose
45.	Dalelių pavidalo bendras organinis P	TOP	Nuosėdose
46.	Dalelių pavidalo bendras P	TP	Nuosėdose
47.	Ištirpęs mineralinis Si	SiO <sub>2</sub>	Poriniame vandenyje
48.	Ištirpusi organinė C	DOC	Poriniame vandenyje
49.	Dalelių pavidalo organinė C	POC	Nuosėdose
50.	chlorofilas a	s-chl-a	Nuosėdose
51.	Ištirpęs kalcis	Ca <sup>2+</sup>	Poriniame vandenyje
52.	Ištirpęs magnis	Mg <sup>2+</sup>	Poriniame vandenyje
53.	Ištirpusi geležis	Fe <sup>2+</sup>	Poriniame vandenyje
54.	Su dalelėmis surišta redukuota geležis	Fe(II)	Nuosėdose
55.	Su dalelėmis surišta oksiduota geležis	Fe(III)	Nuosėdose
56.	Ištirpęs manganas	Mn <sup>2+</sup>	Poriniame vandenyje
57.	Prie dalelių absorbuotas manganas	Mn(IV)	Nuosėdose
58.	Deguonies prasiskverbimo gylis į nuosėdas	O <sub>2</sub>	Poriniame vandenyje
59.	Dalelių dydis (granulometrija)		Nuosėdose
60.	pH		Poriniame vandenyje
61.	Tankis		Nuosėdose
62.	Poringumas		Nuosėdose
63.	O <sub>2</sub> apykaita (suvartojimas/produkcija)	O <sub>2</sub> apykaita	Tarp nuosėdų ir vandens
64.	N <sub>2</sub> apykaita (denitrifikacija/anammox/fiksacija)	N <sub>2</sub> apykaita	Tarp nuosėdų ir vandens
65.	Ištirpusio CO <sub>2</sub> produkcija (mineralizacija)	TCO <sub>2</sub> apykaita	Tarp nuosėdų ir vandens
66.	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> apykaita	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> apykaita	Tarp nuosėdų ir vandens
67.	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> + NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> apykaita	NO <sub>x</sub> <sup>-</sup> apykaita	Tarp nuosėdų ir vandens
68.	Ištirpusio organinio N apykaita	DON apykaita	Tarp nuosėdų ir vandens
69.	Ištirpusio mineralinio P apykaita	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> apykaita	Tarp nuosėdų ir vandens
70.	Ištirpusio mineralinio Si apykaita	SiO <sub>2</sub> apykaita	Tarp nuosėdų ir vandens
71.	Ištirpusios geležies apykaita	Fe <sup>2+</sup> apykaita	Tarp nuosėdų ir vandens
72.	Ištirpusio mangano apykaita	Mn <sup>2+</sup> apykaita	Tarp nuosėdų ir vandens

Šioje ataskaitoje aptariami marių nuosėdose esantys maistmedžiagių (N ir P) kiekiai ir jų apykaitos greičiai tarp dugno nuosėdų ir priedugnio vandens. Remiantis šiais rezultatais preliminariai įvertinama galima antrinė tarša maistmedžiagėmis iš dugno nuosėdų. Taip pat pateikiama vandens ir dugno nuosėdų mėginių paėmimo, matavimų, laboratorinių analizių metodika.

## 2.1. TYRIMO MEDŽIAGA IR METODAI

### 2.1.1 Tyrimo vietos

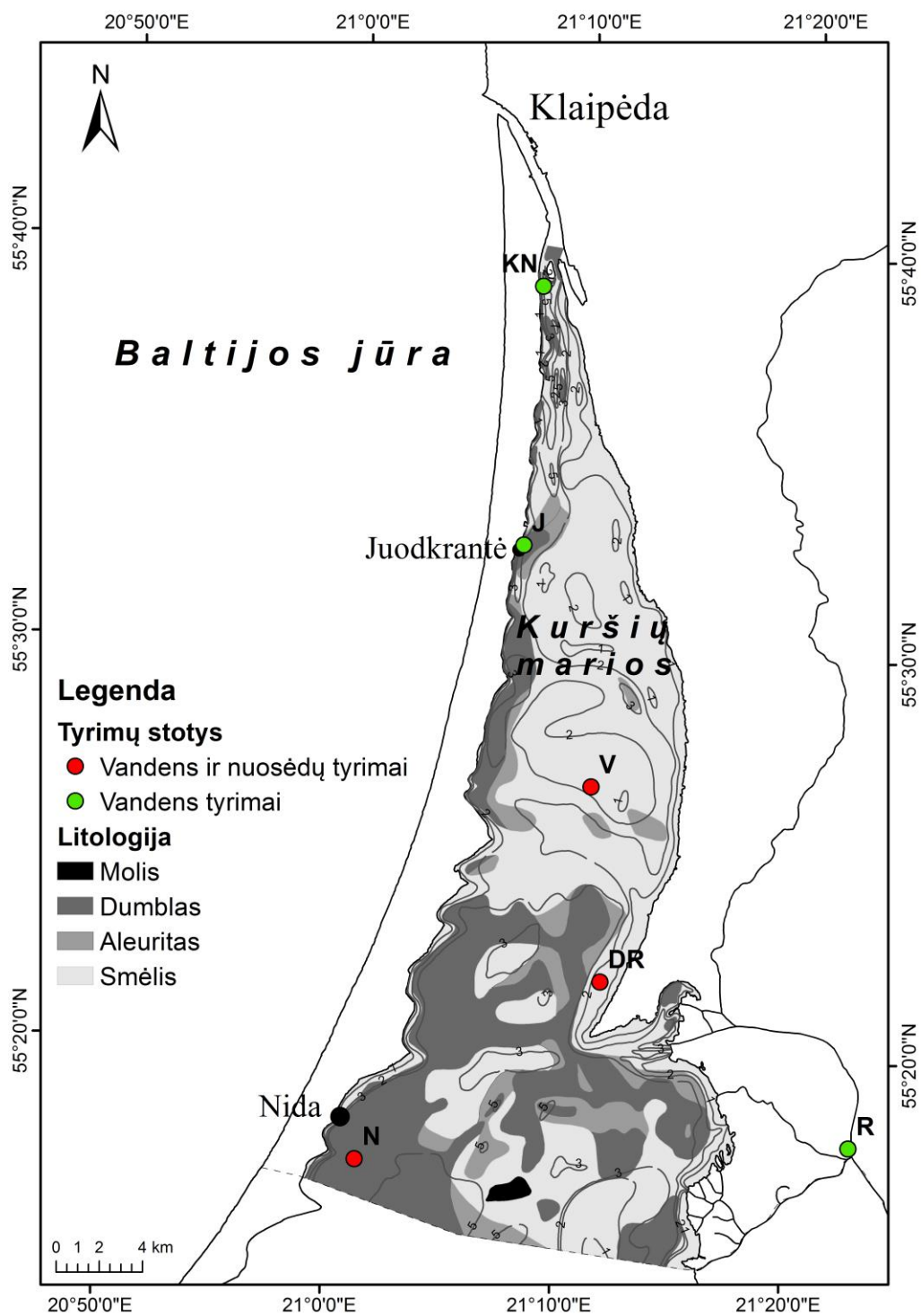
Atsižvelgus į Kuršių marių kompleksiskumą pagal Nemuno ir druskėto vandens prietakos poveikį, hidrodinamiką, gylį ir granulometriją bei vyraujančius biogeocheminius procesus tyrimai atlikti iš viso 6 stotyse (2.2 lentelė, 2.1 pav.) iš kurių:

- Dugno nuosėdose sukauptų maistmedžiagių kiekio ir jų bento-pelaginės apykaitos vertinimas atliktas 3 tyrimo stotyse (N, V ir DR), kurios reprezentuoja svarbiausias marių sedimentacines aplinkas.
- Papildomose 3 stotyse (R, J ir KN) atlikti tyrimai, apimantys tik fiziko-cheminių ir biologinių parametrų vertinimą, reikalingi Kuršių marių ekologinio modelio kraštinėms sąlygoms bei patikimesniam modelio vandens storumės charakteristikų dinamikos kalibravimui ir validavimui.

2.2 lentelė. Tyrimų stotys, jų pagrindinės jų charakteristikos bei tyrimo objektai.

Stoties kodas	Koordinatės (laipsniai)		Sedimentacinė aplinka	Nuosėdų tipas	Vidutinis gylis* (m)	Tyrimo objektas
	Ilguma	Platuma				
N	55.286017	21.021400	akumuliacinė	Aleuritas/dumblas	3,5	vanduo/nuosėdos
DR	55.363602	21.185699	tranzitinė	Smulkus smėlis	1,0 – 1,5	vanduo/nuosėdos
V	55.444483	21.182733	tranzitinė	Smulkus smėlis	1,5 – 2,0	vanduo/nuosėdos
J	55.543867	21.126400	tranzitinė		2,0	vanduo
KN	55.651733	21.133133	tranzitinė		8,5	vanduo
R	55.298247	21.380478	upė		1,5	vanduo

\* vidutinis gylis (n=12), nustatytas tyrimų metu.



2.1 pav. Kuršių marių (Lietuvos Respublikos dalies) žemėlapis su vyraujančiais dugno nuosėdų tipais ir batimetrija bei pažymėtomis tyrimų stotimis. Raudoni taškai identifikuoja tyrimo stotis, kuriose buvo atliekami fiziko-cheminių ir biologinių parametru tyrimai vandens stovymėje ir dugno nuosėdose, o žali – tik vandens stovymėje.

Tyrimo stočių tinklas reprezentuoja prietaką iš Nemuno upės baseino, marių akumuliacinę, tranzitinę ir seklią daugiau šviesos gaunančią aplinkas. Žemiau pateikiami kiekvienos tyrimo stoties pavadinimų sutrumpinimų paaiškinimai bei trumpa jų charakteristika:

- **N** (Nida) – akumuliacinėje marių dalyje esanti stotis;
- **DR** (Litoralė) – sekloje marių priekrantėje esanti stotis, kuri yra veikiamą Nemuno prietakos į marias;
- **V** (Vidmarės) – gilesnėje, tranzitinėje marių dalyje esanti stotis, kuri yra veikiamą Nemuno prietakos ir druskėto vandens įtekėjimo į marias;
- **J** (Juodkrantė) – gilioje, tranzitinėje marių dalyje esanti stotis, kuri yra veikiamą Nemuno prietakos arba druskėto vandens įtekėjimo į marias;
- **KN** (Kiaulės nugara) – išgilintoje, tranzitinėje marių dalyje esanti stotis, kuri yra veikiamą Nemuno prietakos arba druskėto vandens įtekėjimo į marias;
- **R** (Rusnė) – Rusnės upėje, ties išsišakojimu į Skirvytę ir Atmatą, esanti stotis.

Vandens storumės tyrimai Kuršių mariose buvo vykdomi 2015 m. 12 kartų sausio–lapkričio mėnesiais. Dėl nepalankių oro sąlygų matavimai nebuvo atliekami kovo ir gruodžio mėnesį, o vasaros metu, liepą ir rugpjūtį, tyrimai buvo atliekami du kartus per mėnesį. Dugno nuosėdų biogeocheminiai tyrimai atlikti vieną kartą per sezoną: žiemą (vasarį), pavasarį (balandį), vasarą (rugpjūtį) ir rudenį (lapkritį). Žiemos metu dėl plono ledo ir didelių ledo sangrūdų DR stotyje nuosėdų mėginiai nebuvo imami.

Kuršių mariose mėginių surinkimas ir in situ matavimai atlikti iš laivo išskyrus seklią DR stotį, kurioje tyrimai vykdyti nuo kranto. Rusnės upėje tyrimai atlikti įsibridus į upę. Gilesnėse tyrimo stotyse nei 2,0 m fizikiniai ir cheminiai matavimai atlikti paviršiniame ir priedugnio sluoksniuose. Išskyrus fotosintetiškai aktyvios radiacijos (PAR) matavimus, kurie įvertinti visame storumės gylėje.

#### 2.1.2 Vandens fiziko-cheminių charakteristikų nustatymas

Vandens temperatūra, druskingumas, pH ir vandenyje ištirpusio deguonies koncentracija ( $O_2$ ) in situ buvo matuojami YSI 460 daugiafunkciniu matuokliu. Fotosintetiškai aktyvios radiacijos prasiskverbimo gylis buvo įvertinamas povandeniniu LI-192S kvantiniu sensoriumi, sujungtu su duomenų kaupikliu LI-1400.

Vandens mėginiai, skirti ištirpusių ir suspenduotų maistmedžiagių bei metalų analizei buvo imami paviršiniame (0,3 – 0,4 m gylėje) ir priedugnio (0,3 – 0,4 m virš dugno) sluoksniuose su 2 litrų vandens semtuvu ir supilami į tamsius neperšviečiamus plastikinius butelius (HPDE, Nalgene). Išskyrus mėginius skirtus bendrai ištirpusiai neorganinei angliai ( $TCO_2$ ), kuriems vanduo buvo nedelsiant perfiltruojamas per GF/F filtrą į 12 ml stiklinį mėgintuvėlį (Exetainer, Labco). Vandens mėginių paruošimo ir cheminių analizių santrauka pateikta 2.3 lentelėje.

**2.3 lentelė.** Vandens cheminių charakteristikų nustatymo surinktuose vandens mėginiuose santrauka. Sutrumpinimai pateikti santrumpų sąrašė.

Nr.	Paruošimas	Tara	Laikymas	Analitė
1.	Vanduo perfiltruojamas per GF/F filtrus (Ø 25 mm, 0,7 µm porų dydis)	10 ml stikliniai mėgintuvėliai	+4°C, analizė atliekama per 12 val.	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> +NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>
2.		10 ml PS mėgintuvėliai		SiO <sub>2</sub>
3.		40 ml buteliukai		DON, DOC
4.		10 ml PE mėgintuvėliai	-20°C, analizė atliekama per 2 mėn.	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
5.		20 ml HDPE buteliukai		TDP-v
6.	Vanduo nefiltruojamas		TP	
7.	Vanduo perfiltruojamas per GF/F filtrus (Ø 25 mm, 0,7 µm porų dydis)	12 ml stikliniai mėgintuvėliai su 100 µl konc. ultra švaria HCl rūgšt.	+4°C, analizė atliekama per 2 mėn.	Fe <sup>2+</sup> ir Mn <sup>2+</sup>
8.		12 ml stikliniai mėgintuvėliai		Mg <sup>2+</sup> ir Ca <sup>2+</sup>
9.	Suspenduota medžiaga surenkama ant Whatman Nucleopore (Ø 47 mm, 0,7 µm porų dydis)	15 ml mėgintuvėliai	-20°C, analizė atliekama per 2 mėn.	PSi
10.	Suspenduota medžiaga surenkama ant Whatman GF/F (Ø 47 mm, 0,7 µm porų dydis)	15 ml mėgintuvėliai		Chl-a
11.	Suspenduota medžiaga surenkama ant išdegintų ir pasvertų Whatman GF/F (Ø 47 mm, 0,7 µm porų dydis)	PS Petri lėkštelės	Išdžiovinama 60°C laikoma +4°C, analizė atliekama per 2 mėn.	POC ir PON
12.	Suspenduota medžiaga surenkama ant Whatman GF/F (Ø 25 mm, 0,7 µm porų dydis)	Aluminio folija	-20°C, analizė atlikta per 2 mėn.	TPP
13.				TPIP

Visi vandens mėginiai buvo transportuojami šaltkrepsiuose su šaldymo elementais į laboratoriją tolimesnei analizei.

### 2.1.3 Suspenduotų dalelių koncentracijos ir dydžio įvertinimas

Vanduo, skirtas suspenduotų dalelių koncentracijos ir dydžio analizei, buvo surenkamas iš 4 stočių, R, DR, V, N kartą per sezoną, išskyrus R stotį, kur mėginiai buvo renkami kiekvienos ekspedicijos metu. Kiekvieno tyrimo metu vanduo paimamas 1 m gylyje su 2 litrų vandens semtuvu ir supilamas į 20 litrų plastikines talpas. Bendras mėginio tūris, priklausomai nuo hidrologinio ir fitoplanktono vegetacijos sezono, buvo nuo 20 iki 40 litrų. Visi vandens mėginiai transportuojami į laboratoriją, kurioje gerai išmaišytas vanduo filtruojamas, surenkant suspenduotą medžiagą ant išdegintų GF/F filtrų. Likęs vanduo talpoje paliekamas 4°C temperatūroje 4 dienas, leidžiant nusėsti pakibusioms dalelėms, kurios vėliau surenkamos su vakuuminiu siurbliu į 1 litro stiklinę. Po 2 dienų nusėdusios dalelės papildomai sukonzentruojamos į 50 ml mėgintuvėlį ir atliekama jų granulimetrinė analizė su lazeriniu dalelių analizatoriumi (Analysette 22 micro tec plus, Fritsch, matavimo diapazonas 0,08–2000 µm) per 48 val. Analizė pakartojama po dalelių

deginimo su 30 % vandenilio peroksido (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) tirpalu 80°C temperatūroje. Gautas skirtumas parodo kokias dalis dalelių yra organinės kilmės.

Ant filtrų surinkta suspenduota medžiaga išdžiovinama 60°C temperatūroje iki pastovaus svorio. Koncentracija (BSK) apskaičiuojama pagal formulę:

$$BSK = \frac{\text{Filtro svoris su suspenduota medžiaga}_{60^{\circ}\text{C}} - \text{Filtro svoris}}{\text{nufiltruotas vandens kiekis (litrai)}}$$

Organinės medžiagos dalis bendroje suspenduotoje medžiagoje nustatoma po filtrų deginimo 4 val. 550°C temperatūroje pagal formulę:

$$OM = \text{Filtro svoris su suspenduota medžiaga}_{60^{\circ}\text{C}} - \text{Filtro svoris po deginimo}_{550^{\circ}\text{C}}$$

## 2.1.4 Vandens biologinių charakteristikų nustatymas

### 2.1.4.1 Fitoplanktono analizė

Mėginiai fitoplanktono analizei buvo surinkti iš 6 stočių (R, N, DR, V, J ir KN) kartą per mėnesį, išskyrus liepos ir rugpjūčio mėnesius (2 kartai per mėnesį). Vanduo, fitoplanktono dumblių ir melsvabakterių rūšių įvairovei nustatyti, yra integruojamas sumaišant vandenį iš paviršinio (0,3 – 0,4 m gylyje) ir priedugnio (0,3 – 0,4 m virš dugno) sluoksnių su 2 litrų semtuvu. Sumaišytas vanduo supilamas į 50 ml mėgintuvėlį ir fiksuojamas rūgštiniu Liugolio tirpalu. Mėginiai laikomi tamsoje iki tolimesnės analizės.

Fitoplanktono dumblių ir melsvabakterių rūšių įvairovė analizuojama invertuotos mikroskopijos metodu (Utermöhl, 1958). Mėginių analizė atliekama su LEICA DMI 3000 invertuotu mikroskopu, naudojant x100 ir x400 padidinimą. Fitoplanktono gausumas (tūkst. vnt. l<sup>-1</sup>) ir biomasė (mg l<sup>-3</sup>) apskaičiuojama pagal HELCOM (1988) ir Olenina ir kt. (2006) rekomendacijas.

### 2.1.4.2 Zooplanktono analizė

Mėginiai zooplanktono analizei buvo surinkti iš 4 stočių (R, DR, V ir N) kartą per mėnesį išskyrus liepos ir rugpjūčio mėnesius (2 kartai per mėnesį). Vandens mėginiai imami su 2 litrų vandens semtuvu, maišant lygiomis dalimis paviršinį vandenį su priedugnio. Atsižvelgiant į suspenduotų dalelių kiekį paimama nuo 8 iki 40 litrų vandens, perfiltruojant jį per planktoninį tinklėlį (akelių skersmuo 60 μm). Mėginiai tuoj pat fiksuojami 4 % formaldehido tirpalu.

Zooplanktono mėginių analizė buvo atliekama pagal HELCOM rekomendacijas (HELCOM, 2005) ir LAND 55-2003. Laboratorinėje zooplanktono mėginių analizėje buvo naudojama: binokuliarinė lūpa Olympus SZ 61TR su apšvietimu iš apačios, Bogorovo kamera, Štempel pipetė, 200–1000 ml talpos laboratorinės stiklinės, histologinės adatos. Atliekant zooplanktono mėginio analizę buvo nustatoma individų rūšis ir jų gausumas, taip pat išmatuojamas jų kūno ilgis okuliariniu mikrometru. Verpečių biomasė (šlapias svoris) buvo apskaičiuojama naudojant izomerinio augimo lygtį (Salazkin ir kt., 1984). Gėlavandenių vėžiagyvių biomasė (šlapias svoris) buvo nustatoma naudojant alometrinę kūno ilgio ir svorio priklausomybę (Salazkin ir kt., 1984). Zooplanktono biomasė buvo apskaičiuota ir išreikšta: šlapiu svoriu mg/l, sausu svoriu mg/l ir anglies vienetais C mg/l (2.4 lentelė).

2.4 lentelė. Sauso svorio ir anglies kiekis zooplanktono organizmuose.

Rūšis/grupė	Sausas svoris	Anglies kiekis
<i>Copepoda</i>	12 % nuo šlapio svorio	45 % nuo sauso svorio
<i>Cladocera</i>	9 % nuo šlapio svorio	
<i>Rotatoria</i>	10 % nuo šlapio svorio	
<i>Leptodora kindti</i>	5 % nuo šlapio svorio	
<i>Asplanchna priodonta /sp.</i>	5 % nuo šlapio svorio	

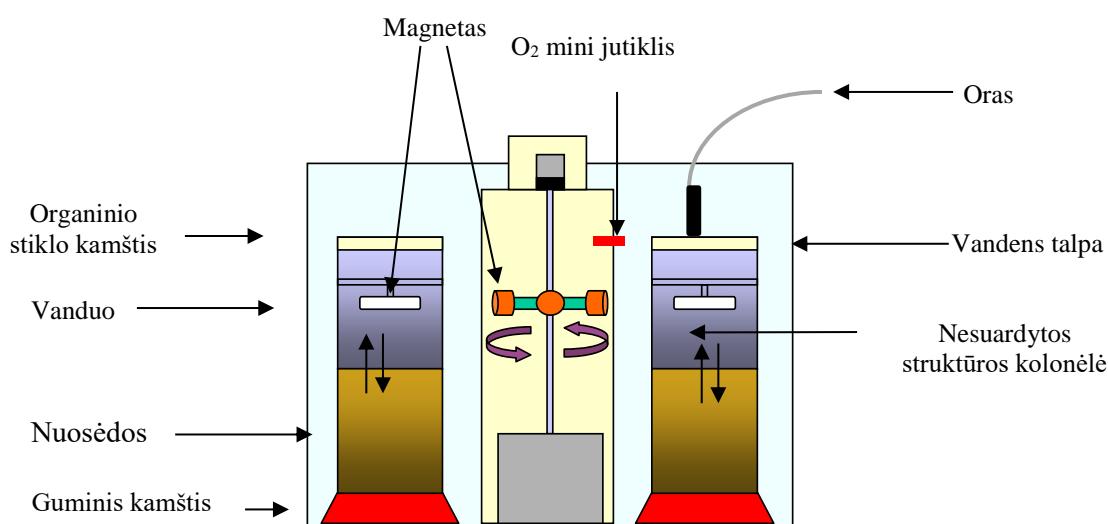
#### 2.1.5 Dugno nuosėdų kolonėlių paėmimas ir inkubacija

Nesuardytos struktūros dugno nuosėdų kolonėlės Kuršių mariose buvo surenkamos rankiniu nerūdijančio plieno gruntotraukiu su įtvirtintu organinio stiklo vamzdžiu (Pexiglass®), išpaudžiant jį į nuosėdas. Tyrimo stotyje nuosėdos buvo paaimamos atsitiktine tvarka, išlaikant 50 – 100 m atstumą tarp kiekvienos kolonėlės. Tyrimams buvo naudojamos kolonėlės su nesuardytos struktūros nuosėdomis ir skaidriu priedugnio vandeniu. Kolonėlės buvo paimitos 3 stotyse: sekloje smėlio (DR), atvirų marių smėlyje (V) ir dumblo (N) aplinkose. Kiekvieno tyrimo stotyje buvo paaimama 14 nuosėdų kolonėlių:

- 5 kolonėlės (Ø 8 cm, ilgis 30 cm) bendros apykaitos matavimams;
- 3 kolonėlės (Ø 8 cm, ilgis 30 cm) porinio vandens ekstrakcijai;
- 3 kolonėlės (Ø 8 cm, ilgis 30 cm) geocheminėms nuosėdų savybėms nustatyti;
- 3 kolonėlės (Ø 4,6 cm, ilgis 25 cm) chlorofilui *a* nustatyti.

Surinktos nuosėdų kolonėlės buvo nedelsiant patalpinamos į šaltkrepius su *in situ* vandeniu ir per 2–4 val. transportuojamos į laboratoriją tolimesniems tyrimams. Papildomai kiekvienoje tyrimo stotyje buvo paimama ~100 litrų vandens dugno nuosėdų kolonėlių inkubacijai.

Laboratorijoje kolonėlės tuoj pat buvo patalpinamos į inkubacines talpas su *in situ* vandeniu, kuris buvo nuolatos aeruojamas ir palaikoma temperatūra artima *in situ* ( $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  tikslumu). Kiekvienoje kolonėlėje, naudojami bendros apykaitos matavimams, vandens maišymas buvo palaikomas besisukančiu (40 aps./min) teflonu dengtu magnetu (2.2 pav.). Taip kolonėlės buvo paliekamos per naktį, leidžiant aplinkos sąlygoms nusistovėti, iki sekančios dienos ryto kai atliekami apykaitos matavimai. Detalesnis inkubacijos aprašymas pateiktas Dalsgaard ir kt. (2000) ir Zilius ir kt. (2014).



**2.2 pav.** Nesuardytos struktūros dugno nuosėdų kolonėlių inkubacinė sistema, skirta ištirpusių junginių apykaitos matavimams.

#### 2.1.6 Bendrosios apykaitos tarp nuosėdų ir priedugnio vandens matavimas

Vandenyje ištirpusių junginių bendrosios apykaitos greitis tarp dugno nuosėdų ir priedugnio vandens buvo nustatomas pagal jų koncentracijos inkubacijos pradžioje ir pabaigoje skirtumą kiekvienoje kolonėlėje atskirai. Matuojamų apykaitos junginių sąrašas pateikiamas 2.5 lentelėje.

**2.5 lentelė.** Vandenyje ištirpusių junginių, dalyvaujančių bendros apykaitos procese, tyrimo aprašymo santrauka. Sutrumpinimai pateikti santrumpų sąrašė.

Nr.	Analitės	Paruošimas	Laikymas iki analizės
1.	O <sub>2</sub> , N <sub>2</sub>	Nefiltruotas vanduo supilamas į stiklinius 12 ml mėgintuvėlius ir įdedama 100 µl 7M ZnCl <sub>2</sub>	Mėginiai laikomi 4°C, analizė atliekama per 1 mėn.
2.	TCO <sub>2</sub>	Vanduo perfiltruojamas per GF/F filtrus (Ø 25 mm, 0,7 µm porų dydis) į stiklinius 12 ml mėgintuvėlius	Mėginiai laikomi 4°C, analizė atliekama per 12 val.
3.	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> +NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Vanduo perfiltruojamas per GF/F filtrus (Ø 25 mm, 0,7 µm porų dydis) į stiklinius 10 ml mėgintuvėlius	Mėginiai laikomi 4°C, analizė atliekama per 12 val.
4.	SiO <sub>2</sub>	Vanduo perfiltruojamas per GF/C filtrus (Ø 25 mm, 0,7 µm porų dydis) į 10 ml PS mėgintuvėlius	
5.	DON	Vanduo perfiltruojamas per GF/F filtrus (Ø 25 mm, 0,7 µm porų dydis) į stiklinius 40 ml buteliukus	
6.	Fe <sup>2+</sup> /Mn <sup>2+</sup>	Vanduo perfiltruojamas per GF/F filtrus (Ø 25 mm, 0,7 µm porų dydis) į stiklinius 12 ml mėgintuvėlius ir parūgštinamas su 100 µl konc. ultra švaria HCl rūgštimi	Mėginiai laikomi 4°C, analizė atliekama per 2 mėn.

Atsižvelgiant į Zilius ir kt. (2012, 2014), inkubacija 2015 metais truko nuo 3 (vasarą) iki 13 valandų (žiema), priklausomai nuo vandens temperatūros ir neleidžiant O<sub>2</sub> koncentracijai sumažėti daugiau nei 20 % jos pradinės vertės. Todėl O<sub>2</sub> koncentracija buvo nuolatos matuojama optiniais jutikliais (Firesting, Pyroscience kompanija) dangtelio vidinėje pusėje. Apykaitos greitis buvo apskaičiuotas pagal Dalsgaard ir kt. (2000):

$$F_x = \frac{(C_f - C_i) \times V}{A \times t} \times 10$$

kur  $F_x$  (µmol m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> arba mmol m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) yra apykaitos greitis x junginio,  $C_i$  ir  $C_f$  (µmol l<sup>-1</sup> arba mmol l<sup>-1</sup>) - matuojamo junginio x koncentracija atitinkamai inkubacijos pradžioje ir pabaigoje,  $V$  (l) - vandens tūris kolonėlėje,  $A$  (m<sup>2</sup>) - nuosėdų paviršiaus plotas kolonėlėje,  $t$  (h) - inkubacijos laikas ir 10 - koeficientas.

Bendrosios apykaitos matavimai buvo atliekami tamsoje ir šviesoje, priklausomai nuo fotosintetiškai aktyvios radiacijos lygio virš dugno nuosėdų tirtuoju laikotarpiu. Jeigu *in situ* sąlygomis dugno nuosėdų paviršių pasiekdavo mažiau nei 1 % paviršinio PAR srauto, tada apykaitos greitis laboratorijoje buvo matuojamas tik tamsoje. Maistmedžiagių balansas vandenyje įvertinamas pagal koncentracijos pokyčius per parą ir esamą apykaitos greitį tarp nuosėdų ir priedugnio vandens. Apykaitos greitis per parą (24 val.) skaičiuojamas taip:

$$F_x = (\text{apykaitos greitis tamsoje} \times hT) + (\text{apykaitos greitis šviesoje} \times h\check{S})$$

kur  $hT$  ir  $h\check{S}$  yra atitinkamai nakties ir dienos trukmė matavimo metu.

### 2.1.7 Deguonies ir pH vertikalus mikroprofilavimas nuosėdose

Laboratorijoje  $O_2$  įsiskverbimas į dugno nuosėdas buvo įvertinamas Clark'o mikroelektrodu (Ø 50 µm, Unisense A/S) su apsauginiu katodu ir vidiniu standartu (Revsbech, 1989). Vertikalaus pasiskirstymo matavimai (n=3) buvo atliekami atsitiktinai pasirinktose vietose kolonėlių nuosėdų paviršiuje kas 50 µm su programinės įrangos valdoma platforma. Mikroelektrodo srovė buvo išmatuojama su mikrosensorių multimetru, sujungtu su personaliniu kompiuteriu. Visi matavimai buvo atliekami laboratorijoje *in situ* temperatūroje. Mikroelektrodas buvo kalibruojamas pagal du taškus, atitinkamai  $O_2$  prisotintame vandenyje (100 %) ir 0,1 M šarminiame natrio askorbato tirpale (0 %).

Paraleliai  $O_2$  matavimams buvo atliekami ir pH, su stikliniu Ag-AgCl mikroelektrodu (Ø 50 µm, Unisense A/S). Mikroelektrodas buvo sukalibruotas pagal du taškus, atitinkamai 4 ir 7 pH buferyje.

### 2.1.8 Nuosėdų kolonėlių pjaustymas

Dugno nuosėdų kolonėlės porinio vandens ekstrakcijai, geocheminėms ir fizikinėms nuosėdų savybėms įvertinti buvo supjaustomos atitinkamais intervalais į gylį (žr. sekančiuose skyriuose). Prieš pjaustant kiekvieną kolonėlę priedugnio vanduo iš jų buvo nusiurbiamas 50 ml švirkštu, tada apatinė kolonėlės dalis atsargiai atkempama ir užmaunama ant stūmoklio. Viršutinėje kolonėlės dalyje fiksuojama organinio stiklo plokštuma – stalelis, kur stūmoklis išstumdavo reikiamą nuosėdų sluoksnį (2.3 pav.).



**2.3 pav.** Dugno nuosėdų kolonėlių pjaustymo įranga.

#### 2.1.9 Porinio vandens ekstrakcija iš nuosėdų

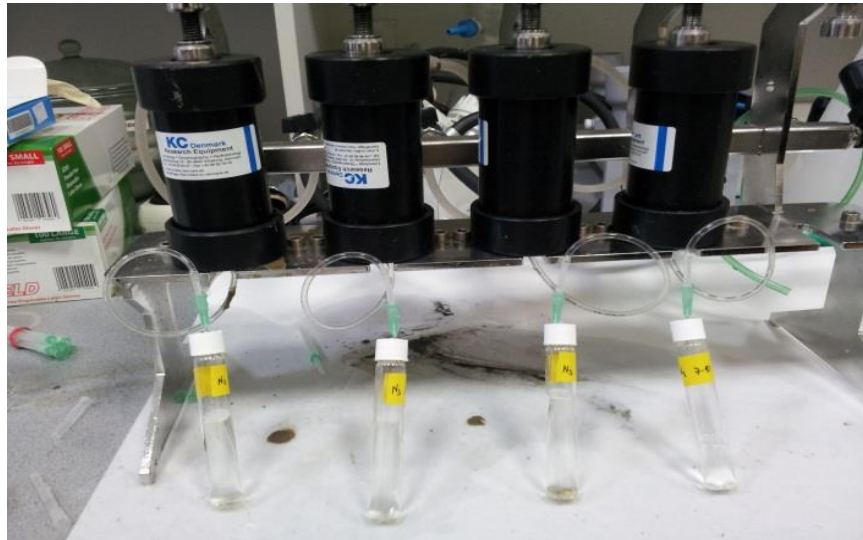
Porinis vanduo cheminei analizei buvo gaunamas supjaustant nesuardytos struktūros dugno nuosėdų kolonėlę (Ø 8 cm ir 30 cm ilgio; 3 vnt. per tyrimo vietą) į 0–0,5, 0,5–1, 1–2, 2–3, 3–5, 5–7 ir 7–10 cm dumblo sluoksnius ir 0–1, 1–2, 2–3, 3–5, 5–7 ir 7–10 cm smėlio sluoksnius. Atpjauti nuosėdų sluoksniai buvo nedelsiant patalpinami į specialius indelius N<sub>2</sub> aplinkoje. Vėliau panaudojant suslėgtas N<sub>2</sub> dujas (2–3 barai), nuosėdos fiziškai suspaudžiamos per GF/F filtrus, o išsiskyres porinis vanduo per kapiliarus surenkamas į 12 ml stiklinius, dujoms nelaidžius mėgintuvėlius (2.4 pav.).

Išspausto porinio vandens mėginiai buvo nedelsiant išdalijami skirtingoms analizėms, jų santrauka pateikta 2.6 lentelėje.

**2.6 lentelė.** Poriniame vandens nustatomos analizės ir mėginių laikymas.

Nr.	Analitė	Mėginių laikymas	Laikymo tara
1.	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , NO <sub>x</sub> <sup>-</sup> , DON, PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , SiO <sub>2</sub> , DOC	Laikoma -20°C	Stikliniai mėgintuvėliai (12 ml)
2.	Fe <sup>2+</sup> /Mn <sup>2+</sup>	Praskiedžiama su Mili Q vandeniu ir parūgštinama su 100 μl konc. ultra švaria HCl rūgštimi	Stikliniai mėgintuvėliai (5,9 ml)
3.	Ca <sup>2+</sup> /Mg <sup>2+</sup>	Praskiedžiama su Mili Q vandeniu	Stikliniai mėgintuvėliai (5,9 ml)
4.	DOP	Parūgštinama su 100 μl konc. ultra	Stikliniai mėgintuvėliai (5,9 ml)

		švaria HCl rūgštimi ir užšaldoma iki -20°C	
--	--	--	--



2.4 pav. Porinio vandens išskyrimas iš dugno nuosėdų slegiant N<sub>2</sub> dujomis.

#### 2.1.10 Nuosėdų fizinių ir geocheminių parametrų nustatymas

Dugno nuosėdų geocheminės ir fizinės savybės buvo įvertinamos, supjaustant nesuardytos struktūros dugno nuosėdų kolonėlę (Ø 8 cm ir 30 cm ilgio; 3 vnt. per tyrimo vietą) į 0–0,5, 0,5–1, 1–2, 2–5 ir 5–10 cm dumblo sluoksnius ir 0–1, 1–2, 2–5 ir 5–10 cm smėlio sluoksnius. Atpjauti nuosėdų sluoksniai nedelsiant išskaidomi skirtingoms analizėms N<sub>2</sub> aplinkoje (2.5 pav.).



2.5 pav. Nuosėdų mėginių paruošimas bedeguonėje aplinkoje (kairėje) ir nuosėdų kolonėlės supjaustymo schema skirtingoms analizėms (dešinėje).

#### 2.1.10.1 Nuosėdų tankio, vandens kiekio ir poringumo įvertinimas

Nuosėdų tankis, vandens kiekis ir poringumas buvo įvertinami gerai išmaišytose smėlio ar dumblo sluoksniuose, paimant 5 cm<sup>3</sup> nuosėdų tūrį su švirškštu, nupjautu galu. Nuosėdos buvo supilamos į keramikinį tiglį tolimesnėms analizėms.

Nuosėdų tankis buvo nustatomas apskaičiuojant pagal formulę:

$$\text{Tankis (cm}^3\text{mg}^{-1}) = \frac{\text{šlapių nuosėdų tūris}}{\text{šlapių nuosėdų svoris}}$$

Vandens kiekis nuosėdose nustatytas svorių skirtumo santykiu išdžiovinus šlapių nuosėdų 70°C temperatūroje 24 val:

$$\text{Vandens kiekis(\%)} = \frac{\text{bendras šlapias svoris} - \text{bendras sausas svoris}_{70}}{\text{bendras sausas svoris}_{70}} \times 100\%$$

Poringumas nustatytas svorio skirtumu išdžiovinus 5 cm<sup>3</sup> šlapių nuosėdų 70°C temperatūroje 24 val.:

$$\text{Poringumas} = \frac{\text{bendras šlapias svoris} - \text{bendras sausas svoris}_{70}}{\text{nuosėdų tūris (cm}^3\text{)}}$$

#### 2.1.10.2 Organinės anglies ir bendro azoto nustatymas

Organinė anglis ir bendras azotas įvertintas nuosėdų mėginyje, po fizikinių charakteristikų nustatymo, 0–2, 2–5 ir 5–10 cm sluoksniuose. Prieš atliekant šią analizę iš nuosėdų buvo pašalinama neorganinė anglis su 1 M HCl rūgštimi. Po to nuosėdos yra praplaunamos ultra švariu vandeniu ir 24 val. džiovinamos 60°C temperatūroje iki pastovaus svorio. Sausos nuosėdos buvo smulkiai sutrinamos ir supakuojamos į alavo kapsules tolimesnei analizei.

#### 2.1.10.3 Fosforo formų įvertinimas

Bendras fosforas (TP) taip pat įvertintas nuosėdų mėginyje, po fizikinių charakteristikų analizės. Iš nuosėdų bendras TP buvo išskiriamas su 37 % HCl rūgštimi, ištrauką išmatuojant spektrofotometriškai pagal Aspila ir kt. (1976).

Neorganinio fosforo formos buvo išskiriamos iš šlapių nuosėdų panaudojant skirtingus tirpalus, kurie identifikuoja lengvai prisijungusį P, fosforą, susijusį su Fe bei fosforą susijusį su

autogeniniu ir detritiniu Ca. Išskyrimas buvo atliekamas pagal Anderssono ir Delaney'aus (2000) pakeistą Ruttenbergo (1992) metodiką (2.7 lentelė) inertinėje N<sub>2</sub> atmosferoje. Išskirtų P formų suma sudaro bendrą neorganinį fosforą (TIP). Tuo tarpu bendras organinis fosforas (TOP) buvo apskaičiuojamas iš TP atimant TIP.

**2.7 lentelė.** Apibendrinta neorganinio fosforo formų ekstrakcijos schema.

Nr.	Ekstraktantai/trukmė	Išskirtos formos
1.	20 ml 1 M MgCl <sub>2</sub> (pH 7.5–8)/ 2 h	Laisvai prisijungęs P
2.	10 ml CDB*/ 6 h	P, susijęs su Fe/Mn.
3.	10 ml 1 M Na-acetatas (pH 4)/ 2 h	P, susijęs su autogeniniu Ca.
4.	20 ml 1 N HCl/ 16 h	P, susijęs su detritiniu Ca

\*CDB yra Citrato – Ditionito- Bikarbonato tirpalas (0.22 M Na-citratas; 1 M NaHCO<sub>3</sub>; 0.033 M Na- ditionitas)

#### 2.1.10.4 Mangano formų įvertinimas

Mangano formos buvo išskiriamos panaudojant skirtingus tirpalus, kurie ištraukia lengvai prisijungusią ir su karbonatais susijungusią redukuotą Mn(II) formą bei oksiduotą Mn(IV) formą chemiškai surištą su dalelėmis. Išskyrimas buvo atliekamas pagal Kristensen ir kt. (2003) metodiką (2.8 lentelė). Tyrimo metu buvo naudojama ištrauka tik iš trečiojo ekstrakcijos etapo. Gautos ištraukos buvo parūgštintos 100 µl koncentruota HNO<sub>3</sub> rūgštimi.

**2.8 lentelė.** Apibendrinta mangano formų ekstrakcijos schema.

Nr.	Ekstraktantai/trukmė	Išskirtos formos
1.	8 ml 1 M MgCl <sub>2</sub> (pH 7.5)/ 1 h	Laisvai prisijungęs Mn(II)
2.	8 ml 1 M Na acetatas (pH 5)/ 1 h	Mn(II) susijungęs su CO <sub>3</sub>
3.	8 ml 0,2 M NH <sub>4</sub> oksalatas (pH 3)/ 1h	Mn(IV) surištą su dalelėmis

#### 2.1.10.5 Geležies formų nustatymas

Su dalelėmis lengvai surišta geležis (Fe(II) ir Fe(III)) buvo ištraukiama panaudojant 0,5 M HCl tirpalą (0,5 h). Geležies koncentracija (Fe(II)) ištraukoje buvo nustatoma spektrofotometriškai su ferozino tirpalu (Voillier ir kt., 2000). Kadangi pastarasis reagentas reaguoja tik su redukuota geležimi (Fe(II)), 1 ml ištrauka buvo sumaišoma su 0,2 ml hidrosilamino hidrochlorido tirpalu, kuris oksiduotą geležį (Fe(III)) paverčia į Fe(II). Atlikus spektrofotometrinę analizę bendra geležies (Fe(II+III)). Fe(III) koncentracija buvo apskaičiuojama atimant Fe(II) iš Fe(II+III).

#### 2.1.10.6 Chlorofilo a koncentracijos nuosėdose nustatymas

Nuosėdų paviršiuje chlorofilas *a* įvertintas atpjauant 5 mm sluoksnį iš mažų kolonėlių (Ø 4,6 cm, ilgis 25 cm). Atpjautas sluoksnis buvo gerai išmaišomas ir su 2 ml švirkštu, nupjautu galu, paimama 1 cm<sup>3</sup>. Supiltas mėginys į 15 ml centrifuginį mėgintuvėlį laikomas -20°C temperatūroje iki analizės.

#### 2.1.10.7 Nuosėdų dalelių dydžio įvertinimas

Nuosėdų dalelių dydžio pasiskirstymas buvo įvertinamas atpjauant 0–2 cm sluoksnį iš mažų kolonėlių (Ø 4,6 cm, ilgis 25 cm), po chlorofilo *a* analizės. Atpjautos nuosėdos buvo patalpinamos į užspaudžiamus PE maišiuokus. Analizei buvo naudojamos šlapios nuosėdos ir matavimai atliekami per 48 val. su lazeriniu dalelių analizatoriumi (Analysette 22 micro tec plus, Fritsch. Matavimo diapazonas 0,08–2000 µm).

#### 2.1.11 Analitinės cheminių junginių analizės

Ištirpusi neorganinė anglis ir šarmingumas marių vandenyje iš *in situ* ir apykaitos matavimų įvertinta titruojant su 0,1 M HCl (Anderson ir kt. 1986). Ištirpusios O<sub>2</sub> ir N<sub>2</sub> dujos iš apykaitos matavimų nustatytos pagal O<sub>2</sub>:Ar ir N<sub>2</sub>:Ar santykį su masių spektrometru (angl. MIMS - membrane inlet mass spectrometer, Bay instruments). Su tuo pačiu prietaisu buvo įvertinta azoto dujų izotopinė sudėtis (<sup>29</sup>N<sub>2</sub> and <sup>30</sup>N<sub>2</sub>) iš denitrifikacijos eksperimento su <sup>15</sup>NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

Maistmedžiagių (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, SiO<sub>2</sub><sup>-</sup>) koncentracijos *in situ*, apykaitos ir porinio vandens mėginiuose išmatuotos su nepertraukiamo srauto analizatoriumi (San<sup>++</sup>, Skalar, jautrumas 0.3 µmol l<sup>-1</sup>) naudojant standartinius kolorimetrinius metodus (Grasshoff ir kt., 1983). Tuo tarpu ištirpęs amonis (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) buvo nustatomas salicilato-hypochlorito metodu, naudojant nitroprusidą kaip katalizatorių ir išmatuojant absorbcija su spektrofotometru (Genesis 20, Thermo Scientific) (Bower ir Holm-Hansen 1980). Porinio vandens analizė buvo atliekama praskiedžiant mėginius iki 10 kartų.

Ištirpusios organinės anglies koncentracija *in situ*, apykaitos ir porinio vandens mėginiuose nustatyta aukštoje temperatūroje (680°C) katalitinės oksidacijos/NDIR metodu su Shimadzu TOC analizatoriumi, tuo tarpu azotą - TNM-L moduliu - chemiliuminescencijos metodu. Porinio vandens analizė buvo atliekama praskiedžiant mėginius iki 10 kartų.

Fosforas nustatytas dalelinėje ir ištirpusioje formose, atskiriant jas filtravimo metu (GF/F filtras, 0,7 µm porų dydis). Bendras fosforas (TP) ir bendras ištirpęs fosforas (TDP) vandenyje

išmatuoti spektrofotometriškai (880 nm, Genesis 20) po rūgštinės peroksodisulfatinės oksidacijos (Grasshoff ir kt., 1983). Ištirpęs organinis fosforas (DOP) buvo apskaičiuojamas iš TDP atimant  $\text{PO}_4^{3-}$ . Dalelinis fosforas (PP) suspenduotoje medžiagoje nustatytas iš TP atimant TDP. Taip pat buvo išskirtos dalelinės organinės (TPOP) ir neorganinės (TPIP) fosforo formos suspenduotoje medžiagoje, surinktoje ant GF/F filtrų. Filtrai TPIP analizei buvo džiovinami 60°C temperatūroje 24 val., tuo tarpu TPP analizei deginami 550°C temperatūroje 4 val. Po to P skirtingose formose nustatomas spektrofotometriškai (880 nm) ištirpinus filtrus 1 M HCl 24 val. pagal Aspila ir kt. (1976). Dalelinis organinis fosforas (TPOP) apskaičiuotas iš TPP atimant TPIP.

Ištirpusi  $\text{Fe}^{2+}$  ir  $\text{Mn}^{2+}$  koncentracija *in situ*, apykaitos ir porinio vandens mėginiuose nustatyta atominės absorbcijos spektrometru (AA240FS, Varian, jautrumas 1  $\mu\text{mol l}^{-1}$ ). Tuo pačiu prietaisu buvo matuojama  $\text{Mg}^{2+}$  ir  $\text{Ca}^{2+}$  koncentracija paviršiniame ir poriniame vandenyje. Dalis  $\text{Mg}^{2+}$  ir  $\text{Ca}^{2+}$  analizės buvo atlikta ir su jonų chromatografu (Dionex, 2,5  $\mu\text{mol Ca}^{2+} \text{ l}^{-1}$  ir 4  $\mu\text{mol Mg}^{2+} \text{ l}^{-1}$ ). Mn(IV) koncentracija ištraukose iš dugno nuosėdų nustatoma atominės absorbcijos spektrometru (AAFC, Varian, jautrumas 0.7  $\mu\text{mol l}^{-1}$ ). Porinio vandens analizė buvo atliekama praskiedžiant mėginius iki 5,9 karto.

POC ir PN koncentracija suspenduotoje medžiagoje ant filtrų nustatyta UC DAVIS (Kalifornija, JAV) izotopų laboratorijoje su masių spektrometru (PDZ Europa 20-20, Sercon Ltd) susietu su elementų analizatoriumi (Vario EL Cube Elementar, Analysen systeme GmbH). Analitinių matavimų tikslumas yra <0.1 %. Prieš atliekant analizę, pirmiausia, išdžiovinti filtrai buvo patalpinami į koncentruotos HCl rūgšties atmosferą, siekiant pašalinti karbonatus. Vėliau pakartotinai išdžiovinti filtrai buvo supakuojami į alavo kapsules ir analizuojami.

POC ir PN kiekis dugno nuosėdose įvertintas Fizinių mokslų ir technologijų centro laboratorijoje su masių spektrometru (Thermo Scientific Delta V) susietu su elementų analizatoriumi (Thermo Electron Corporation FlashEA 1112).

Chlorofilas *a* suspenduotoje medžiagoje ir dugno nuosėdose įvertintas išekstrahavus 90 % acetono tirpale 4°C temperatūroje (24 val.), vėliau jo koncentracijas išmatuojant spektrofotometriniu metodu pagal Jeffrey ir Humphrey (1975) ir Parsons ir kt. (1984).

Dalelinis silicis suspenduotoje medžiagoje nustatomas po 0,2 N NaOH ekstrakcijos (95°C, 1 val.), koncentracijas išmatuojant su nepertraukiamo srauto analizatoriumi tokiu pačiu metodu kaip  $\text{SiO}_2$ .

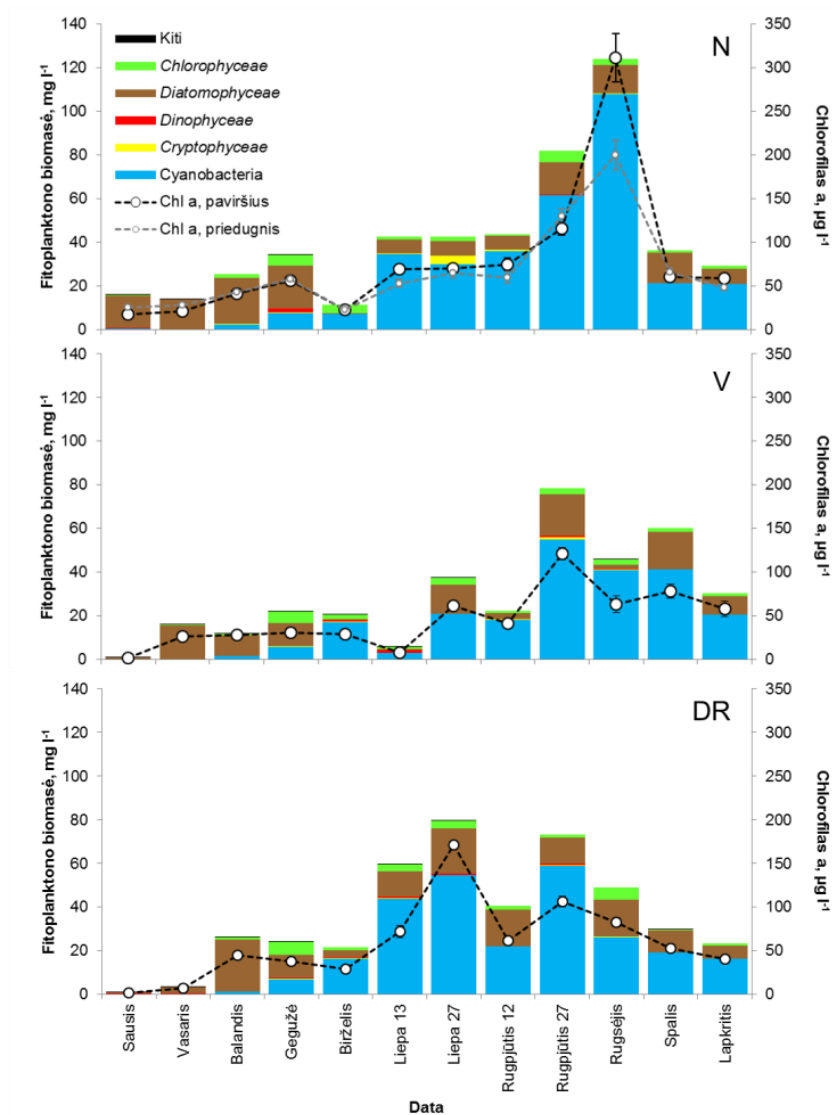
## 2.2 REZULTATAI

### 2.2.1 Kuršių marių vandens žydėjimo intensyvumas 2015 metais

2015 metais buvo nustatyta Kuršių marioms būdinga sezoninė chlorofilo *a* (chl-*a*) koncentracijos kaita (2.6 pav.). Mažiausia koncentracija buvo nustatyta šaltuoju metų laiku, ledui dengiant marias (sausio–vasario mėn.), o didžiausios vasarą ir rudens pradžioje (liepos–spalio mėn.).

N tyrimų stotyje sausio–gegužės mėn. chl-*a* koncentracija paviršiniame sluoksnyje kito nuo 18 iki 56  $\mu\text{g l}^{-1}$ , vidutiniškai buvo  $34 \pm 18 \mu\text{g l}^{-1}$ . Nuo liepos mėn. chl-*a* koncentracija padidėjo 2 kartus, o rugsėjo mėn. buvo nustatytas maksimumas, t.y. 312  $\mu\text{g l}^{-1}$ . Spalio–lapkričio mėn. chl-*a* buvo 5 mažesnė ir neviršijo 70  $\mu\text{g l}^{-1}$ . Priedugnyje chl-*a* koncentracija nesiskyrė nuo nustatytų paviršiniame sluoksnyje, išskyrus rugsėjo mėn., kuomet priedugnyje buvo nustatyta 200  $\mu\text{g l}^{-1}$  koncentracija. Panaši chl-*a* koncentracijos kaita buvo nustatyta V ir DR tyrimų stotyse, tačiau koncentracija vidutiniškai buvo 2 kartus mažesnė.

2015 m. buvo stebima tipiška fitoplanktono dumblių ir melsvabakterių sezoninė kaita būdinga Kuršių marioms. N tyrimų stotyje jų biomasė buvo didesnė nei 100  $\text{mg l}^{-1}$  ir atitiko hiperžydėjimo lygį (Реймерс, 1990). Kitais pavasario–vasaros–rudens mėnesiais fitoplanktono biomasė kito nuo 20 iki 80  $\text{mg l}^{-1}$  ir atitiko intensyvaus vandens „žydėjimo“ lygį. Žiemos–pavasario mėn., fitoplanktono bendrijoje dominavo titnaginiai dumbliai (*Diatomophyceae*), kurių biomasė sudarė daugiau nei 80 % bendros fitoplanktono biomasės. Nuo vasaros pradžios (birželio mėn.) fitoplanktono bendrijoje vyravo dažniausiai Kuršių mariose vandens „žydėjimą“ sukeliančios melsvabakterės (*Cyanophyceae*). Lapkričio mėn. buvo nustatytas užsitęsęs melsvabakterių intensyvus vystymasis kartu su titnaginiais dumbliais (*Diatomophyceae*).



**2.6 pav.** Chlorofilo *a* koncentracijos ( $\mu\text{g l}^{-1}$ ), fitoplanktono ir skirtingų fitoplanktono grupių biomasės ( $\text{mg l}^{-1}$ ) pasiskirstymas akumuliacinėje, (N stotis), tranzitinėje (V stotis) ir sekloje (DR) sedimentacinėje marių aplinkoje, 2015 metais.

### 2.2.2 Dalelinis organinis azotas paviršinėse nuosėdose

Dalelinio organinio azoto (PON), kuris literatūroje dažnai vadinamas dalelinis organinis (PON), kiekis yra didžiausias dumblo nuosėdose, akumuliacinėje aplinkoje (žr. 2.9 lentelę). Smėlyje, esančiame sekloje (DR stotis) ir gilesnėje tranzitinėje (V stotis) marių aplinkoje, PON kiekis buvo apie 50 kartų mažesnis ir neviršijo 0,04 % nuo sausos nuosėdų masės.

**2.9 lentelė.** Vidutinis ( $\pm\text{SN}$ ,  $n=3$ ) bendrojo azoto (PON) kiekis (% nuo sausos nuosėdų masės) dugno nuosėdose, trijose tyrimo stotyse vasarį, balandį, rugpjūtį ir lapkritį 2015 metais. ND - duomenų nėra.

Nuosėdų sluoksnis	Stotis	Data			
		2015/02	2015/04	2015/08	2015/11

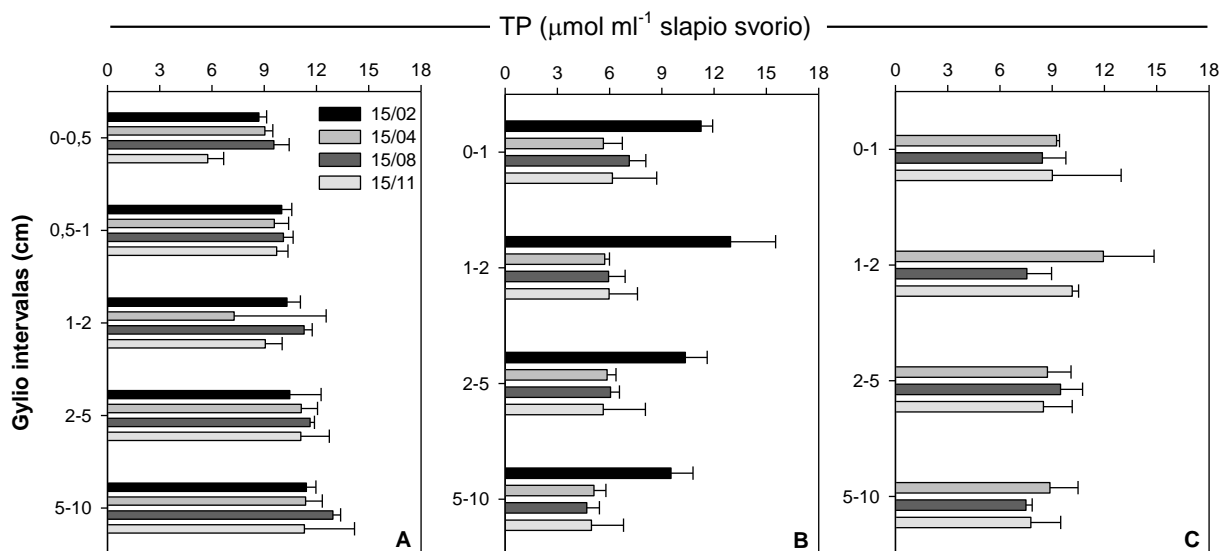
0–2 cm	N	1,94±0,10	1,83±0,06	1,48±0,05	1,39±0,06
	V	0,04±0,00	0,02±0,00	0,02±0,00	0,02±0,00
	DR	ND	0,02±0,00	0,02±0,00	0,02±0,00
2–5 cm	N	1,87±0,13	1,60±0,04	1,36±0,04	1,30±0,30
	V	0,03±0,00	0,02±0,00	0,00±0,00	0,02±0,00
	DR	ND	0,02±0,00	0,02±0,00	0,02±0,00
5–10 cm	N	1,52±0,12	1,30±0,15	1,25±0,06	1,32±0,21
	V	0,03±0,00	0,01±0,01	0,02±0,00	0,02±0,00
	DR	ND	0,01±0,01	0,01±0,01	0,01±0,01

Įdomu pastebėti, kad žiemos metu visose dugno nuosėdose vidutinis PON kiekis buvo didesnis, lyginant su pavasariu, vasara ir rudeniu. Viena iš galimų priežasčių lėmusių didesnę vidutinį PON kiekį nuosėdose buvo palankios sedimentacinės sąlygos. Žiemos metu Kuršių marios buvo padengtos plonu ledu, kuris veikė kaip barjeras ir neleido vėjui sukelti bangų, galinčių resuspenduoti nuosėdas. Dėl šios priežasties iš vandens storumės nusėdusi organinė medžiaga tiesiog akumuliuosi paviršinėse nuosėdose. Taip pat svarbu paminėti, kad nusėdusi organinė medžiaga buvo lėtai mineralizuojama dėl itin žemos temperatūros. Todėl tai nulėmė didesnę akumuliaciją PON nuosėdose nei kitais metų sezonais kai nusėdusios organinės medžiagos kaupimasis yra ribotas dėl aktyvių biogeocheminių procesų ir resuspencijos.

### 2.2.3 Fosforas dugno nuosėdos

Bendrojo organinio ir neorganinio P formų suminė koncentracija buvo įvertinta 2015 metais trijose tyrimo stotyse (2.7 pav.). Sezoniniai tyrimai parodė, kad didžiausias TP kiekis 0–10 cm sluoksnyje nustatytas žiemą giliau esančiame smėlyje ( $11,0 \pm 1,9 \mu\text{mol/ml}$  šlapio svorio, V stotis). Tačiau pavasarį TP kiekis šioje stotyje sumažėjo beveik 2 kartus ir išliko beveik nepakitęs kitais sezonais ( $5,7 \pm 1,3 \mu\text{mol/ml}$  šlapio svorio, apjungus duomenis). Sekliau esančiame smėlyje vidutinė TP koncentracija pavasario – vasaros – rudens laikotarpiu buvo  $8,9 \pm 1,9 \mu\text{mol/ml}$  (šlapio svorio) ir svyravo nuo 5,9 iki 15,3  $\mu\text{mol/ml}$  (šlapio svorio).

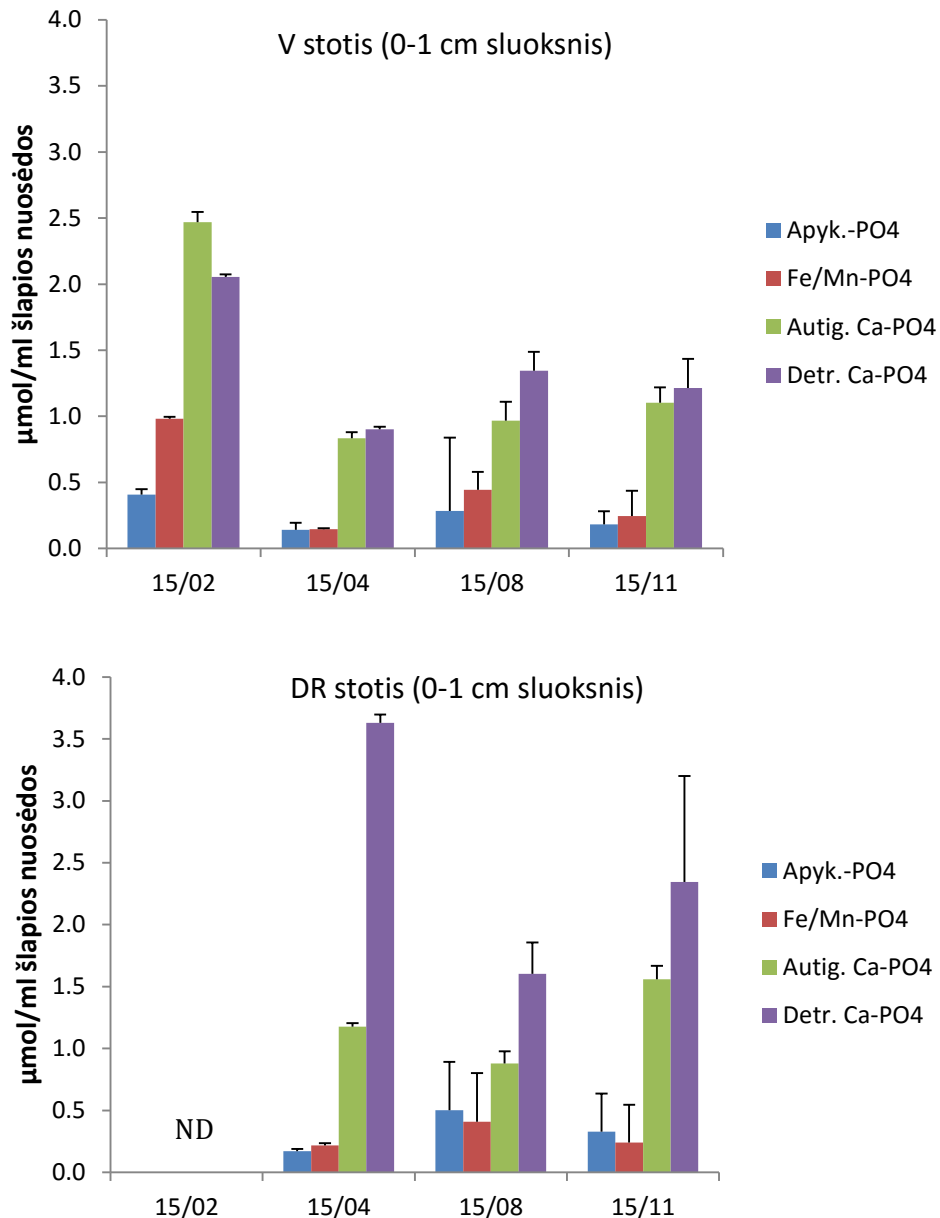
Priešingai nei giliau esančiame smėlyje, dumblo nuosėdose (N stotis) TP koncentracija buvo gana pastovi metų laikotarpyje visuose tirtuose nuosėdų sluoksniuose (2.7 pav.). Tačiau įdomu pastebėti, kad tirtu laikotarpiu dumblo nuosėdose vidutinė TP koncentracija palaipsniui didėjo su gyliu nuo  $8,3 \pm 1,7 \mu\text{mol/ml}$  (šlapias svoris) 0–0,5 cm sluoksnyje iki  $11,8 \pm 1,5 \mu\text{mol/ml}$  (šlapias svoris) 5–10 cm sluoksnyje (apjungus duomenis).



2.7 pav. Vidutinė ( $\pm$ SN) bendrojo fosforo (TP) koncentracija 0 – 10 cm sluoksnyje dumblo nuosėdose (A, N stotis) sekliame (C, DR stotis) ir giliau esančiame smėlyje (B, V stotis), Kuršių mariose 2015 metais. DR stotyje matavimų neatlikta 15/02.

Siekiant nustatyti neorganinio P judrumą nuosėdose ir jo prieinamumą priedugnio vandeniui, buvo atlikta jo skirtingų formų ekstrakcija. Nustatyta, kad smėlyje (V ir DR stotyse) didžioji dalis neorganinio P buvo kalcio mineralų sudėtyje (2.8 pav.). Giliau, tranzitinėje aplinkoje esančiame smėlyje (V stotyje) dominavo kalcio autogeninio mineralo (Auth Ca~PO<sub>4</sub>) surištas P, kuris gali atsipalaiduoti dėl pasikeitusio pH poriniame vandenyje. Tuo tarpu sekliame smėlyje (DR stotyje) neorganinis P vyravo detritinėje formoje surištas su kalcio mineralu (Detr. Ca~PO<sub>4</sub>). Pagrindinis šios cheminės P formos šaltinis yra kristalinės uolienos erozija upių baseino teritorijoje ir tolimesnė pernaša į marias. Įprastai detritinė neorganinio P forma yra nereaktyvi ir biologiškai neprieinama gyviesiems organizmams. Labiau reaktyvių neorganinio P formų (Apyk.-PO<sub>4</sub> ir Fe~PO<sub>4</sub>) koncentracija buvo nedidelė smėlio nuosėdose.

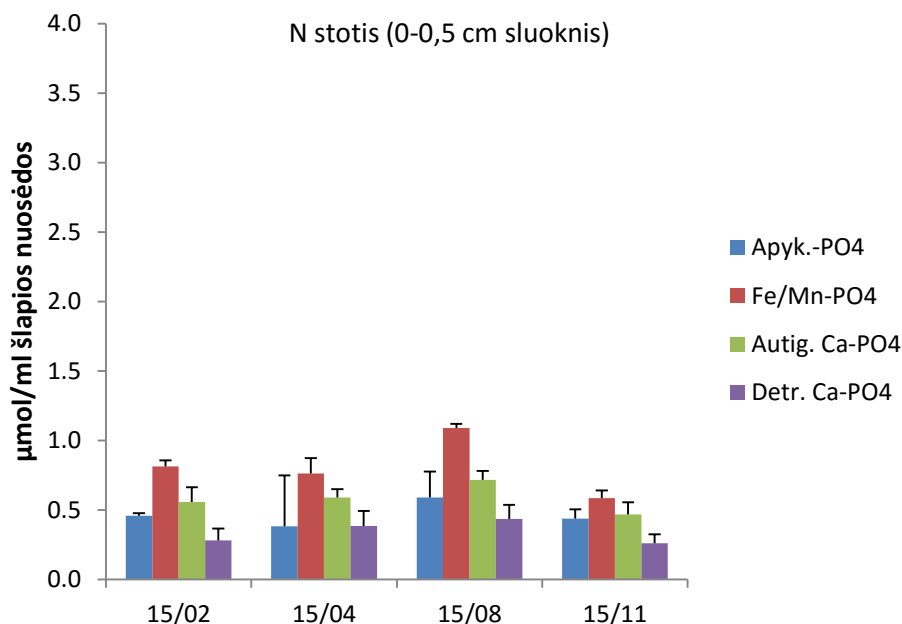
Sezoniniai tyrimai parodė, kad didesnis šių formų kiekis susikaupia vasaros pabaigoje (rugpjūtį), galimai dėl aukštesnės vandens temperatūros ir intensyvesnio nuosėdų metabolizmo. Pastarieji veiksniai lemia greitesnę organinio P mineralizaciją ir PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> atsipalaidavimą iš Auth Ca~PO<sub>4</sub> dėl pasikeitusio pH. Nepaisant padidėjusio P judrumo smėlio nuosėdose, akumuliacija priedugnio vandenyje išlieka ribota dėl didelės metalų (Fe, Mn, Al) koncentracijos ir veiksnių, kurie sugeba surišti ir sulaikyti neorganinį P (Zilius ir kt., 2015). 2015 metais atlikti bendros PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> apykaitos matavimai parodė, kad P išsiskyrimas iš dugno nuosėdų yra nežymus. Vis dėlto išlieka sunkiai paaiškinama, kodėl žiemą (vasarį) V stotyje neorganinio P koncentracijos yra didesnės nei likusiais tirtais sezonais. Tikėtina, kad tai gali būti susiję su dugno nuosėdų heterogeniškumu.



**2.8 pav.** Vidutinė ( $\pm$ SN, n=3) neorganinio fosforo formų koncentracija paviršinėse nuosėdose V ir DR stotyse, Kuršių mariose skirtingais tyrimo sezonais 2015 metais. ND – nėra duomenų.

Panašios neorganinio P tendencijos buvo stebimos ir dumblo nuosėdose (N stotis, 2.9 pav.), kuriose judrių formų tokių kaip Apyk.-PO<sub>4</sub> ir Fe/Mn-PO<sub>4</sub> koncentracija buvo didžiausia vasaros pabaigoje (rugpjūčio mėnesį). Šiuo periodu dėl nedidelio O<sub>2</sub> prasiskverbimo gilio į dugno nuosėdas ir mažos NO<sub>x</sub><sup>-</sup> koncentracijos poriniame vandenyje įsigali redukciniai-oksidaciniai procesai, lemiantys metalų redukciją ir PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> atsipalaidavimą bei jo tolimesnę akumuliaciją priedugnio vandenyje (Zilius ir kt., 2014, 2015). Šiam sąlygų atsiradimui palankus ir didesnis gylis, nes vasaros metu dėl stratifikacijos ir intensyvaus metabolizmo vandens stovymeje gali susidaryti bedegoninės sąlygos priedugnio sluoksnyje (Zilius ir kt., 2014). Nors bendro neorganinio P kiekis pagal šlapią svorį dumblo nuosėdose yra mažesnis nei smėlyje, tačiau

pagrinde čia vyrauja judrios formos – Apyk.-PO<sub>4</sub> ir Fe/Mn-PO<sub>4</sub>, ir jų koncentracija yra ženkliai didesnė nei smėlyje. Vadinasi, vasaros metu dumblo nuosėdos galėtų būti svarbus PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> šaltinis vandens stovyme susiformavus specifinėms aplinkos sąlygoms. Jų visumą apima tarpusavyje susijusių procesų seka, kaip padidėjęs organinės medžiagos kaupimasis nuosėdose → sumažėjęs O<sub>2</sub> įsiskverbimas į nuosėdas → suintensyvėjusi Fe/Mn redukcija → padidėjęs P išsiskyrimas.

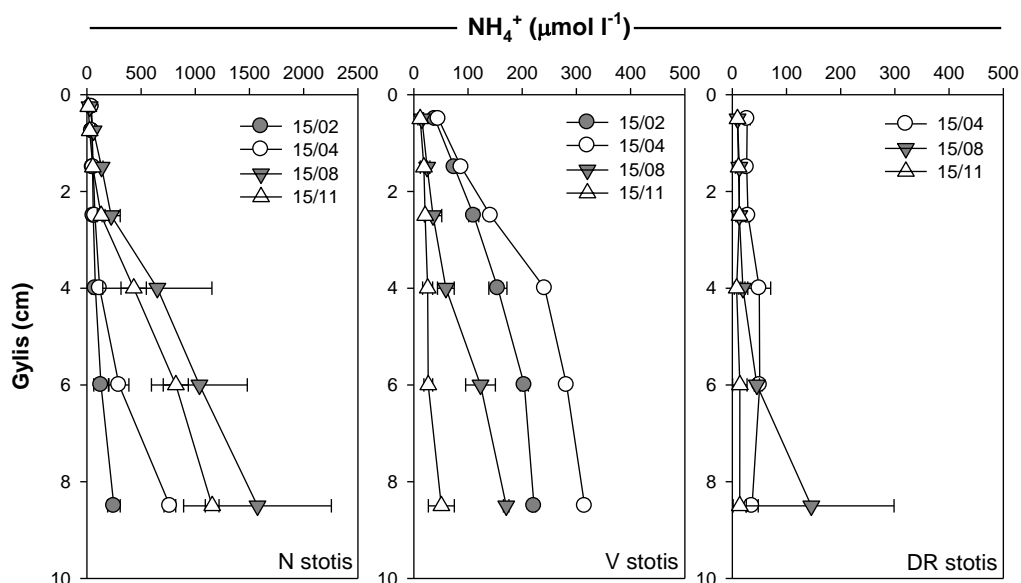


**2.9 pav.** Vidutinė ( $\pm$ SN, n=3) neorganinio fosforo formų koncentracija paviršiniame nuosėdų sluoksnyje N stotyje, Kuršių mariose skirtingais tyrimo sezonais 2015 metais.

## 2.2.4 Maistmedžiagių koncentracija poriniame vandenyje

### 2.2.4.1 Amonio azoto kiekis poriniame vandenyje

2015 metais matuoti sezoniniai amonio azoto (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) koncentracijos pokyčiai nuosėdų poriniame vandenyje parodė, kad kaip ir ankstesniais metais, tai yra dominuojanti neorganinio N forma ir intensyviausiai kaupiasi smulkaus dumblo nuosėdose (N stotis), esančiose akumuliacinėje Kuršių marių aplinkoje (2.10 pav.). Dumble NH<sub>4</sub><sup>+</sup> koncentracija poriniame vandenyje palaipsniui didėja su nuosėdų gyliu iki 2303,9 μmol l<sup>-1</sup>. Nustatyta, kad vasaros metu NH<sub>4</sub><sup>+</sup> koncentracija yra didesnė nei kitais tirtais metų laikais. Tai leidžia spręsti apie intensyvią NH<sub>4</sub><sup>+</sup> regeneraciją ir akumuliaciją poriniame vandenyje.

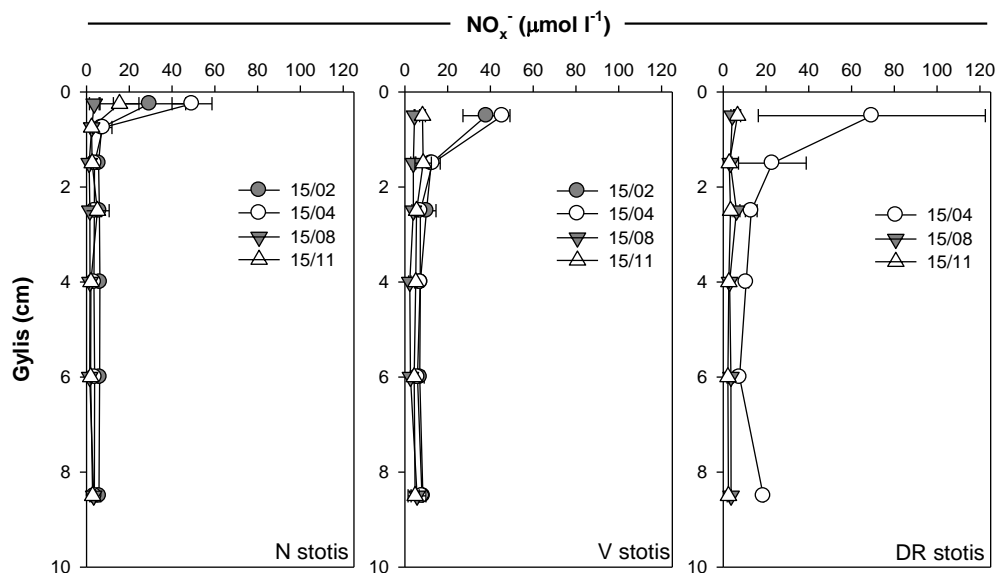


**2.10 pav.** Vidutinė ( $\pm \text{SN}$ , n=3) amonio azoto ( $\text{NH}_4^+$ ) koncentracija Kuršių marių dugno nuosėdų poriniame vandenyje skirtingais tyrimo sezonais 2015 metais. DR stotyje matavimų neatlikta 15/02.

Smėlio poriniame vandenyje  $\text{NH}_4^+$  koncentracija yra ženkliai mažesnė ir sudaro nuo 5,1  $\mu\text{mol l}^{-1}$  iki 330,5  $\mu\text{mol l}^{-1}$  (2.10 pav.). Skirtingai nei dumblo nuosėdose,  $\text{NH}_4^+$  koncentracija smėlio poriniame vandenyje yra didesnė žiemą ir pavasarį viršutiniame 10 cm sluoksnyje, atitinkamai vidutinė 93,9 $\pm$ 74,9 ir 200,5 $\pm$ 264,5  $\mu\text{mol l}^{-1}$  koncentracija. Nustatyta, kad  $\text{NH}_4^+$  koncentracija poriniame vandenyje yra mažiausia sekliai esančiame smėlyje (DR stotis), lyginant su giliau slūgsančiame (V stotis).

#### 2.2.4.2 Suminis nitratų ir nitritų azoto kiekis poriniame vandenyje

Nustatyta, kad tiek nitritų, tiek ir nitratų azotas labiausiai kaupiasi paviršiniame marių nuosėdų sluoksnyje (0–2 cm), kuriame jų suminė ( $\text{NO}_x^-$ ) koncentracija yra nuo 3,6 iki 111,0  $\mu\text{mol l}^{-1}$  (2.11 pav.). Nitratų yra dominuojanti oksiduoto neorganinio N forma visuose tirtuose nuosėdų tipuose. Didžiausia  $\text{NO}_x^-$  koncentracija poriniame vandenyje išmatuota žiemą ir pavasarį, likusiais metų sezonais dėl mažėjančio  $\text{O}_2$  prasiskverbimo gylio į nuosėdas ji ženkliai sumažėja. Priešingai nei  $\text{NH}_4^+$  pasiskirstymo tendencijos, giliau nei 2 cm,  $\text{NO}_x^-$  koncentracija visada buvo mažesnė nei  $< 10 \mu\text{mol l}^{-1}$ . Tuo tarpu akumuliacinėje aplinkoje (N stotis), kurioje nedidelis  $\text{O}_2$  prasiskverbimo gylys į nuosėdas,  $\text{NO}_x^-$  koncentracija dumblo poriniame vandenyje neviršijo 5  $\mu\text{mol l}^{-1}$ .

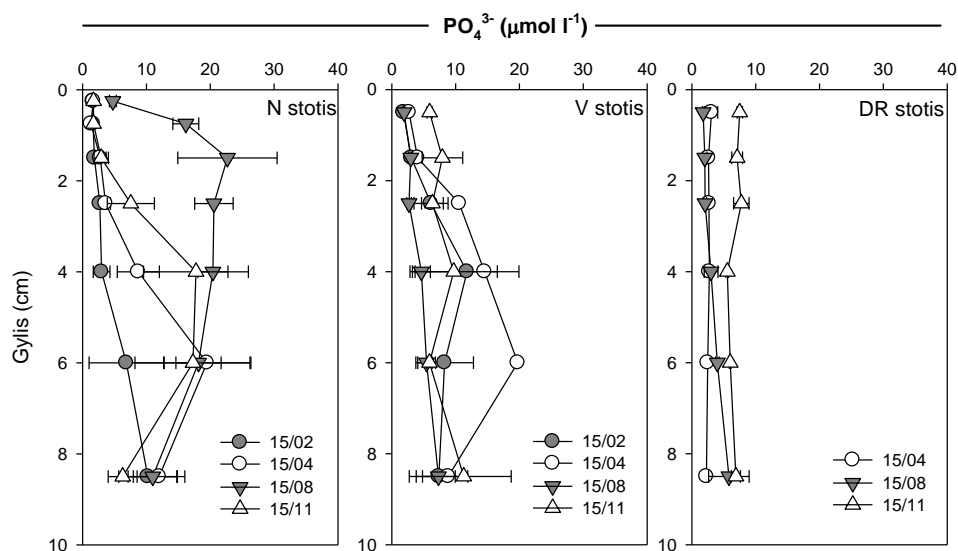


**2.11 pav.** Vidutinės ( $\pm$ SN,  $n=3$ ) suminė nitritų ir nitratų ( $\text{NO}_x^-$ ) koncentracijos vertikalus pasiskirstymas Kuršių marių dugno nuosėdų poriniame vandenyje skirtingais tyrimo sezonais 2015 metais. DR – stotyje 15/02 matavimai nedaryti.

#### 2.2.4.3 Ištirpusio reaktyvaus fosforo kiekis poriniame vandenyje

2015 metais didesni ištirpusio reaktyviojo fosforo ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) kiekiai buvo susikaupę marių dumblyje (2.12 pav.), kuriame koncentracija palaipsniui didėjo į nuosėdų gylį iki  $29,4 \mu\text{mol l}^{-1}$ . Sezoniniai tyrimai rodo, kad šių nuosėdų paviršiniame 0–3 cm sluoksnyje  $\text{PO}_4^{3-}$  kiekis kinta labiausiai, vasaros metu koncentracija vidutiniškai padidėjo 7–8 kartus.  $\text{PO}_4^{3-}$  koncentracijos gradientas tarp nuosėdų ir priedugnio vandens rodo, kad P teoriškai visada yra transportuojamas iš dumblo nuosėdų į priedugnio vandenį.

Smėlio poriniame vandenyje  $\text{PO}_4^{3-}$  koncentracija buvo nuo 1,5 iki  $24,6 \mu\text{mol l}^{-1}$  visame tirtame nuosėdų sluoksnyje. Žiemos–pavasario–vasaros sezonais  $\text{PO}_4^{3-}$  koncentracija beveik nekito, tačiau vėliau, rudenį padidėjo iki 2 kartų. Nedidelis  $\text{PO}_4^{3-}$  koncentracijos gradientas tarp nuosėdų ir priedugnio vandens rodo, kad fosforo akumuliacija priedugnio vandenyje yra ribota.



**2.12 pav.** Vidutinės ( $\pm$ SN,  $n=3$ ) fosfatų ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) koncentracijos vertikalus pasiskirstymas Kuršių marių dugno nuosėdų poriniame vandenyje skirtingais tyrimo sezonais 2015 metais. DR stotyje matavimų neatlikta 15/02.

## 2.2.5 Bendroji maistmedžiagių apykaita tarp dugno nuosėdų ir priedugnio vandens

Paros apykaitos greičiai, gauti naudojant matavimus šviesiu ir tamsiu paros metu rodo, kad 2015 metais bendri  $\text{NH}_4^+$  apykaitos greičiai per dieną reikšmingai skiriasi tarp tyrimo vietų ir sezonų. Šių tyrimų metu nustatyta, kad vyraujančios dugno nuosėdos gali funkcionuoti tiek kaip akumuliacinė aplinka  $\text{NH}_4^+$  iš priedugnio vandens tiek kaip šaltinis, priklausomai nuo sezono ( $-1,0$ – $11,6 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) (2.13A pav.).

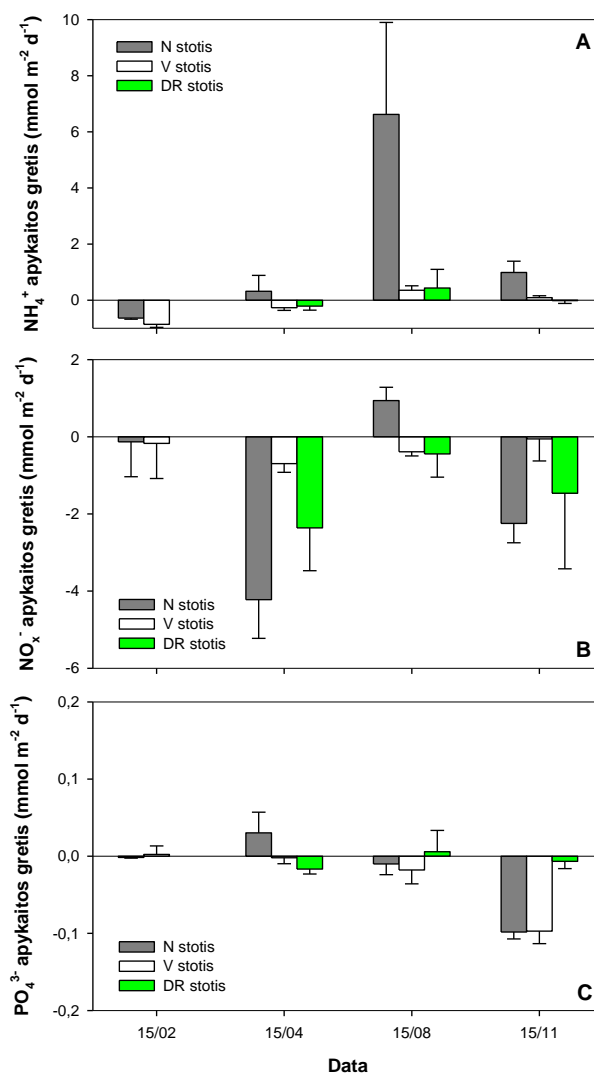
Tyrimai rodo, kad svarbiausias  $\text{NH}_4^+$  šaltinis yra dumblo nuosėdos (N stotis), ypač vasaros pabaigoje kada apykaitos greičiai yra didžiausi ( $6,6 \pm 3,3 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ). Dėl intensyvios  $\text{NH}_4^+$  akumuliacijos vandenyje, jo koncentracija per dieną gali padidėti iki 22 % jeigu atsižvelgsime į tai, kad iš  $1 \text{ m}^2$  dumblo išsiskyręs amonis kaupiasi  $3,5 \text{ m}$  vandens storumėje ir nevyksta horizontalaus vandens masių maišymosi. Tuo tarpu smėlio, esančio tiek sekloje (DR stotis) tiek ir gilesnėje (V stotis) marių dalyje, vaidmuo kaupti ar išskirti  $\text{NH}_4^+$  yra nedidelis. Reikia paminėti, kad žiemos metu visos tirtos dugno nuosėdos funkcionuoja kaip akumuliacinė aplinka  $\text{NH}_4^+$  iš priedugnio vandens.

2015 metais sekliu esančias smėlio nuosėdas (DR stotis) nuolat pasiekė fotosintetiškai aktyvios radiacijos srautas, reikalingas fotosintezei vykti. Bendrosios  $\text{NH}_4^+$  apykaitos matavimai parodė, kad šviesoje vyksta intensyvi amonio asimiliacija (2.10 lentelė). Tuo tarpu tamsoje  $\text{NH}_4^+$  asimiliacijos greičiai ženkliai sumažėja, o kartais net  $\text{NH}_4^+$  išsiskiria iš nuosėdų. Giliau, tranzitinėje aplinkoje esantis smėlis buvo apšviestas tik pavasarį (balandžio mėn.) Tačiau šioje tik sezoniškai apšviestoje aplinkoje šviesos poveikis buvo reikšmingas  $\text{NH}_4^+$  apykaitai. Remiantis

tyrimais galime teigti, kad šviesoje dugno nuosėdos funkcionuoja kaip akumuliacinė aplinka maistmedžiagėms iš vandens storumės.

**2.10 lentelė.** Vidutiniai ( $\pm$ SN, n=5) bendrosios amonio azoto (A) apykaitos greičiai šviesoje ir tamsoje DR ir V stotyje Kuršių mariose 2015 metais. Teigiama reikšmė reiškia atsipalaidavimą iš nuosėdų į vandenį, neigiama – transportą iš vandens į dugno nuosėdas. Apykaitos pokytis, rodo kiek greitis pasikeitė tamsoje.

	Apykaitos greičiai ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{h}^{-1}$ )		Apykaitos pokytis tamsoje
	Šviesoje	Tamsoje	
<b>DR stotis</b>			
15/04	$-11,0 \pm 6,1$	$-6,0 \pm 6,6$	+5,0
15/08	$-8,3 \pm 12,2$	$65,1 \pm 57,0$	+73,4
15/11	$-3,8 \pm 4,0$	$3,6 \pm 2,9$	+7,4
<b>V stotis</b>			
15/04	$-20,1 \pm 7,1$	$1,7 \pm 2,2$	+21,8



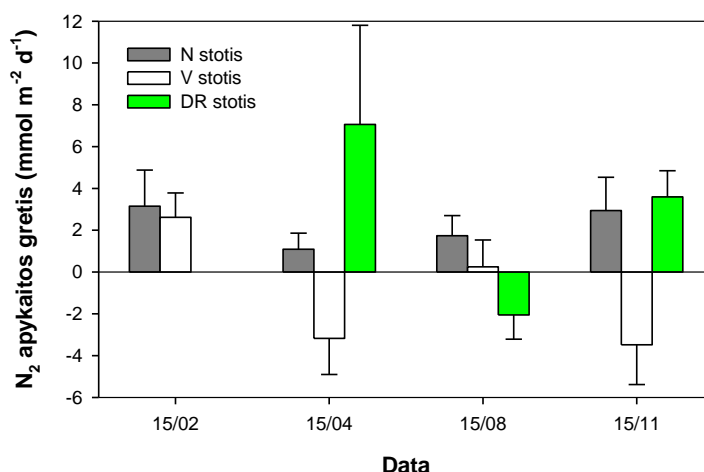
**2.13 pav.** Vidutiniai ( $\pm$ SN, n=5) bendrosios amonio azoto (A), suminio nitritų ir nitratų azoto (B) ir ištirpusio reaktyvaus fosforo (C) apykaitos greičiai Kuršių mariose 2015 metais. Teigiama reikšmė reiškia atsipalaidavimą iš nuosėdų į vandenį, neigiama – transportą iš vandens į dugno nuosėdas.

Išmatuotas bendrosios  $\text{NO}_x^-$  apykaitos greitis tamsoje kito nuo  $-5,3$  iki  $1,4 \text{ mmol m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  marių vyraujančiose nuosėdose (2.13B pav.). Tyrimai parodė, kad Kuršių marių nuosėdos 2015 metais, visais tirtais laikotarpiais, funkcionavo kaip efektyvi akumuliacinė aplinka nitratams ir nitritams iš priedugnio vandens, išskyrus dumblą (N stotis) vasaros metu. Šių dugno nuosėdų  $1 \text{ m}^2$  vasaros metu per dieną vidutiniškai išskyrė  $0,9 \text{ mol NO}_x^-$ .

Apibendrinus 2015 metų tyrimus akivaizdu, kad  $\text{PO}_4^{3-}$  bendrosios apykaitos greičiai buvo nedideli ( $-0,1 - 0,1 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) lyginant su ankstesniais metais (2011 m,  $0,7 \text{ mmol PO}_4^{3-} \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , Zilius ir kt., 2014). Kuršių mariose  $\text{PO}_4^{3-}$  daugiausiai kaupėsi, dugno nuosėdose, tuo tarpu akumuliacija priedugnio vandenyje buvo ribota (2.13C pav.). Ištirpęs reaktyvus fosforas išsiskyrė tik iš dumblo nuosėdų pavasarį ( $0,03 \pm 0,03 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) ir smėlio vasarą ( $0,01 \pm 0,03 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ). Pastebėta, kad rudenį buvo intensyviausia  $\text{PO}_4^{3-}$  akumuliacija iš priedugnio vandens į dugno nuosėdas. Vis dėlto esant netgi ribotam dugno nuosėdų paviršiaus apšviestumui N ir V stotyse,  $\text{PO}_4^{3-}$  buvo asimiliuojamas ir giliau esančiose dumblo nuosėdose.

#### 2.2.6 Azoto redukcija ir fiksacija dugno nuosėdose

Azotas iš Kuršių marių ekosistemos gali būti pašalinamas redukuojant jo oksiduotas formas ( $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) dugno nuosėdose denitrifikacijos (disimiliacininė  $\text{NO}_3^-$  redukcija) arba anammox (anaerobinė  $\text{NH}_4^+$  oksidacija nitritų pagalba) procesų metu, kai susidaro  $\text{N}_2$  dujos. Tuo tarpu redukcijos procesams priešingas procesas yra N fiksacija, kurios metu yra asimiliuojamos vandenyje ištirpusios  $\text{N}_2$  dujos. Matuojant bendrą  $\text{N}_2$  dujų pokytį eksperimentų metu galima įvertinti, kuris procesas denitrifikacija ar N fiksacija dominuoja.



**2.14 pav.** Vidutiniai ( $\pm$ SN, n=5) bendrosios azoto dujų ( $N_2$ ) apykaitos greičiai Kuršių mariose 2015 metais. Teigiama reikšmė reiškia  $N_2$  produkciją - vyraujančią denitrifikaciją arba anammox, neigiama – transportą iš vandens į dugno nuosėdas - azoto fiksaciją.

Bendrosios  $N_2$  apykaitos matavimai parodė, kad dumblo nuosėdose (N stotis) denitrifikacija yra vyraujantis procesas (2.14 pav.), kurio greičiai buvo 0,5–5,4  $mmol N m^{-2} h^{-1}$ . Tuo tarpu smėlyje gali vyrauti tiek denitrifikacija tiek ir azoto fiksacija, priklausomai nuo tyrimo sezono ir vietos. Didesni N fiksacijos greičiai yra tranzitinėje aplinkoje esančiame smėlyje, pavasario ir rudens metu buvo nuo -6,2 iki -1,3  $mmol N m^{-2} h^{-1}$ . Tačiau lieka neaišku kas vykdyt N fiksaciją ar autotrofiniai (pvz. bentosiniai mikrodumbliai) ar heterotrofiniai mikroorganizmai (sulfatus redukuojančios bakterijos).

## IŠVADOS

1. Apskaičiuotas bendros  $NH_4^+$  apykaitos greitis tarp dugno nuosėdų ir priedugnio vandens rodo, kad vasarą 1  $m^2$  marių nuosėdų gali regeneruoti ir išskirti 146 kartus daugiau šios azoto formos nei yra atnešama su Nemunu. Nors rudenį apykaitos greičiai sumažėjo, tačiau dugno nuosėdos išlieka svarbiausiu ištirpusio neorganinio azoto šaltiniu.
2. Dugno nuosėdų poriniame vandenyje  $PO_4^{3-}$  intensyviai kaupėsi vasaros metu, ypač dumble (N stotis), kuriame yra didžiausia judrių neorganinio fosforo formų koncentracija. Tačiau išsiskyrimas iš dugno nuosėdų išliko nedidelis.
3. Dėl denitrifikacijos ir mikrodumblių asimiliacijos pavasario pabaigoje dugno nuosėdos iš vandens storumės akumuliuoja iki 55 %  $NO_x^-$  atnešto su Nemuno vandens prietaka.

4. Sezoniniai  $N_2$  apykaitos matavimai rodo, kad dugno nuosėdose vyksta azoto pašalinimas denitrifikacijos metu, bet kartu vyksta ir priešingas procesas azoto fiksacija. Pastarojo procesu metu į marias papildomai gali būti importuojama  $104,7 \text{ mmol N m}^{-2} \text{ sezonas}^{-1}$ . Tačiau tai priklauso nuo metų sezono.
  
5. Atlikti tyrimai 2015 metais rodo, kad Kuršių marios gali funkcionuoti tiek kaip akumuliacinė aplinka maistmedžiagėms atnešoms su Nemuno prietaka, tiek ir kaip maistmedžiagių šaltinis, praturtinantis vandens stovymę. Vadinasi, priklausomai nuo sezono Kuršių marios gali sumažinti maistmedžiagių patekimą iš Nemuno upės baseino į Baltijos jūrą, arba priešingai padidinti.

## LITERATŪROS SĄRAŠAS

- Anderson L.G., P.O.J. Hall, A. Iverfeldt, M.M.R. Van Der Loeff, B. Sundby, S.F.G. Westerlund, 1986. Benthic respiration measured by total carbonate production. *Limnology and Oceanography* 31: 319–329.
- Anderson, L.D., M.L. Delaney, 2000. Sequential extraction and analysis of phosphorus in marine sediments: Streamlining of the SEDEX procedure. *Limnology and Oceanography* 45(2): 509–515.
- Aspila K.I., H. Agemian, A.S.Y. Chau, 1976. A semi-automated method for the determination of inorganic, organic, and total phosphate in sediments. *Analyst* 101: 187–197.
- Dalsgaard T., L.P. Nielsen, V. Brotas, P. Viaroli, G. Underwood, D. Nedwell, K. Sundbäck, S. Rysgaard, A. Miles, M. Bartoli, L. Dong, D.C.O. Thornton, L.D.M. Otossen, G. Castaldelli and N. Risgaard-Petersen. 2000. Protocol handbook for NICE—Nitrogen Cycling In Estuaries: A project under the EU research programme: Marine Science and Technology (MAST III). Silkeborg: National Environmental Research Institute.
- Grasshoff, K., M. Ehrhardt, K. Kremling, 1983. *Methods of Seawater Analysis*. 2nd eds, Verlag Berlin Chemie.
- HELCOM, 1988. Guidelines for the Baltic Monitoring Programme for the third stage, Part D. Biological determinands. *Baltic Sea Environment Proceedings No. 27 D*. Baltic Marine Environment Protection Commission, Helsinki Commission. 164 pp.
- Jeffrey S.W., G.F. Humphrey, 1975. New spectrophotometric equations for determining chlorophyll a,b,c1 and c2 in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochem. Physiol. Pfl.* 167: 191–194.
- Kristensen, E., K.D. Kristiansen, M.H. Jensen, 2003. Temporal behavior of manganese and iron in a sandy coastal sediment exposed to water column anoxia. *Estuaries* 26: 690–699.
- LAND 55: 2003. Zooplanktono tyrimo metodika paviršinio vandens telkiniuose.
- Olenina I., S. Hajdu, L. Edler, A. Andersson, N. Wasmund, S. Busch, J. Göbel, S. Gromisz, S. Huseby, M. Huttunen, A. Jaanus, P. Kokkonen, I. Ledaine, E. Niemkiewicz, 2006. Biovolumes and size-classes of phytoplankton in the Baltic Sea. *HELCOM Baltic Sea Environmental Proceedings*, No. 106, 144 pp.
- Revsbech N.P., 1989. An oxygen microsensor with a guard cathode. *Limnology and Oceanography* 34: 474–478.
- Ruttenberg K.C., 1992. Development of a sequential extraction method for different forms of phosphorus in marine sediments *Limnology and Oceanography* 37(7): 1460–1482.
- Parsons T.R., Y. Maita, C.M. Lalli, 1984. *A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis*, Pergamon Press, New York.
- Реймерс Н.Ф., 1990. Природопользование. Словарь. - Москва, “Мысль”. 639 с.
- Salazkin A.A., M.B. Ivanova, V.A. Ogorodnikova, 1984. Methodical recommendations on collection and treatment of materials during hydrobiological studies in fresh water bodies: zooplankton and its production. State Research Institute of Lake and River Fisheries, Leningrad (rusų k.).

- Voillier E., P.W. Inglett, K. Hunter, A.N. Roychoudhury, P. Van Cappellen, 2000. The ferrozine method revisited: Fe(II)/Fe(III) determination in natural waters. *Applied Geochemistry* 15: 785–90.
- Utermöhl H., 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *International Association of Theoretical and Applied Limnology* 9: 1–38.
- Zilius M., M. Bartoli, D. Daunys, R. Pilkaityte, A. Razinkovas, 2012. Patterns of benthic oxygen uptake in a hypertrophic lagoon: spatial variability and controlling factors. *Hydrobiologia*: 699, 85–98.
- Zilius M., M. Bartoli, M. Bresciani, M. Katarzyte, T. Ruginis, J. Petkuvienė, I. Lubiene, C. Giardino, P.A. Bukaveckas, R. deWit, 2013. Feedback Mechanisms Between Cyanobacterial Blooms, Transient Hypoxia, and Benthic Phosphorus Regeneration in Shallow Coastal Environments. *Estuaries and Coasts*. DOI:10.1007/s12237-013-9717-x
- Zilius M., G. Giordani, J. Petkuvienė, I. Lubiene, T. Ruginis, M. Bartoli, 2015. Phosphorus mobility under short-term anoxic conditions in two shallow eutrophic coastal systems (Curonian and Sacca di Goro lagoons), *Estuarine Coastal and Shelf Science* 164:134–146. DOI: 10.1016/j.ecss.2015.07.004

### **III skyrius. DUGNO NUOSĖDŲ TARŠOS POVEIKO KURŠIŲ MARIŲ MAISTINGŲJŲ MEDŽIAGŲ BALANSUI VERTINIMAS**

#### **ĮVADAS**

Šiame skyriuje pateikiama 2 uždavinio „Remiantis atliktais lauko tyrimais bei biogeocheminių, hidrodinaminių ir nešmenų transporto modelių skaičiavimų rezultatais, įvertinti antrinės (iš dugno nuosėdų) taršos poveikį Kuršių marių maistingųjų medžiagų balansui“ rezultatai. Uždavinys apima šias veiklas:

**2.1 veikla.** Modelio paruošimas Kuršių marių dugno nuosėdų maistingųjų medžiagų ir jų poveikio Kuršių marių ekosistemai vertinimui.

**2.2 veikla.** Įvertinti maistingųjų medžiagų koncentracijas skirtinguose dugno nuosėdų tipuose.

**2.3 veikla.** Įvertinti maistingųjų medžiagų koncentracijas vandenyje.

**2.4 veikla.** Įvertinti fizikines-chemines, biologines sąlygas ir jų įtaką maistingųjų medžiagų srautams tarp nuosėdų (vertinimas turi atsižvelgti ir į skirtingus dugno nuosėdų tipus) ir vandens stovymės.

Skyrius remiasi III tarpinės ataskaitos medžiaga.

### 3.1 MAISTINGŲJŲ MEDŽIAGŲ KONCENTRACIJOS SKIRTINGUOSE DUGNO NUOSĖDŲ TIPUOSE

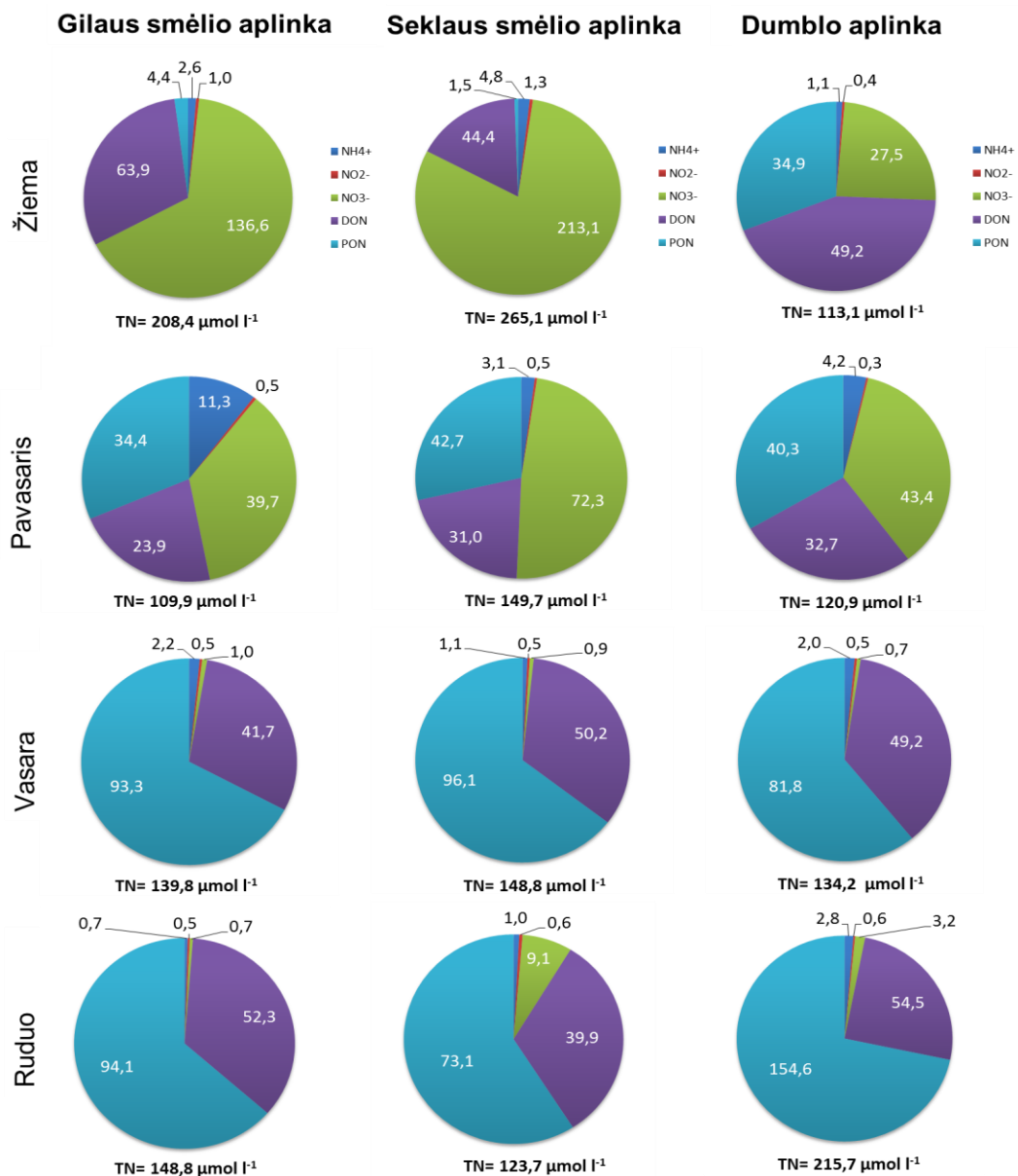
Maistingųjų medžiagų koncentracijos skirtinguose dugno nuosėdų tipuose pateiktos skyreliuose 2.2.2, 2.2.3, 2.2.4.

### 3.2 MAISTINGŲJŲ MEDŽIAGŲ KONCENTRACIJOS VANDENYJE

2015 metais buvo nustatyta Kuršių marioms būdinga sezoninė skirtingų N formų ir jų koncentracijų kaita dugno nuosėdų tyrimo stotyse (3.1 pav.). Žiemos periodu (sausio – vasario mėn.) N buvo sutinkamas tirpioje formoje, abiejose smėlio aplinkose, kuriose >65% ir >16 % nuo TN kiekio atitinkamai sudarė  $\text{NO}_3^-$  ir DON. Nors akumuliacinėje dumblo aplinkoje taip vyravo ištirpęs N, tačiau  $\text{NO}_3^-$  koncentracija buvo apie 2 kartus mažesnė, o tuo tarpu DON – 2 kartus didesnė lyginat su smėlio aplinkomis. Pavasarį (balandžio – gegužės mėn.) smėlio aplinkose padaugėjo dalelinio azoto (PON) kiekis nuo 0.5 iki 30 % nuo TN, o dumblo aplinkoje visų N formų koncentracijos buvo panašios. Vasaros – rudens periodu (birželio – lapkričio mėn.) visose aplinkose vyravo PON (>50 % nuo TN) ir DON (>30 %).

Nitritų azotas ( $\text{NO}_2^-$ ) ir  $\text{NH}_4^+$  visais tirtais periodais ir visose tyrimų vietose sudarė mažiau 0,5 %, 4 % nuo TN, išskyrus gilaus smėlio aplinkoje pavasario sezonu kai  $\text{NH}_4^+$  sudarė apie 10 % nuo TN.

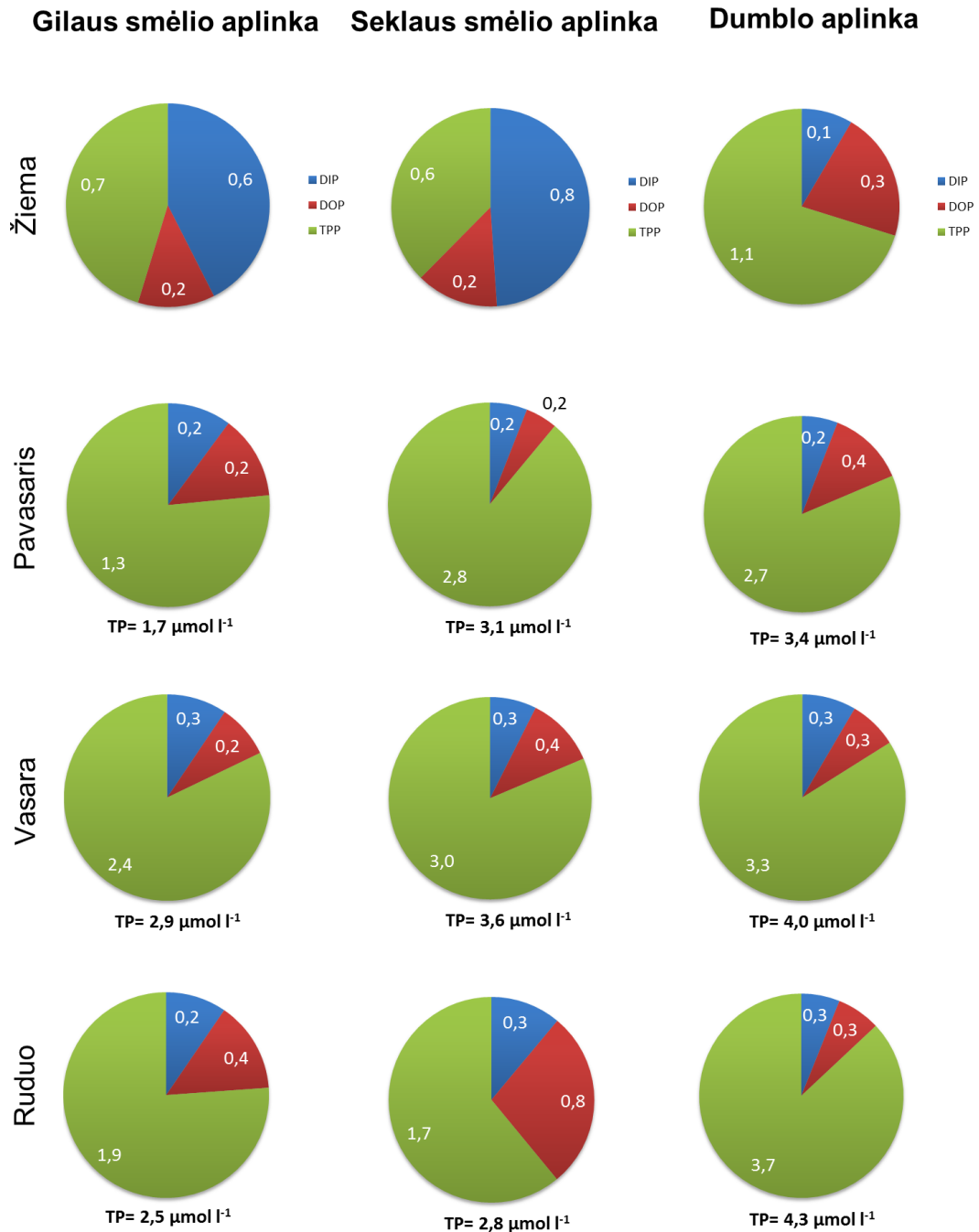
Vidutinis metinis TN kiekis visoje vandens stovymėje virš nuosėdų kvadratinio metro buvo 12, 7 ir 27 kartus mažesnis nei atitinkamai gilaus ir seklaus smėlio, ir dumblo 10 cm sluoksnyje.



3.1 pav. Vidutinės sezoninės (n=6 – 30) amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), nitritų (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), nitratų (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), ištirpusio organinio (DON) ir dalelinio azoto (PON) koncentracijos dinamika Kuršių marių vandens stovymėje skirtingais tyrimo sezonais 2015 metais.

Žiemos sezonu smėlio aplinkose panašiai buvo pasiskirstęs ištirpęs neorganinis (DIP; ~45 % nuo TP) ir bendras dalelinis fosforas (TPP; ~40 % nuo TP), o ištirpęs organinis fosforas sudarė labai nedidelę dalį (~12%) (3.2 pav.). Tuo tarpu dumblo aplinkoje didžiausią dalį (70 % nuo TP) sudarė TPP, o mažiausiai buvo DIP, tik 8 % nuo TP. Likusiais tirtais sezonais (pavasarij, vasarą ir rudeni) visose tirtose aplinkose tendencijos buvo panašios, t. y. vyravo TPP (~80 %), o DIP ir DOP sudarė po 10 % nuo TP. Tik buvo nustatyta viena išimtis rudens sezonu seklaus smėlio aplinkoje, kur TPP buvo rasta mažiau (~60 %) ir daugiau nustatyta buvo DOP (~30 %).

Vidutinis metinis TP kiekis visoje vandens stovymėje virš nuosėdų kvadratinio metro buvo 2 kartus mažesnis nei 10 cm smėlio sluoksnyje abiejose aplinkose. Tuo tarpu dumblo aplinkoje vidutinės metinės TP kiekis vandens stovymėje ir nuosėdose buvo panašus.



3.2 pav. Vidutinės sezoninės (n=6 – 30) fosfatų (DIP), ištirpusio organinio (DOP) ir bendro dalelinio fosforo (TPP) koncentracijos dinamika Kuršių marių vandens stovymėje skirtingais tyrimo sezonais 2015 metais.

### 3.3 FIZIKINIŲ-CHEMINIŲ, BIOLOGINIŲ SĄLYGŲ ĮTAKA MAISTINGŲJŲ MEDŽIAGŲ SRAUTAMS TARP NUOSĖDŲ IR VANDENS STORMĖS.

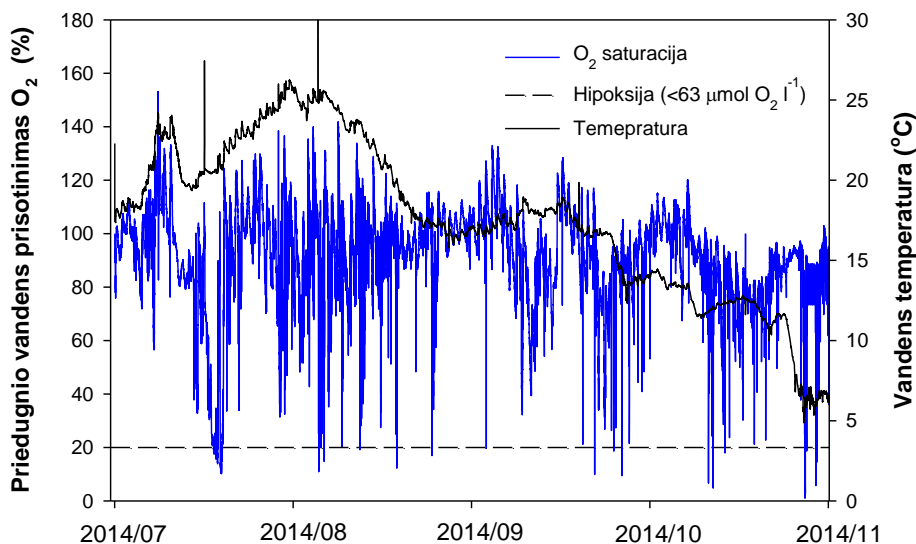
Sezoniškumas yra viena iš būdingiausių Kuršių marių charakteristikų (Žaromskis, 1996), todėl temperatūros pokyčių nulemti fiziko-cheminiai ir biologiniai veiksniai yra svarbūs tiesiogiai ir netiesiogiai kontroliuojant biogeocheminius virsmus ir apykaitos procesus (Žilius ir kt. 2012, 2014; Petkuvienė ir kt., 2016).

2015 metais bendroji  $\text{PO}_4^{3-}$  apykaita smėlio ir dumblo nuosėdose buvo nedidelė palyginti su 2011 ( $0.7 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ; Zilius ir kt., 2014). Pagrindiniai veiksniai, reguliuojantys ištirpusio reaktyvaus fosforo išsiskyrimą į vandens storumę yra šie: 1) molekulinė difuzija, vykstanti dėl koncentracijos gradiento skirtumo, 2) metalų redukcija ir 3) nusėdusios organinės medžiagos mineralizacija. Esant intensyviai fitodetrito kaupimuisi melsvabakterių žydėjimo metu (kaip 2011 metais) vyksta intensyvus deguonies suvartojimas paviršiniame nuosėdų sluoksnyje (Zilius ir kt., 2014). Ypač tai buvo stebima dumblo nuosėdose, kuriose deguonies suvartojimas padidėjo iki 7 kartų palyginus žiemą su vasara. Dėl šios priežasties deguonies įsiskverbimo gylis sumažėjo nuo 10 iki  $<1 \text{ mm}$ . Dėl nedidelio deguonies įsiskverbimo gylio ir intensyvaus metabolizmo dumblo nuosėdose gali susidaryti anoksinės sąlygos, taip kaip 2011 metais. Kadangi  $\text{NO}_3^-$  koncentracija vasaros metu yra maža ( $\text{NO}_3^- < 1 \text{ } \mu\text{mol}$ ), vieninteliai likę elektronų akceptorai biogeocheminiuose procesuose yra metalų (Fe / Mn) hidroksidai. Pastarųjų kompleksas yra svarbiausias veiksnys surišantis judrų  $\text{PO}_4^{3-}$  poriniame vandenyje į netirpią formą. Deguonies trūkumas gilesniuose nuosėdų sluoksniuose nulėmė  $\text{PO}_4^{3-}$  atpalaidavimą iš fosforo, surišto su Fe/Mn, ir karbonatinių apatitų, įeinančių į P formą, susijusių su autogeniniu Ca. Tačiau nepaisant padidėjusio koncentracijos gradiento,  $\text{PO}_4^{3-}$  išsiskyrimas į priedugnio vandenį buvo ribotas. Tyrinėjant dugno nuosėdų kaitą kintančio  $\text{O}_2$  gradiente, priklausomai nuo anoksijos trukmės, eksperimentai atskleidė, kad P išsiskyrimas mariose yra sąlyginai lėtas procesas ir priklauso nuo to, kiek nuosėdose yra  $\text{Fe}^{3+}$  ir  $\text{Mn}^{4+}$  (Zilius ir kt., 2015). Vadinasi, vasaros metu vandens ir dugno nuosėdų sandūros zonoje esantis plonas biogeocheminis barjeras, susidedantis iš  $\text{O}_2\text{-Fe}^{3+}/\text{Mn}^{4+}$  komplekso, riboja difuzinį srautą nukreiptą iš nuosėdų į vandens storumę. Todėl  $\text{PO}_4^{3-}$  išsiskyrimą iš dugno nuosėdų vasaros metu gali nulemti šių fizinių ir biogeocheminių veiksnių ir procesų seka (eilės tvarka kaip išvardinta):

- Padidėjusi vandens temperatūra ( $>20^\circ\text{C}$ ) ir nusistovėję ramūs orai (vėjo greitis  $\leq 2 \text{ m s}^{-1}$ ).
- Dėl padidėjusios organinės medžiagos kiekio suintensyvėjusi respiracija vandens storumėje ir dugno nuosėdose.
- Deguonies stygiaus ( $\leq 63 \text{ } \mu\text{mol l}^{-1}$ , hipoksija) formavimasis priedugnio vandens sluoksnyje.
- Deguonies stygiaus atsiradimas dugno nuosėdose.
- Metalų (Fe ir Mn) redukcijos suintensyvėjimas dugno nuosėdose.
- $\text{PO}_4^{3-}$  atpalaidavimas iš mineralinių formų.
- Biogeocheminio barjero išnykimas ir  $\text{PO}_4^{3-}$  difuzijos suintensyvėjimas tarp nuosėdų ir priedugnio vandens.

Reikia atkreipti dėmesį, kad hipoksija yra vienas iš veiksnių nulemiančių šių procesų kaskadą mariose. 2014 metais atlikti deguonies prisotinimo vandenyje matavimai (3.3 pav.), vasaros –

rudens laikotarpiu, rodo, kad hipoksija yra pasikartojantis fenomenas Kuršių mariose (XX pav.). Tačiau jos trukmė neviršija 4 dienų.



3.3 pav. Vandenyje ištirpusio deguonies prisotinimas ir temperatūra 3 m priedugnio sluoksnyje liepos – spalio mėnesį 2014 metais akumuliacinėje Kuršių marių zonoje ties Nida. Matavimų periodas -10 minučių. Pastaba. Rudens laikotarpiu duomenys gali būti nepatikimi dėl vėjuoto oro prietaisui per daug priartėjus prie dugno nuosėdų.

Pagrindiniai procesai reguliuojantys azoto išsiskyrimą ir praradimą, mūsų nuomone, dugno nuosėdose yra 1) molekulinė difuzija, vykstanti dėl koncentracijos gradiento skirtumo, 2) nitrifikacija, 3) denitrifikacija ir 4) azoto fiksacija dugno nuosėdose. Paskutiniųjų trijų procesų greičių tyrimas Kuršių mariose nebuvo šio projekto tikslas, nors kiekvieno iš jų indėlio nustatymas yra įdomus ir aktualus uždavinys, reikalaujantis atskiro tyrimo. Todėl kol kas čia galime remtis tik literatūriniais duomenimis. Eyre ir Ferguson (2002) teigia, kad denitrifikacijos greičiai tiesiogiai priklauso nuo  $\text{NO}_3^-$  prieinamumo bakterijoms. Įprastai denitrifikuojančias bakterijas  $\text{NO}_3^-$  pasiekia iš priedugnio vandens arba iš nitrifikacijos proceso nuosėdose. Nors 2015 metais buvo matuota tik bendra  $\text{N}_2$  apykaita, neišskiriant  $\text{NO}_3^-$  šaltinių denitrifikacijos procesui, galime teigti, žiemą – pavasarį denitrifikacija vyko dėl  $\text{NO}_3^-$  iš vandens storumės, o vasarą – rudenį dėl nitrifikacijos proceso.

Kuršių mariose oksinio sluoksnio storis neturėjo lemiamos įtakos azoto apykaitos intensyvumui nuosėdose. Žiemą – pavasarį dėl žemos temperatūros ir mažų respiracijos greičių susiformavo storas oksinis sluoksnis (iki 7 mm). Nepaisant giliai įsiskverbusio deguonies į nuosėdas azoto išsiskyrimas iš dugno nuosėdų daugiausia vyko dėl  $\text{NO}_3^-$  difuzijos iš priedugnio vandens. Šiuo atveju esant didelėms  $\text{NO}_x^-$  koncentracijoms vandenyje ir žemam metabolizmui dugno nuosėdose  $\text{NO}_x^-$  giliai prasiskverbė į nuosėdas stimuliuodama azoto negrįžtamą pašalinimą.

Vidurvasarį, ženkliai sumažėjus  $\text{NO}_x^-$  koncentracijoms vandenyje ir oksiniam sluoksniui (<1 mm), visose tyrimo stotyse azoto pašalinimas vyko galimai dėl nitrifikacijos proceso nuosėdose.

Rezultatai parodė, kad sekliai ir giliau esančio smėlio aplinkoje galėjo vykti azoto fiksacija, procesas kurio metu į dugno nuosėdas importuojamas vandens storumėje ištirpęs atmosferinis azotas. 2015 metais azoto fiksacija intensyviausia vyko pavasarį ir rudenį giliau esančiame smėlyje. Nors tiksliai nėra žinoma, kas tiksliai vykdė fiksaciją, tačiau galimi du paaiškinimai. Pagrindinės priežastys galimai nulemusios azoto fiksacijos intensyvumą Kuršių nuosėdose buvo 1) neorganinio azoto trūkumas, ypač  $\text{NH}_4^+$  ir 2) vandens skaidrumas ir 3) jūrinio vandens prietaka.

Kaip ir ankstesniais metais, vasarą dumblo nuosėdos išskyrė daugiausiai  $\text{NH}_4^+$  į priedugnio vandenį. Tai vykstat todėl, kad nuo vidurvasario didesnė fitoplanktono produkcija lemia intensyvesnę organinės medžiagos sedimentaciją ir jos mineralizaciją nuosėdose, kurios metu susidaro  $\text{NH}_4^+$ . Patarasis dėl difuzijos patenka į priedugnio vandenį arba dalis dalis yra oksiduojama nitrifikacijos metu iki nitritų ir nitratų, kurie gali taip pat išsiskirti iš nuosėdų arba suvartoti denitrifikacijos proceso metu. Šiuo periodu  $1 \text{ m}^2$  dugno nuosėdų išskyrė  $\text{NH}_4^+$  iki 146 ir  $\text{NO}_x^-$  iki 3 kartų daugiau lyginant su Nemunu. Apykaitos matavimai rodo, kad iš dugno nuosėdų intensyviausiai išsiskiria  $\text{NH}_4^+$ . Tuo tarpu  $\text{NO}_x^-$  apykaitos greičiai buvo 15 kartų mažesni. Šios N formos išskyrimą galėjo sumažinti intensyvi denitrifikacija (žr.  $\text{N}_2$  produkciją). Svarbu atsiminti, kad kuo didesni  $\text{NH}_4^+$  kiekiai patenka į priedugnio vandenį, tuo mažesnė jo dalis nuosėdose yra oksiduojama iki  $\text{NO}_2^-$  arba  $\text{NO}_3^-$ . Dėl šios priežasties denitrifikacijos greičiai gali sumažėti ir azoto pašalinimas iš marių ekosistemos sulėtėti.

### **3.4 MAISTINGŪJŲ MEDŽIAGŲ PATEKIMAS IŠ SKIRTINGŲ NUOSĖDŲ TIPŲ Į VANDENS STORYMĘ IR PRIEŠINGA KRYPTIMI**

#### **3.4.1 Maistingųjų medžiagų srautai tarp dugno nuosėdų į vandens storumės per metus ir pagal sezonus**

Duomenų analizė rodo, kad žiemos – pavasario metu tirtos dugno nuosėdos akumuliuo  $\text{NH}_4^+$  iš priedugnio vandens, išskyrus dumblą pavasario metu (3.1 lentelė). Tuo tarpu vasaros – rudens periodo visos dugno nuosėdos išskyrė  $\text{NH}_4^+$  į priedugnio vandenį. Daugiausia  $\text{NH}_4^+$  išskyrė dumblo nuosėdos ypač tai buvo pastebima vasaros metu.

Kuršių marių smėlis efektyviai akumuliuo  $\text{NO}_x^-$  iš priedugnio vandens ištisus metus, išskyrus giliau esantį smėlį žiemą. Priešingai nei smėlio nuosėdos, dumblas beveik nuolatos išskirdavo  $\text{NO}_x^-$  į priedugnio vandenį, išskyrus pavasarį. Tačiau metinis balansas rodo, kad visos tirtos marių nuosėdos veikė kaip akumuliacinė aplinka  $\text{NO}_x^-$  iš priedugnio vandens.

3.1 lentelė. Vidutiniai (n=5) bendrosios amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), suminio nitritų ir nitratų ( $\text{NO}_x^-$ ), ištirpusio organinio (DON) ir azoto dujų ( $\text{N}_2$ ) bei ištirpusio reaktyvaus fosforo ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) apykaitos greičiai Kuršių mariose 2015 metais (mmol N arba P iš  $1 \text{ m}^2$  per laikotarpį.). Teigiama reikšmė reiškia atsipalaidavimą iš nuosėdų į vandenį, neigiama – transportą iš

vandens į dugno nuosėdas. Taip pat, teigiama reikšmė reiškia N<sub>2</sub> produkciją – vyraujančią denitrifikaciją, neigiama – transportą iš vandens į dugno nuosėdas - azoto fiksaciją.

Maistmedžiagė	Sezonas	Aplinkos pavadinimas		
		Gilaus dumblo	Gilaus smėlio	Seklaus smėlio
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Žiema	-57,7	-77,6	–
	Pavasaris	28,7	-22,7	-19,2
	Vasara	410,3	32,4	36,8
	Ruduo	60,3	8,0	1,6
	<b>Metinis balansas</b>	<b>441,6</b>	<b>-59,9</b>	<b>19,2</b>
NO <sub>x</sub> <sup>-</sup>	Žiema	21,8	50,9	–
	Pavasaris	-384,1	-63,1	-206,9
	Vasara	58,1	-35,8	-72,4
	Ruduo	137,0	-32,4	-99,1
	<b>Metinis balansas</b>	<b>-167,2</b>	<b>-80,4</b>	<b>-378,4</b>
DON	Žiema	-76,4	-14,8	–
	Pavasaris	973,8	-160,2	349,4
	Vasara	-2,0	106,5	-330,7
	Ruduo	-367,8	545,7	-90,7
	<b>Metinis balansas</b>	<b>527,7</b>	<b>477,2</b>	<b>-72,0</b>
N <sub>2</sub>	Žiema	283,7	235,3	–
	Pavasaris	99,4	-270,1	444,3
	Vasara	159,5	73,4	-187,3
	Ruduo	267,4	-317,0	257,6
	<b>Metinis balansas</b>	<b>810,0</b>	<b>-278,4</b>	<b>514,6</b>
Bendras ištirpęs N (TDN)	<b>Metinis balansas</b>	<b>802,1</b>	<b>336,9</b>	<b>-431,2</b>
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Žiema	-0,1	0,2	–
	Pavasaris	2,8	-0,1	-1,3
	Vasara	-0,6	-1,6	0,6
	Ruduo	-6,0	-8,8	-0,6
	<b>Metinis balansas</b>	<b>-3,9</b>	<b>-10,3</b>	<b>-1,3</b>

Skirtingai nei NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ir NO<sub>x</sub><sup>-</sup>, DON neturėjo aiškiai pastebimų sezoninių tendencijų tarp tyrimų vietų. Remiantis metiniu balansu galime teigti, kad giliau esantis smėlis ir dumblas buvo svarbus DON šaltinis priedugnio vandeniui, tuo tarpu seklaus smėlis veikė priešingai, kaip akumuliacinė aplinka.

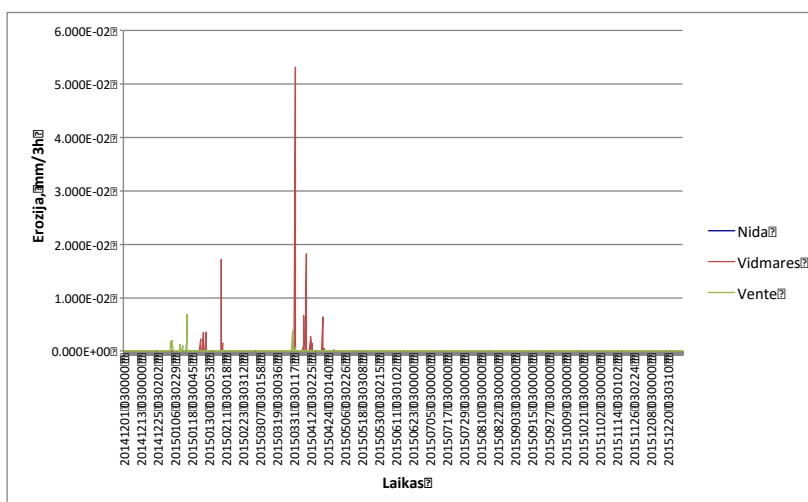
Bendrosios N<sub>2</sub> apykaitos matavimai parodė, kad dumblo nuosėdose (N stotis) denitrifikacija yra vyraujantis procesas ir per metus 1 m<sup>2</sup> pašalino apie 800 mmol N (112 kg N). Tuo tarpu smėlyje vyravo tiek denitrifikacijos tiek ir azoto fiksacijos procesas, priklausomai nuo tyrimo sezono ir vietos. Apibendrintas metinis balansas rodo, kad giliau esantis smėlis importavo į dugno nuosėdas vandenyje ištirpusį atmosferinį N, kai sekliu esantis smėlis elgėsi priešingai – jį išskyrė, dėl vyravusios nitratų arba nitritų disimiliacinės redukcijos.

Apskaičiavus bendro ištirpusio azoto metinį balansą (6 lentelė) nustatyta, kad vyraujančios dugno nuosėdų aplinkos (gilaus dumblo ir smėlio), kurios užima 99 % marių ploto, visose funkcionavo kaip azoto šaltinis vandens storumui. Ypač tuo pasižymėjo gilaus dumblo aplinka, kurioje 1 m<sup>2</sup> metras išskyrė 810,0 mmol į vandens storumą per metus. Tuo tarpu, gilaus smėlio aplinkoje 1 m<sup>2</sup> išskyrė 336,9 mmol per metus. Priešingai nei minėtos aplinkos, seklaus smėlio

aplinkoje nuosėdos akumuliuo azoto junginius, 1 m<sup>2</sup> paėmdavo 431,2 mmol bendro ištirpusio azoto.

Priešingai negu azotui, dugno nuosėdos daugiausiai PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> iš vandens storumės Kuršių mariose. Metinis balansas (3.1 lentelė) rodo, kad visos marių nuosėdos akumuliuo PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>. Giliai esančio dumblo aplinka akumuliuo apie 4 mmol/m<sup>2</sup> per metus. Tuo tarpu daugiau negu dvigubai (10,4 mmol/m<sup>2</sup>) PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> akumuliuo giliau esančio smėlio aplinka, o sekliame vandenyje esantis smėlis akumuliuo tik 1,3 mmol/m<sup>2</sup> per metus.

Bangų sukeltos resuspensijos įtaka maistmedžiagų apykaitai tarp nuosėdų ir vandens storumės buvo įvertinta nuosėdų transporto submodelio pagalba, apskaičiuojant nuosėdų erozijos intensyvumą dugno nuosėdų tyrimo stotyse (N, V ir DR). Kaip matyti 3.4 paveiksle erozijos intensyvumas buvo labai mažas 2015 metais (neviršijo 0,06 mm per 3 valandas). Svarbu taip pat paminėti, kad resuspensijos trukmė trumpa ir dėl šios priežasties maistingųjų medžiagų transportas yra nereikšmingas šio proceso eigoje (3.2 lentelė).



3.4 pav. Erozijos intensyvumas Nidos (dumblo aplinka), Vidmarių (gilus smėlio aplinka) ir Ventės (seklaus smėlio aplinka) stotyse 2015m.

3.2 lentelė. Resuspensijos srautų palyginimas su advekcijos-difuzijos srautais resuspensijos įvykio metu.

Maistmedžiagė	Apykaita (μmol m <sup>-2</sup> 3h <sup>-1</sup> )	
	Advekcijos ir difuzijos	Resuspensijos
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	5,2	1,0
NO <sub>x</sub> <sup>-</sup>	82,8	1,0
DON	90,3	0,2
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,5	0,1

### 3.5 MAISTINGŪJŲ MEDŽIAGŲ KIEKIAI DUGNO NUOSĖDOSE

#### 3.5.1 Maistingųjų medžiagų metiniai kiekiai ir kiekiai pagal sezonus dugno nuosėdose

Fosforo judrumas nuosėdose ir jo prieinamumas vandens stovyme įprastai yra įvertinamas atliekant neorganinio P formų ekstrakciją (Apyk.-PO<sub>4</sub>, Fe/Mn-PO<sub>4</sub>, Authig. Ca-PO<sub>4</sub>, Detr. Ca~PO<sub>4</sub>). Reaktyviausioms neorganinio P formoms yra priskiriamos Apyk.- PO<sub>4</sub> ir Fe~PO<sub>4</sub>, kurios greičiausiai patenka iš dugno nuosėdų į vandens stovymę. Dumblo nuosėdose reaktyvių neorganinio P formų vidutiniškai yra 2 kartus daugiau nei smėlyje (3.3 lentelė). Vadinasi, šis kiekis gali lengvai patekti į vandens stovymę dėl advekcijos, resuspencijos ar deguonies trūkumo sukeltos metalų redukcijos. Pasikeitus pH nuosėdų poriniame vandenyje papildomai galėtų atsipalaiduoti ir neorganinis P, esantis autogeninio kalcio mineralo sudėtyje, kurio kiekiai panašūs tiek smėlio tiek ir dumblo nuosėdose (4 lentelė). Bendroje sumoje iš 1 m<sup>2</sup> ir 10 cm nuosėdų sluoksnio galėtų atsipalaiduoti 235,7 mmol P (7.3 kg P) dumblo ir 202,8 mmol P (6,2 kg P) smėlio aplinkose.

Vertinant fosforo judrumą nuosėdose pagal bendrą fosforą (TP) nėra tikslu, kadangi jis neidentifikuoja, kurios formos yra reaktyvios, o kurios ne. Reaktyvios neorganinio P formos sudaro tik apie 24 % TP kiekio Kuršių marių dugno nuosėdose.

3.3 lentelė. Apskaičiuoti vidutiniai sezoniniai (n=12–15) ir metiniai skirtingų fosforo formų kiekiai per 1 m<sup>2</sup> ir dešimties centimetrų sluoksnyje. TP – bendras fosforas, TOP – bendras organinis fosforas ir neorganinio fosforo formos: Apyk.-PO<sub>4</sub> – lengvai absorbuotas ir poriniame vandenyje esantis PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, Fe/Mn-PO<sub>4</sub> – surišta su metalais, Authig. Ca-PO<sub>4</sub> – surišta su kalcio autogeniniu mineralu, Detr. Ca~PO<sub>4</sub> – detritinėje formoje surištas su kalcio mineralu.

Nuosėdų aplinka	Sezonas	TP	TOP	Apyk.-PO <sub>4</sub>	Fe/Mn-PO <sub>4</sub>	Authig. Ca-PO <sub>4</sub>	Detr. Ca-PO <sub>4</sub>
		[mmol m <sup>-2</sup> , šlapiose nuosėdose]					
Gilaus smėlio aplinka	Žiema	1101,7	481,2	34,4	82,9	260,5	242,7
	Pavasaris	558,1	182,4	12,2	14,6	103,9	98,7
	Vasara	595,3	163,2	19,8	29,7	90,6	125,2
	Ruduo	568,0	158,4	14,9	22,4	112,5	129,9
	<b>Metinis</b>	<b>705,8</b>	<b>246,3</b>	<b>20,3</b>	<b>37,4</b>	<b>141,9</b>	<b>149,1</b>
Seklaus smėlio aplinka	Pavasaris	1029,5	5371,9	42,9	114,8	100,2	53,7
	Vasara	969,7	198,6	15,9	19,4	114,3	316,3
	Ruduo	823,7	151,2	41,6	36,3	136,0	209,6
	<b>Metinis</b>	<b>941,0</b>	<b>1907,2</b>	<b>33,5</b>	<b>56,8</b>	<b>116,8</b>	<b>193,2</b>
Dumblo aplinka	Žiema	885,7	198,9	33,7	25,0	152,5	207,2
	Pavasaris	1055,0	7025,2	47,7	91,2	73,2	44,3
	Vasara	983,8	5624,8	32,8	100,5	91,5	58,8
	Ruduo	1149,2	5111,7	45,5	136,6	112,5	68,8
	<b>Metinis</b>	<b>1018,4</b>	<b>4490,2</b>	<b>39,9</b>	<b>88,3</b>	<b>107,4</b>	<b>94,8</b>

Sezoniniai tyrimai parodė, kad didžiausias bendrojo azoto (TN) kiekis 0–10 cm sluoksnyje viename kvadratiname metre yra susikaupęs dumblo nuosėdose (3.4 lentelė), tuo tarpu smėlyje šis

kiekis yra 6 kartus mažesnis. Nuosėdose organinis azotas (PON) sudaro apie 99 % TN kiekio ir likusi nedidelė dalis yra ištirpęs neorganinis ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) ir organinis (DON) azotas poriniame vandenyje. Tirpioje formoje vyrauja  $\text{NH}_4^+$  (77 ir 39 %, atitinkamai dumble ir smėlyje) ir DON (19 ir 53 %, atitinkamai dumble ir smėlyje). Didžiausia šių junginių koncentracija taip pat nustatyta dumblo nuosėdose.

3.4 lentelė. Apskaičiuoti vidutiniai sezoniniai (n=12–15) ir metiniai skirtingų azoto formų kiekiai per 1 m<sup>2</sup> ir dešimties centimetrų sluoksnyje. TN – bendras azotas,  $\text{NH}_4^+$  – amonio azotas, suminis nitritų ir nitratų azotas, DON – ištirpęs organinis azotas, PON – dalelinis organinis azotas.

Nuosėdų aplinka	Sezonas	TN	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_x^-$	DON	PON
		[mmol m <sup>-2</sup> , šlapiose nuosėdose]				
Gilaus smėlio aplinka	Žiema	4128,1	6,66	0,69	1,08	4119,7
	Pavasaris	1653,4	7,87	0,61	2,17	1642,8
	Vasara	2631,3	2,84	0,15	5,65	2622,7
	Ruduo	2254,1	0,95	0,22	3,75	2249,2
	<b>Metinis</b>	<b>2666,7</b>	<b>4,58</b>	<b>0,42</b>	<b>3,16</b>	<b>2658,6</b>
Seklaus smėlio aplinka	Pavasaris	2187,3	1,32	1,03	1,25	2183,7
	Vasara	1496,0	1,63	0,15	6,53	1487,7
	Ruduo	1510,2	0,56	0,15	3,89	1505,6
	<b>Metinis</b>	<b>1731,2</b>	<b>1,17</b>	<b>0,44</b>	<b>3,89</b>	<b>1725,7</b>
Dumblo aplinka	Žiema	13646,8	8,76	0,89	0,24	13636,9
	Pavasaris	13943,2	18,45	0,99	0,68	13923,1
	Vasara	15636,3	48,41	0,20	31,21	15556,5
	Ruduo	12451,5	33,05	0,42	14,52	12403,5
	<b>Metinis</b>	<b>13919,5</b>	<b>27,18</b>	<b>0,63</b>	<b>11,67</b>	<b>13880,0</b>

### 3.6 DUGNO NUOSĖDŲ MAISTINGŪJŲ MEDŽIAGŲ ĮTAKA BENDRAM KURŠIŲ MARIŲ MAISTINGŪJŲ MEDŽIAGŲ BALANSUI

Dugno nuosėdų svarba maistmedžiagių transporte upės-estuarijos-jūros sistemoje kiekvienam sezonui buvo įvertinta sudarant maistmedžiagių balansą (8 lentelė) iš šių komponentų:

- 1) Maistmedžiagių prietaka su Nemunu;
- 2) Maistmedžiagių išnešimas į Baltijos jūrą;
- 3) Maistmedžiagių apykaita tarp dugno nuosėdų ir priedugnio vandens.

Papildomai metiniame balanse (3.5 lentelė) pateikta azoto prietaka iš atmosferos dėl melsvabakterių azoto fiksacijos (remtasi tuo, kad vegetacinio sezono metu melsvabakterės gali fiksuoti papildomai nuo 1,5 iki 20 tūkst. t/m vandenyje ištirpusio atmosferinio azoto, kaip nurodoma naujai rengiamame „Nemuno upių baseinų rajono valdymo plano projekte“ (2015), prieiga internete: <http://vanduo.gamta.lt/cms/index?rubricId=5add6fc1-6463-4574-b93a-9ef3efd55650>) ir kritulių (remtasi JSPD projekto ataskaitoje pateiktais duomenimis). Tyrimo rezultatai leidžia įvertinti balanso elementus ir Kuršių marių vaidmenį tik pagal ištirpusias

maistmedžiages. Viską apimančiam Kuršių marių maistmedžiagių balanso sudarymui būtini papildomi komponentų tyrimai vandens stovymėje ir upių bei nuotekų valyklų išleistuvų, tiesiogiai patenkančių į marias, įvertinimas.

Šaltuoju metų periodu - žiemą, pagrindinis maistmedžiagių ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_x^-$ , DON ir  $\text{PO}_4^{3-}$ ) šaltinis Kuršių mariose yra Nemuno upė (3.5 lentelė). Dėl koncentracijos gradiento dugno nuosėdos funkcionuoja kaip akumuliacinė zona maistmedžiagėms iš vandens stovymės. Galimai dėl vykstančios  $\text{NO}_x^-$  asimiliacijos ir/arba redukcijos (žr.  $\text{N}_2$  apykaitos greitis) marių nuosėdos sulaiko 45 %  $\text{NO}_x^-$  iš vandens stovymės. Tačiau  $\text{NO}_x^-$  išsiskyrimas iš nuosėdų rodo, kad dalis nitratų suvartojama ir iš nitrifikacijos proceso nuosėdose. Vadinasi,  $\text{N}_2$  apykaita atspindi bendrą nitratų kiekį pašalinamą iš marių ekosistemos. Kadangi nuosėdos buvo  $\text{PO}_4^{3-}$  šaltinis, galime teigti, kad asimiliacijos procesai vandens stovymėje yra svarbesni šiuo periodu.

3.5 lentelė. Maistmedžiagių srautai ( $\text{mmol m}^{-2}$  sezonas<sup>-1</sup>) į Kuršių marias ir iš jų į Baltijos jūros priekrantę bei apykaita tarp dugno nuosėdų ir priedugnio vandens skirtingais sezonais 2015 metais. Sezoninė maistmedžiagių prietaka Nemunu paskaičiuota  $1 \text{ m}^2$  marių nuosėdų paviršiui. Kuršių marių dugno nuosėdų vaidmuo kaupti ar išskirti maistmedžiages įvertintas normalizuojant apykaitos greičius pagal tyrimo vietos (aplinkos) užimamą plotą mariose ir padauginant iš sezono trukmės.

Sezonas	Balanso elementas	Maistmedžiagių pernašos greitis ( $\text{mmol m}^{-2}$ sezonas <sup>-1</sup> )								
		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>x</sub> <sup>-</sup>	DON	TDN	PON	TN	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	TP	N <sub>2</sub>
<b>Žiema</b>	Nemuno prietaka	21,7	610,8	99,9	732,2	22,4	754,6	3,8	4,3	-
	Marių ištekėjimas į jūrą	11,2	475,7	536,6	1023,6	8,8	1021,8	2,4	2,9	-
	Apykaita tarp nuosėdų ir vandens storumės	-68,6	+37,8	-42,5	-73,3			+0,1		+257,1
<b>Pavasaris</b>	Nemuno prietaka	11,3	350,2	107,2	468,9	53,6	522,5	0,8	1,5	-
	Marių ištekėjimas į jūrą	5,7	203,6	337,8	547,1	131,3	678,4	0,7	1,2	-
	Apykaita tarp nuosėdų ir vandens storumės	+0,3	-209,6	+353,6	+144,3			+1,1		-99,4
<b>Vasara</b>	Nemuno prietaka	2,3	10,3	39,4	52,0	34,4	86,4	1,6	2,1	-
	Marių ištekėjimas į jūrą	3,4	2,7	114,0	120,0	112,0	230,3	0,7	1,3	-
	Apykaita tarp nuosėdų ir vandens storumės	+202,9	+5,7	+54,4	+263,0			-1,2		+110,2
<b>Ruduo</b>	Nemuno prietaka	2,2	36,3	25,1	63,1	22,9	86,0	2,3	2,5	-
	Marių ištekėjimas į jūrą	10,0	6,6	70,2	86,9	88,8	175,7	0,6	1,1	-
	Apykaita tarp nuosėdų ir vandens storumės	+31,5	-80,4	+133,7	+84,8			-7,6		-51,4
<b>Metinis</b>	Nemuno prietaka	37,7	1007,6	271,6	1316,8	132,8	1449,6	8,5	10,0	11,3
	Marių ištekėjimas į jūrą	30,4	688,6	1058,6	1777,5	350,9	2106,2	4,4	6,5	
	Apykaita tarp nuosėdų ir vandens storumės	+173,1	-246,5	+499,2	+425,8			-7,6		
	Krituliai				53					
	Melsvabakterių azoto fiksacija				0,067 - 900					

Intensyviausiai Kuršių marių dugno nuosėdos žiemos periodu akumuliuoja  $\text{NH}_4^+$  (3.6 lentelė). Vidutiniškai per dieną marių nuosėdos šiuo šaltuoju metų laikotarpiu sumažino 20 %  $\text{NH}_4^+$  kiekio esančio vandens storumėje.

3.6 lentelė. Dugno nuosėdų poveikis maistmedžiagių koncentracijai vandens storumėje skirtingose tyrimo vietose. Poveikis koncentracijai (padidėjimas arba sumažėjimas, %) apskaičiuotas remiantis vidutiniu sezoniniu maistmedžiagių apykaitos greičiu ( $\text{mmol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) tarp dugno nuosėdų ir periedugnio vandens ir vidutinė maistmedžiagės koncentracija vandens storumėje virš  $1 \text{ m}^2$  nuosėdų ploto. Vidutinis Kuršių marių dugno nuosėdų poveikis įvertintas pagal tyrimo vietos (aplinkos) užimamą plotą mariose. Teigiama reikšmė reiškia koncentracijos padidėjimą per dieną, neigiama – sumažėjimą.

Sezonas	Maistmedžiagė	Stoties pavadinimas			Kuršių marios (vidutinis)
		N	V	DR	
Žiema	$\text{NH}_4^+$	-16	-22	–	-20
	$\text{NO}_x^-$	0	0	–	0
	DON	-1	0	–	0
	$\text{PO}_4^{3-}$	0	0	–	0

Pavasariį  $\text{NO}_x^-$  prietaka kaip ir žiemą išliko intensyvi dėl didelės Nemuno prietakos. Dėl šios priežasties Nemunas tebebuvo pagrindinis neorganinio N šaltinis. Nepaisant didelės neorganinio N koncentracijos vandens storumėje, azoto fiksacijos būdu į dugno nuosėdas papildomai buvo importuojama vandenyje ištirpusio atmosferinio azoto. Per šį periodą dugno nuosėdų  $1 \text{ m}^2$  akumuliuojo 305,6 mmol N (4,3 kg N), daugiausiai lyginant su kitais sezonais. Skirtingai nei žiemą, dugno nuosėdos išskyrė DON ir tai galimai turėjo įtakos padidėjusiam šios maistmedžiagės nuotėkiui į Baltijos jūros priekrantę. Nuosėdos tebebuvo  $\text{PO}_4^{3-}$  šaltinis, ir galimai dominavo asimiliacijos procesai vandens storumėje.

Pavasariį vyraujančios Kuršių marių dugno nuosėdos akumuliuojo  $\text{NO}_x^-$  ir DON iš vandens storumės, tuo tarpu  $\text{NH}_4^+$  ir  $\text{PO}_4^{3-}$  koncentracijos pokyčiai priklausė nuo tyrimo zonos (3.7 lentelė). Apibendrinus, rezultatus, galime teigti, kad pavasario laikotarpiu marių nuosėdos neturėjo įtakos  $\text{NH}_4^+$  koncentracijai vandens storumėje, o dėl nuosėdų akumuliacijos  $\text{NO}_x^-$  ir DON kiekis vidutiniškai sumažėdavo 2 %. Tuo tarpu iš marių nuosėdų išsiskyręs  $\text{PO}_4^{3-}$  padidindavo šio junginio koncentraciją 2 %.

3.7 lentelė. Dugno nuosėdų poveikis maistmedžiagių koncentracijai vandens storumėje skirtingose tyrimo vietose. Poveikis koncentracijai (padidėjimas arba sumažėjimas, %) apskaičiuotas remiantis vidutiniu sezoniniu maistmedžiagių apykaitos greičiu ( $\text{mmol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) tarp dugno nuosėdų ir periedugnio vandens ir vidutinė maistmedžiagės koncentracija vandens storumėje virš  $1 \text{ m}^2$  nuosėdų ploto. Vidutinis Kuršių marių dugno nuosėdų poveikis įvertintas pagal tyrimo vietos (aplinkos) užimamą plotą mariose. Teigiama reikšmė reiškia koncentracijos padidėjimą per dieną, neigiama – sumažėjimą.

Sezonas	Maistmedžiagė	Stoties pavadinimas			Kuršių marios (vidutinis)
		N	V	DR	
Pavasaris	$\text{NH}_4^+$	+2	-1	-4	0
	$\text{NO}_x^-$	-3	-1	-1	-2

	DON	0	-5	+9	-2
	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	+4	-1	-2	2

Vasaros – rudens laikotarpiu marių nuosėdos buvo pagrindinis ištirpusio neorganinio ir organinio azoto šaltinis. Per šį periodą 1 m<sup>2</sup> dugno nuosėdų į priedugnio vandenį išskyrė 421,6 mmol (5,9 kg N), t. y. 63 % viso išskirto metinio kiekio. Dėl to marių nuosėdos nulėmė padidėjusią N prietaką į Baltijos jūros priekrantę. Vasaros metu denitrifikacija buvo vyraujantis procesas nuosėdose, tuo tarpu rudenį jau dominavo N fiksacija nuosėdose. Priešingai nei žiemą – pavasarį, dugno nuosėdos buvo akumuliacinė aplinka PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> vasaros ir rudens laikotarpiu. Šiuo periodu 1 m<sup>2</sup> nuosėdų akumulioavo apie 8,7 mmol (0,3 kg) vandenyje ištirpusio reaktyvaus fosforo.

Akumuliacinėje marių zonoje esančios dumblo nuosėdos vasaros metu buvo azoto junginių šaltinis, labiausiai praturtindamos vandens storumę DON (3.8 lentelė). Tuo tarpu, sekiau ir giliau esančios smėlio nuosėdos buvo šaltinis NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, kurio kiekis vandens storumėje padidėjo iki 13 % per dieną. Vyraujančios marių dugno aplinkos akumulioavo PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> iš vandens storumės, išskyrus seklaus smėlio aplinką. Apibendrinus tendencijas, galima teigti, kad marių nuosėdos padidindavo bendro ištirpusio azoto (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> + NO<sub>x</sub><sup>-</sup> + DON) iki 165 %, kai tuo tarpu PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> sumažindavo iki 3 %.

Rudens laikotarpiu, marių dugno nuosėdos išliko NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ir DON šaltiniu, išskyrus DR, kuri akumulioavo DON. Vidutiniškai suminė NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ir DON koncentracija padidėdavo 17 % vandens storumėje per dieną. Tuo tarpu nuosėdos intensyviai akumulioavio NO<sub>x</sub><sup>-</sup> iš vandens storumės, sumažindamos koncentraciją iki 78 % per dieną. Kaip ir vasaros metu marių nuosėdos akumulioavo PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> iš vandens storumės, tik poveikis buvo 6 kartus didesnis

3.8 lentelė. Dugno nuosėdų poveikis maistmedžiagių koncentracijai vandens storumėje skirtingose tyrimo vietose. Poveikis koncentracijai (padidėjimas arba sumažėjimas, %) apskaičiuotas remiantis vidutiniu sezoniniu maistmedžiagių apykaitos greičiu (mmol m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) tarp dugno nuosėdų ir priedugnio vandens ir vidutinė maistmedžiagės koncentracija vandens storumėje virš 1 m<sup>2</sup> nuosėdų ploto. Vidutinis Kuršių marių dugno nuosėdų poveikis įvertintas pagal tyrimo vietos (aplinkos) užimamą plotą mariose. Teigiama reikšmė reiškia koncentracijos padidėjimą per dieną, neigiama – sumažėjimą.

Sezonas	Maistmedžiagė	Stoties pavadinimas			Kuršių marios (vidutinis)
		N	V	DR	
Vasara	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	+93	+11	+13	+48
	NO <sub>x</sub> <sup>-</sup>	+22	-17	-1	0
	DON	+259	+2	-12	+117
	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	-1	-4	+4	-3
Ruduo	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	+10	+9	+2	+9
	NO <sub>x</sub> <sup>-</sup>	-17	-21	-78	-19
	DON	+9	+8	-2	+8
	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	-11	-27	-3	-19

Metinis maistmedžiagių balansas rodo (3.5 lentelė), kad dugno nuosėdos bendroje  $\text{NH}_4^+$  ir DON sumoje išskiria 2 kartus daugiau nei Nemunas atneša. Dalis kiekio patekusio į vandens stovymę yra transformuojama arba asimiliuojama, likusi pernešama į Baltijos jūros priekrantę. Tuo pačiu marių dugno nuosėdos funkcionuoja ir kaip efektyvus maistmedžiagių filtras. Marių nuosėdos gali sulaikyti iki 25 % suminio nitritų ir nitratų kiekio atnešto su Nemunu. Kaip matyti iš metinio balanso iš Kuršių marių į Baltijos jūrą išteka apie 20 % bendro ištirpusio azoto ir 50% ištirpusio neorganinio fosforo mažiau negu išnešama Nemunu.

2015 metais marių nuosėdos veikė kaip akumuliacinė aplinka  $\text{PO}_4^{3-}$ . Dėl šios priežasties  $\text{PO}_4^{3-}$  prietaka į Baltijos jūrą sumažėjo 2 kartus. Tačiau dugno nuosėdų vaidmuo akumuliuoti arba išskirti  $\text{PO}_4^{3-}$  priklauso aplinkos sąlygų. Susidarius tam tikroms sąlygoms (visų pirma hipoksijai, žr. 3.3 sk.) dumblo nuosėdos gali pradėti išskirti  $\text{PO}_4^{3-} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$  į priedugnio vandenį (Zilius ir kt., 2014) ir padidinti jo ištėkėjimą į Nemuną (Petkuvienė, 2016). Tačiau, kaip pateikta kitame skyrelyje hipoksija atvejai, kurie buvo fiksuojami 2014 m. dumblo nuosėdose tetruko vos keletą dienų.

Apibendrinant TP pernašą iš Nemuno upės per Kuršių marias į Baltijos jūrą, galima pasakyti, kad marios sumažina 35 % TP kiekio patenkančio į Baltijos jūrą. Daugiausiai TP kiekio buvo sulaikyta vasaros – rudens laikotarpiu. Priešingai nei fosforui, Kuršių mariose vykstantys biologiniai ir biogeocheminiai procesai paturtindavo vandenį TN, taip padidindami jo koncentraciją ir prietaką į Baltijos jūrą. Metinis balansas rodo, kad iš Kuršių marių buvo išnešama apie 30 % daugiau TN nei atnešdavo Nemuno upė.

### **3.7 PATEIKTI ERDVINIO PASISKIRSTYMO VANDENS PAVIRŠINIAME IR PRIEDUGNINIAME SLUOKSNYJE BEI DUGNO NUOSĖDOSE TYRIMŲ REZULTATUS**

Visi tyrimų rezultatai pagal techninės specifikacijos p. 5.1 reikalavimą yra pateikti elektroninėje laikmenoje kartu su galutinės ataskaitos pirmuoju variantu 2016-04-01.

### **3.8 ANTRINĖS TARŠOS POVEIKIO VERTINIMO METODIKOS**

#### **3.8.1 Modeliavimo priemonių charakteristika**

##### **3.8.1.1 Modelis SHYFEM**

Šio projekto tyrimuose naudojamų modeliavimo priemonių pagrindą sudaro skaitinis modelis SHYFEM (Shallow water HYdrodynamic Finit Element Model). Skaitinį modelį SHYFEM sudaro baigtinių elementų hidrodinaminis bei advekcijos-difuzijos submodelis, nuosėdų pernašos submodelis, parametrinis bangų modelis, biogeocheminis submodelis AQUABC bei kiti submodeliai, kurių čia neminėsime, nes šiame darbe jie nebuvo naudojami.

Hidrodinaminio submodelio skaičiavimo rezultatus (sroves, vandens lygius, druskingumą, temperatūrą) naudoja visi kiti submodeliai. Visi submodeliai yra apjungti programinio kodo lygmenyje ir sudaro vieną kompiuterinę programą. Hidrodinaminis modelis SHYFEM yra sukurtas Venecijos jūrinių tyrimų institute (CNR-ISMAR) ir yra sėkmingai taikytas visai eilei jūros priekrantės teritorijų. Hidrodinaminį lygčių skaitiniam sprendimui yra naudojamas baigtinių elementų metodas, kuris leidžia naudoti teritoriškai kintamos raiškos gardeles, kas yra didelis privalumas modeliuojant procesus, vykstančius sudėtingos morfologijos sekliose priekrantės teritorijose. Modelis gali būti naudojamas kaip dvimatis ir trimatis. Jo programinė įranga yra atvirojo kodo ir ją galima atsisiųsti iš SHYFEM internetinio puslapio (S.HY.F.E.M Shallow water hydrodynamic model 2011). Šiame internetiniame puslapyje taip pat pateikiamas išsamus mokslinių publikacijų apie tyrimus atliktus su šiuo modeliu sąrašas bei modelio dokumentacija.

Modelis yra pritaikytas lygiagrečioms skaičiavimams. Šio projekto skaičiavimams buvo naudojamas Klaipėdos universiteto Jūrinių tyrimų atviros prieigos centro superkompiuteris SGI UV2000, turintis 64 CPU branduolius su RedHat Enterprise Linux operacine sistema.

Modelis SHYFEM yra ne kartą taikytas Kuršių marioms ir Lietuvos Baltijos jūros priekrantei tiek kaip atskiras hidrodinaminis modelis tiek kartu su įvairiais ekologiniais modeliais (Daunys et al. 2006; Erturk et al. 2008; Ferrarin et al. 2008; Zemlys et al. 2008; Lietuvos jūrų išteklių darniojo valdymo sistema 2011, Zemlys et al., 2013).

### 3.8.1.2 Nuosėdų pernašos submodelis

Nuosėdų pernašos submodelis skaičiuoja srovių arba bangų sukeltą nuosėdų pernašą tiek lipnioms tiek birioms nuosėdoms. Submodelio branduolį sudaro SHYFEM adaptuotas nuosėdų transporto modelis SEDTRANS05 (Neumeier et al., 2008). Submodelis skaičiuoja eroziją ir depoziciją ir nustato koks nuosėdų tūris pateko į vandens stovymę. Po to pakeltos nuosėdos yra transportuojamos advekcijos ir turbulentinės difuzijos, kurią skaičiuoja hidrodinaminis submodelis. Nuosėdų pernaša vaidina svarbų vaidmenį maisto medžiagų apykaitoje tarp dugno nuosėdų ir vandens stovymės, nes ši apykaita vyksta ne tik dėl molekulinės difuzijos, bet ir dėl nuosėdų pernašos, nes vėjo bangų sukelta resuspensija, kartu su nuosėdomis į vandens stovymę pakelia ir maistmedžiages, o dalis vandenyje esančių maistmedžiagų surištų su dalelėmis yra depozituojamos į dugno nuosėdas. Nuosėdų pernašos modelis buvo panaudotas maistmedžiagų srauto skaičiavimui resuspensijos metu. Taip pat

buvo išvystyta programinė sąsaja, kurios pagalba iš nuosėdų pernašos modelio yra perduodami duomenys į biogeocheminį modelį...

#### 3.8.1.3 Bangų submodelis

SHYFEM gali būti duomenų failų lygmenyje sujungtas su spektriniu vėjo bangų modeliu arba naudoti empirinį submodelį, kuris skaičiuoja bangų aukštį, ir periodą iš vėjo greičio ir įsibangavimo atstumo pagal sekliems vandenims skirtas empirines formules (U.S. Army, 1984). Atsižvelgiant į Kuršių marių gylį, būtent pastarasis empirinis submodelis buvo naudojamas bangų skaičiavimams, reikalingiems nešmenų pernašos modeliavimui.

#### 3.8.1.4 Biogeocheminis submodelis

Modelis AQUABC (Aquatic Biogeochemical Cycling) yra ekologinis modelis išvystytas Klaipėdos universiteto Baltijos pajūrio aplinkos tyrimų ir planavimo institute, bendradarbiaujant su Stambulo Technikos ir Stambulo universitetais. AQUABC yra programinio kodo lygmenyje sujungtas su hidrodinaminiu modeliu SHYFEM ir naudoja pastarojo hidrodinaminių ir termodinaminių kintamųjų skaičiavimus. Šis modelis yra anksčiau Kuršių marioms taikytų ekologinių modelių (Zemlys et al. 2008; Erturk et al. 2008; Lietuvos jūrų išteklių darniojo valdymo sistema 2011) tolesnio vystymo rezultatas. Modelis turi pelaginių procesų bei dugno nuosėdose, vykstančių procesų submodelius. Pelaginės dalies modelio būsenos kintamųjų sąrašas pateiktas 3.9-je lentelėje, nuosėdų dalies – 3.10-je lentelėje.

Pelaginė modelio dalis aprašo šias pagrindines procesų grupes:

- keturių pagrindinių fitoplanktono grupių (diatomai, N nefiksuojančios melsvabakterės, N fiksuojančios melsvabakterės ir žaliadumbliai) augimas, kvėpavimas, ekskrecija, mirimas ir išėdimas (zooplanktono);
- zooplanktono augimas ir mirimas;
- azotą fiksuojančių bakterijų  $N_2$  fiksacija;
- $NH_4^+$  nitrifikacija;
- detritinės dalelinės organinės medžiagos tirpimas;
- ištirpusios organinės medžiagos mineralizacija;
- skendinčių dalelių sedimentacija;
- visų modeliuojamų medžiagų pernaša dėl advekcijos ir turbulentinės difuzijos.

**3.9 lentelė.** Modelio AQUABC pelaginės dalies būsenos kintamųjų sąrašas

Kintamojo nr.	Kintamojo pavadinimas
1.	Diatominiai dumbliai
2.	N nefiksuojančios melsvabakterės
3.	N fiksuojančios melsvabakterės
4.	Kitos fitoplanktono rūšys (žaliadumbliai ir kt.)
5.	Zooplanktonas
6.	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
7.	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ir NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
8.	Ištirpęs organinis N
9.	Dalelių pavidalo organinis P
10.	Ištirpęs neorganinis P
11.	Ištirpęs organinis P
12.	Dalelių pavidalo organinis P
13.	Ištirpęs mineralinis Si
14.	Dalelių pavidalo organinis Si
15.	Ištirpusi neorganinė C
16.	Ištirpusi organinė C
17.	Dalelių pavidalo organinė C
18.	Šarmingumas
19.	O <sub>2</sub>

Modelyje yra įdiegta programa CO2SYS (van Heuven et al., 2011), kuri įgalina aprašyti CO<sub>2</sub> sistemą (pH, ištirpusi neorganinė anglis, šarmingumas ir kt.). Modelis remiasi pastovia C, N ir P stochiometrija (Redfieldo) fitoplanktone bei zooplanktone.

**3.10 lentelė.** Modelio AQUABC dugno nuosėdų dalies būsenos kintamųjų sąrašas

Kintamojo nr.	Kintamojo pavadinimas
1.	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
2.	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
3.	Ištirpęs organinis N
4.	Dalelių organinis N
5.	Ištirpęs neorganinis P
6.	Ištirpęs organinis P
7.	Dalelių organinis P
8.	Ištirpęs mineralinis Si
9.	Dalelių biogeninis Si
10.	Ištirpusi neorganinė C
11.	Ištirpusi organinė C
12.	Dalelių organinė C
13.	Šarmingumas
14.	Deguonis
15.	Druskingumas

Modelio dugno nuosėdų dalis aprašo šių biogeocheminių procesų grupes:

- $\text{NH}_4^+$  nitrifikacija, denitrifikacija,
- detritinės dalelinės organinės medžiagos tirpimas;
- ištirpusios organinės medžiagos mineralizacija;
- skendinčių dalelių sedimentacija;
- visų modeliuojamų medžiagų pernaša dėl advekcijos ir molekulinės difuzijos.

Dugno nuosėdų submodelis skaičiuoja modeliuojamų medžiagų koncentracijas septyniuose sluoksniuose. Bendras modeliuojamų nuosėdų storis yra 10 cm.

Maisto medžiagų patekimo į vandens storumę dėl resuspensijos įvertinimui būtina modelį AQUABC susieti su nuosėdų transporto modeliu, kuris yra viena iš modelio SHYFEM sudėtinių dalių. Tam tikslui yra reikalingos tam tikros programinio kodo korekcijos, kurios buvo atliktos šio projekto vykdymo metu.

Maisto medžiagų (fosforo) surišimas ir iškritimas nuosėdų pavidalu dėl sąveikos su metalais bei jų surišimas ir atpalaidavimas dugno nuosėdose modeliavimui submodelis AQUABC turi būti papildytas naujais būsenos kintamaisiais.

### **3.8.2 Modelio modifikacijos**

#### **3.8.2.1 Nuosėdų pernašos submodelio sujungimas su biogeocheminiu submodeliu**

Siekiant įvertinti maisto medžiagų apykaitą tarp dugno nuosėdų ir vandens storumės dėl nuosėdų resuspensijos ir depoziacijos, buvo sukurta programinė sąsaja, kurios pagalba iš nuosėdų pernašos submodelio kiekviename laiko žingsnyje skaičiavimo elementui (reaktoriui) yra perduodami šie rodikliai:

- nuosėdų suspendavimo (erodavimo) greitis (kg/s),
- vandenyje suspenduotų nuosėdų koncentracijos ( $\text{kg/m}^3$ ),
- nuosėdų pernašos submodelio dugno sluoksnių storis ir skaičius (kintamas) (m),
- dugno nuosėdų sausas tūrinis tankis (dry bulk density) ( $\text{kg/m}^3$ )

Savo ruožtu biogeocheminiame submodelyje buvo realizuotas algoritmas iš aukščiau pateiktų rodiklių ir submodelio būsenos kintamųjų, apskaičiuojantis maisto medžiagų patekimo dėl resuspensijos ir depoziacijos iš nuosėdų į vandens storumę ir atvirkščiai greičius.

#### **3.8.2.2 Ledo dangos submodelis**

Siekiant atsižvelgti į ledo dangos įtaką biogeocheminiams procesams modelyje SHYFEM buvo įdiegtas paprastas ledo submodelis, kuris nuskaito iš matavimo duomenų erdvinės interpoliacijos būdu gautus ledo dangos duomenis ir padaro juo prieinamais kitiems submodeliams. Dėl to hidrodinaminiam submodelyje buvo atlikti patobulinimai, įgalinantys

atsižvelgti į vėjo poveikio sumažėjimą dėl ledo dangos, o biogeocheminiame modelyje atitinkamai buvo atsižvelgta į ledo poveikį vandens reeracijai, kuri didžiausią poveikį daro ištirpusio deguonies koncentracijai.

### 3.8.2.3 Biogeocheminis submodelis

Maisto medžiagų (fosforo) surišimo ir iškritimo nuosėdų pavidalu dėl sąveikos su metalais bei jų surišimo ir atpalaidavimo dugno nuosėdose modeliavimui submodelį (tiek pelaginę, tiek dugno nuosėdų dalį) AQUABC būtina papildyti naujais būsenos kintamaisiais, kurie pateikti 3.11-je lentelėje.

**3.11 lentelė.** Papildomi submodelio AQUABC būsenos kintamieji skirti maisto medžiagų surišimo ir atpalaidavimo vandenyje ir dugno nuosėdose modeliavimui

Kintamojo nr.	Kintamojo pavadinimas
1.	Divalentė geležis
2.	Trivalentė geležis
3.	Divalentis manganas
4.	Keturvalentis manganas
5.	Kalcis
6.	Magnis
7.	Sulfatai
8.	Sulfidai
9.	Metanas

### 3.8.3 Modelio realizacija Kuršių marioms

#### 3.8.3.1 Hidrodinaminis submodelis

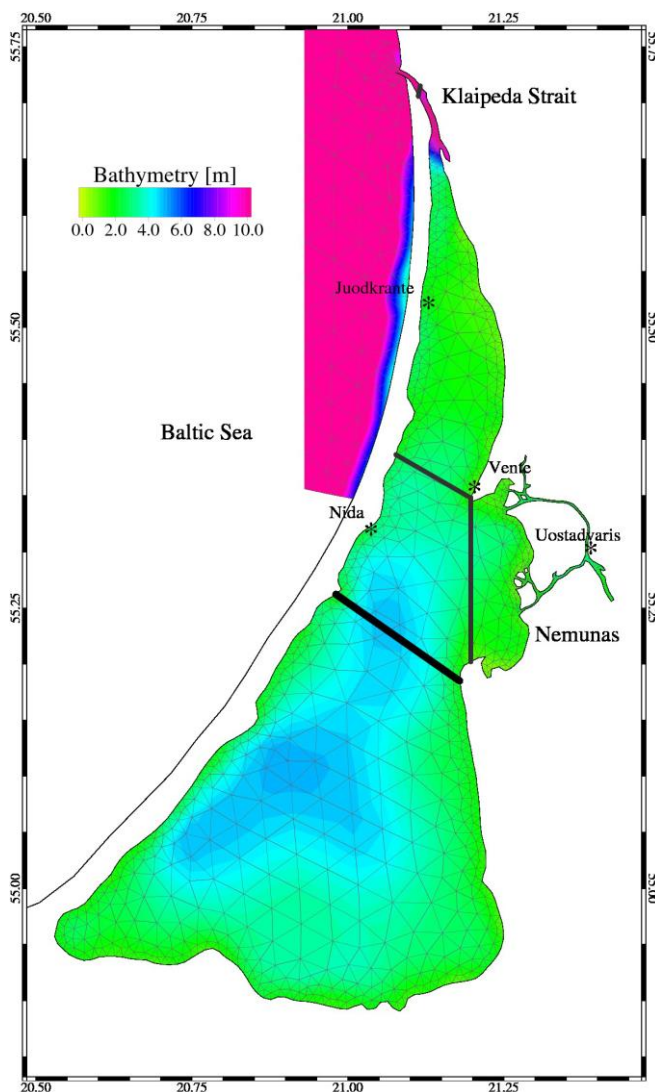
3.5 pav. pavaizduota gardelė naudota SHYFEM modelio skaitinei diskretizacijai. Gardelę sudaro 2027 trikampiai elementai ir 1302 mazgais (trikampių viršūnės). Gardelė yra nevienodos rezoliucijos. Klaipėdos sąsiauris, upių įtekėjimo vietos bei teritorijos arti kranto linijos yra aukštesnės rezoliucijos, nes to reikalauja morfologiniai vandens telkinio ypatumai. Siekiant adekvačiai sumodeliuoti vandens apykaitą su Baltijos jūra per Klaipėdos sąsiaurį į gardelę buvo įtraukta dalis Baltijos jūros.

Modelio skaičiavimams būtina gėlo vandens prietakai buvo naudojami kasdieniniai upių debitai pateikti Lietuvos hidrometeorologinės tarnybos. Nemuno ir jo intakų, esančių tarp Smalininkų ir Rusnės, debitas modeliui yra pateikiama Rusnės upės taške ties Šilininkais (3.5 pav.). Debitas šiame taške yra apskaičiuojamas sudėjus Nemuno ties Smalininkais, Šešupės ties Marijampole, Jūros ties Taurage ir Šešuvio ties Skirgailais debitus ir atėmus

Nemuno atšakos Gilijos (Matrosovka) debitą bei atitinkamai atsižvelgus į atitekėjimo laiką iki Šilaininkų bei atitinkamų intakų žiočių. Minijos debitas modeliui pateikiamas jos įtekėjimo į Atmatą vietoje, o Gilijos ir Deimos jų įtekėjimo į Kuršių marias vietose.

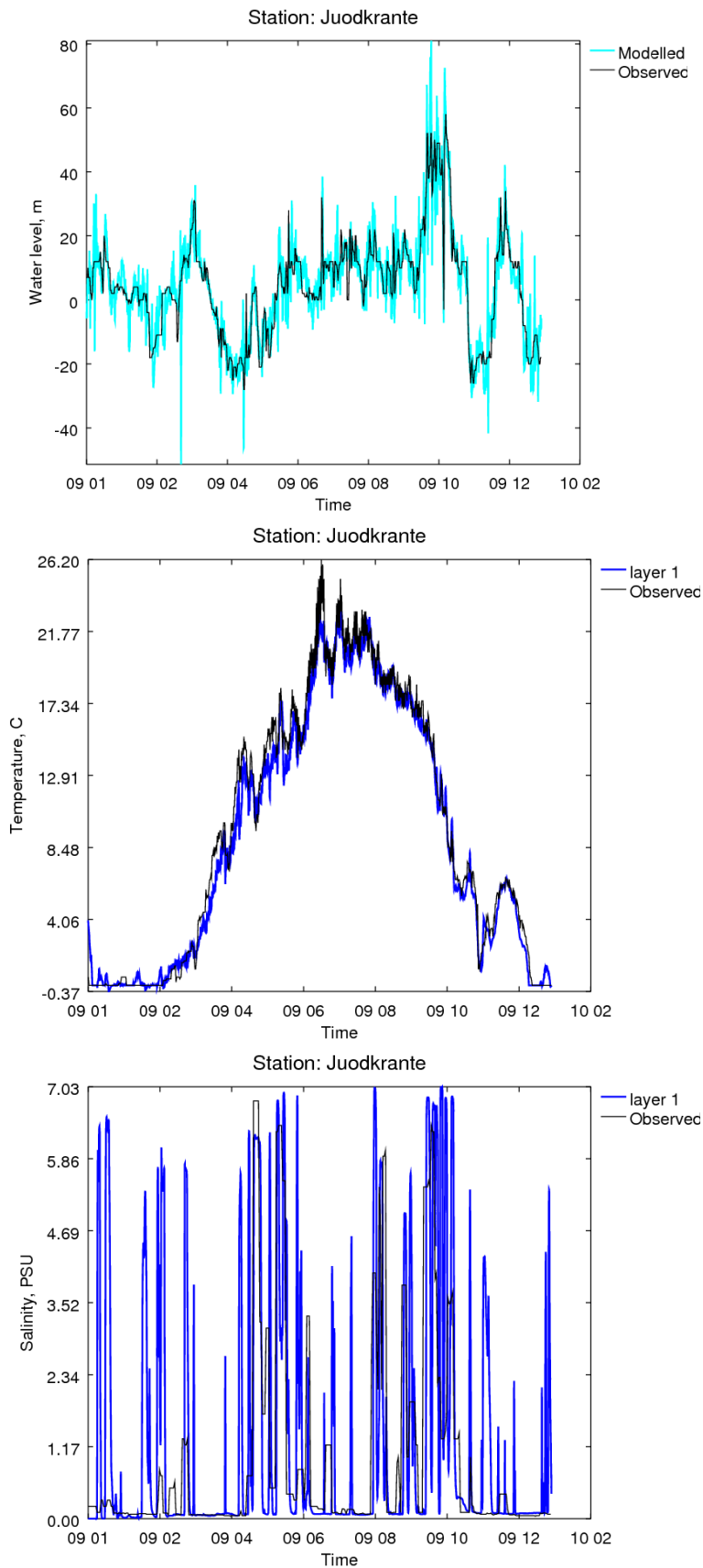
Modelio atviros jūros druskingumo, temperatūros ir vandens lygių kraštinėms sąlygoms buvo naudojamos laiko eilutės sudarytos iš Baltijos jūros hidrodinaminio operacinio modelio HIROMB skaičiavimų, gautų iš Švedijos hidrologijos ir meteorologijos instituto (SMHI). Modelio atmosferos parametrų (vėjo, slėgio, oro temperatūros, drėgnio, kritulių, saulės radiacijos) laukai buvo sudaryti iš Vidutinės trukmės oro prognozių Europos centro (ECMWF) operacinio modelio duomenų.

Be to, kad hidrodinaminio submodelio skaičiavimo rezultatai yra naudojami kitų submodelių, hidrodinaminis submodelis buvo pnaudotas ir iš Kuršių marių į Baltijos jūrą ištekancio vandens kiekio skaičiavimams, kurie buvo reikalingi maistmedžiagių balanso skaičiavimui.



3.5 pav. Modeliuojama teritorija ir modelio SHYFEM diskretizacijos gardelė.

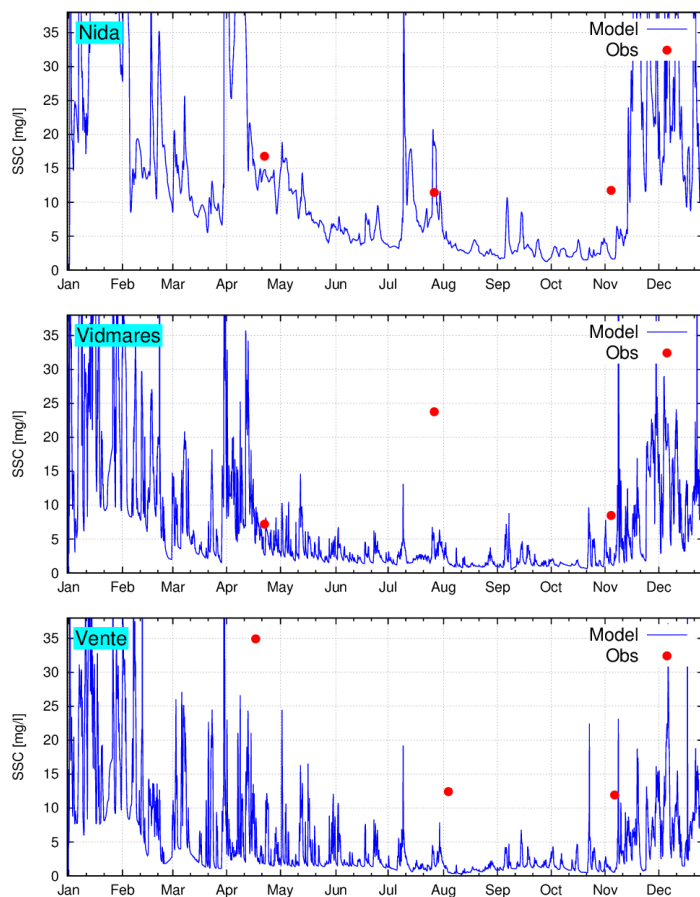
Modelio SHYFEM veikimas hidrodinaminių rodiklių požiūriu yra ištestuotas ir pasirodęs gerai veikiantis pakankamai ilgiems laiko periodams (Umgiesser et al., 2016). 3.6 pav. kaip pavyzdį pateikiame kaip modelis aprašo 2009m. hidrodinaminius rodiklius ties Juodkrante.



3.6 pav. Hidrodinaminio modelio vandens paviršiaus(1-jo sluoksnio) vandens lygių (viršuje) temperatūros (viduryje), ir druskingumo (apačioje) palyginimas su priekrantės stoties ties Juodkrante duomenimis 2009 m.

### 3.8.3.2 Nuosėdų pernašos submodelis

Nuosėdų pernašos modelio darbui reikalingiems iš upių atnešamų nuosėdų apimtims buvo naudojamos nuosėdų koncentracijų vandenyje, išmatuotų Rusnės stotyje, laiko eilutės. Buvo laikomasi prielaidos, kad iš Baltijos jūros nuosėdų nėra atnešama. Pradinis dugno nuosėdų dalelių dydžių pasiskirstymas buvo gautas erdviškai interpoliuojant matavimų duomenis. Skaičiavimai buvo atliekami su devyniomis nuosėdų dydžių klasėmis, pradedant molio ir baigiant vidutinio smėlio klasėmis. Nuosėdų pernašos submodelis šiuo metu yra veikiantis, jo interfeisas su biogeocheminiu modeliu suprogramuotas ir veikia korektiškai. Submodeliu apskaičiuotų ir išmatuotų suspenduotų dalelių koncentracijų palyginimas su matavimų duomenimis pateiktas 3.7 pav. Submodelio skaičiavimai buvo panaudoti maistmedžiagių patekimo iš nuosėdų į vandens storumę resuspensijos metu įvertinimui.



3.7 pav. Nuosėdų pernašos submodeliu apskaičiuotų ir išmatuotų suspenduotų dalelių koncentracijų palyginimas su matavimų duomenimis.

### 3.8.3.3 Biogeocheminis submodelis

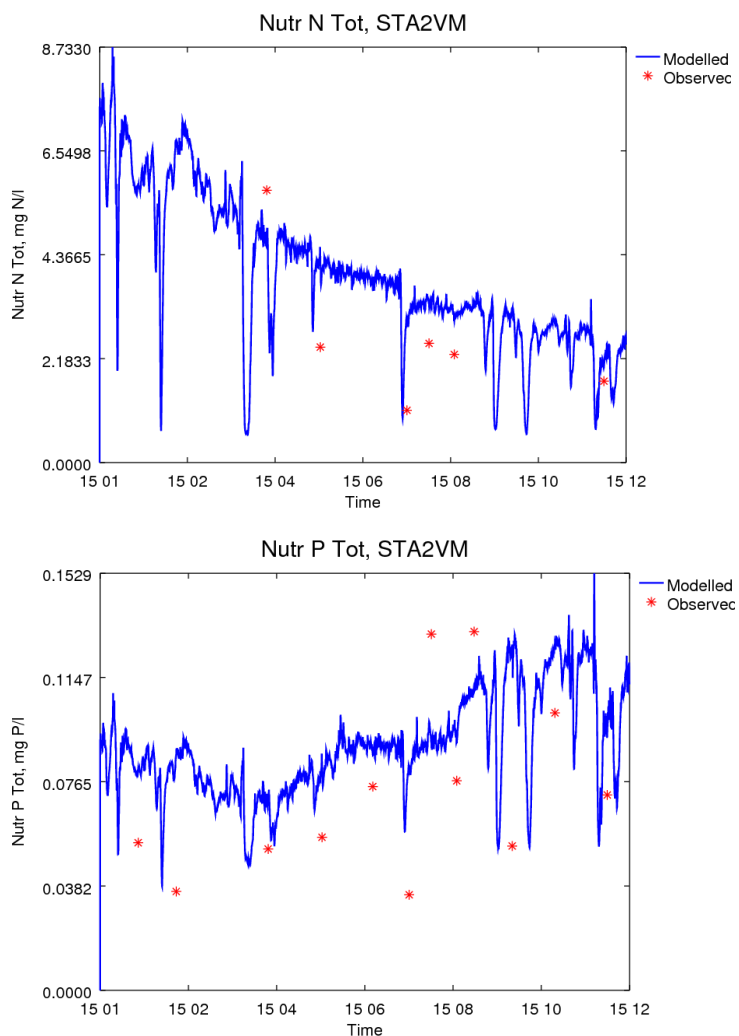
Biogeocheminio submodelio darbui reikalingiems iš upių atitekančio vandens kokybės parametrams buvo naudojamos laiko eilutės, gautos iš matavimų Rusnės stotyje (II tarpinė

ataskaita, 1 lentelė, 1 pav.). Tos pačios koncentracijos buvo naudojamos ir kitoms upėms (Minija, Deima). Kadangi Nemuno nuotėkis sudaro virš 95 procentų viso upių nuotėkio į Kuršių marias, pastaroji aplinkybė neturi juntamos įtakos modelio adekvatumui.

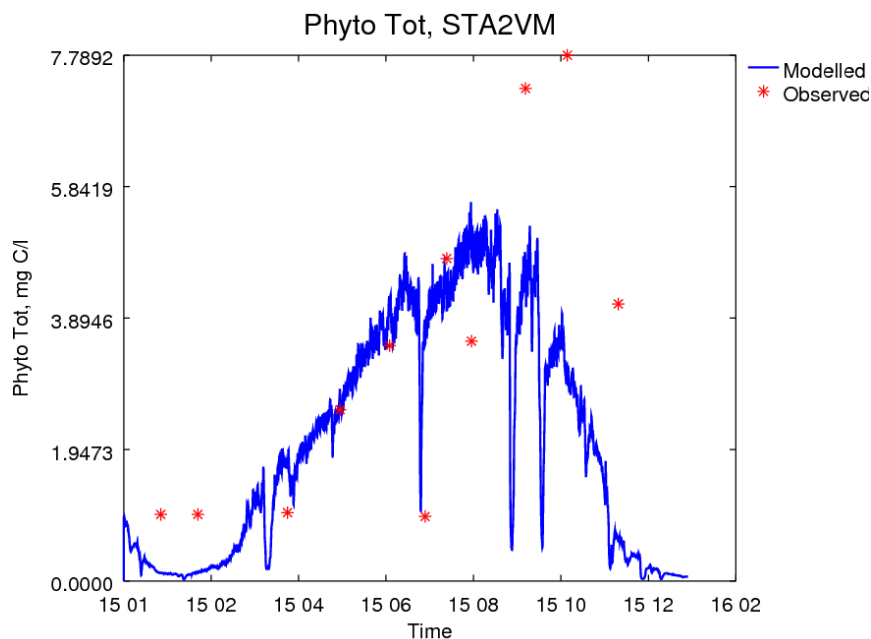
Atviros jūros modelio kraštinėms sąlygoms buvo naudojamos vidutinės reikšmės gautos iš monitoringo duomenų. Kadangi įtekėjimai iš jūros į Kuršių marias yra palyginus trumpalaikiai, o be to modelio apskaičiuotas druskingumas yra pakankamai adekvatus, šios aplinkybės maisto medžiagų surišimo ir atpalaidavimo procesų modeliavimui esminės reikšmės neturi.

Kadangi Kuršių marių ledo danga 2015 metais buvo tik epizodinė (JTD informacija) ledo modelis skaičiavimuose nebuvo naudojamas, nes nebuvo reikalo atsižvelgti į vėjo poveikio hidrodinaminiam procesams pristabdymą bei vandens reaeracijos sumažėjimą.

Svarbiausių eutrofikacinių būsenos kintamųjų palyginimo su matavimo duomenimis rezultatai pateikti 3.8, 3.9 pav.



3.8 pav. Modeliu apskaičiuoto bendrojo azoto (viršuje) ir bendrojo fosforo (apačioje) palyginimas su matavimų duomenimis Vidmarių (V) stotyje (II tarpinė ataskaita, 1 pav., 1 lentelė) 2015 m.



3.9 pav. Modeliu apskaičiuotų fitoplanktono koncentracijų palyginimas su matavimų duomenimis Vidmarių (V) stotyje (II tarpinė ataskaita, 1 pav., 1 lentelė) 2015 m.

Kaip matyti iš 3.8, 3.9 pav. biogeocheminis modelis patenkinamai aprašo bendrojo azoto ir fosforo, bei fitoplanktono 2015 m. dinamiką.

Pakankamai išsami matavimų medžiaga, apimanti ne tik koncentracijas bet ir maistmedžiagų srautų matavimus, gauta lauko tyrimų metu bei resuspensijos skaičiavimai nuosėdų transporto modeliu leidžia susidaryti bendrą vaizdą apie dugno nuosėdų maistmedžiagų vaidmenį Kuršių mariose, todėl siekiant išvengti papildomų neapibrėžtumų, įnešamų modeliniais skaičiavimais, buvo stengiamasi kiek įmanoma remtis faktine medžiaga ir balansiniams skaičiavimams biogeocheminis modelis nebuvo naudojamas.

#### 3.8.4. Maistingųjų medžiagų balanso skaičiavimai

Sezoninis dugno nuosėdų vaidmuo akumuliuoti ar išskirti maistmedžiages buvo įvertintas remiantis šiomis prielaidomis. 2015 metais maistmedžiagų apykaitos greičiai tarp dugno nuosėdų ir priedugnio vandens buvo išmatuoti vasario, balandžio, rugpjūčio ir lapkričio mėnesiais, todėl laikoma, kad šie matavimai atitinkamai reprezentuoja žiemą, pavasarį, vasarą ir rudenį. Antra prielaida buvo, kad apykaitos greičiai yra pastovūs per sezoną. Todėl vidutinis maistmedžiagų apykaitos greitis kiekvienoje tyrimo vietoje per sezoną buvo apskaičiuotas padauginant iš jo trukmės (dienų skaičiaus). Bendras kiekvienos tirtos maistmedžiagės (Mx) apykaitos greitis per 1 m<sup>2</sup> marių plotą buvo apskaičiuotas, normalizuojant apykaitos greitį kiekvienoje aplinkoje pagal jos užimamą plotą mariose, vėliau susumuojant pagal visus nuosėdų tipus:

$$Mx_{\text{marios}} = (Ax_{\text{gilus smėlis}} \times 0,55) + (Ax_{\text{gilus dumblas}} \times 0,45) + (Ax_{\text{seklus smėlis}} \times 0,01)$$

Mėnesiniai maistmedžiagių srautai (L) į Kuršių marias ir iš jos buvo apskaičiuoti padauginant maistmedžiagės koncentraciją (C) iš upių nuotėkio duotąjį mėnesį (i):

$$L = C_i \times \text{srautas}_i$$

Mėnesinis Nemuno debitas apskaičiuotas remiantis Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos duomenis. Tuo tarpu grynasis vandens srautas iš Kuršių marių apskaičiuotas hidrodinaminio modelio SHYFEM (SHYFEM, <http://www.ismar.cnr.it/shyfem>) pagalba.

Maistmedžiagių kiekis patenkantis iš nedidelių nuotekų valyklų, esančių Kuršių nerijoje, ir mažaisiais marių intakais, įtekančiais Lietuvos Respublikos ir Rusijos federacijos teritorijoje, nebuvo įvertintas. Todėl tikėtina, kad nedidelė dalis maistmedžiagių prietakos lieka neapskaičiuota. Klaipėdos miesto nuotekų valyklos poveikis maistmedžiagių balansui mariose nevertintas, kadangi jos išleistuvai yra už Kuršių marių teritorijos, Klaipėdos sąsiaurio teritorijoje. Maistmedžiagių metinė prietaka su krituliais įvertinta, remiantis JSPD projekto ataskaitoje pateiktais duomenimis. Sezoninis maistmedžiagių balansas žiemai (gruodis – vasaris), pavasariui (kovas – gegužė), vasarai (birželis – rugpjūtis) ir rudeniiui (rugsėjis – lapkritis) apskaičiuotas pagal „juodosios dėžės“ (*angl. black box*) modelį (Dettman, 2001):

$$C_{\Delta} = I_R - I_{\text{J}}$$

kur maistmedžiagių srautai į sistemą yra upės prietaka iš žeminės dalies ( $I_R$ ) ir išnešimas iš marių į jūrą ( $I_{\text{J}}$ ).  $C_{\Delta}$  yra pokytis, atsirandantis dėl prietakos iš atmosferos arba dėl biogeocheminių procesų vandens storumėje ir dugno nuosėdose, Kuršių mariose. Teigiama reikšmė rodo, kad marios sulaiko maistmedžiages, tuo tarpu neigiama, kad marios išskiria daugiau maistmedžiagių nei atnešama su upėmis.

Skaičiavimuose atnešamų maisto medžiagų koncentracijomis laikomos išmatuotos koncentracijos Rusnės ir Skirvytės upių išsišakojime (prietaka į marias), o išnešamų vakarinėje protakoje ties Kiaulės nugara.

## IŠVADOS

1. 2015 m. žiemos–pavasario laikotarpiu vyraujančios Kuršių marių dugno nuosėdos išskyrė  $\text{PO}_4^{3-}$  į vandens storumę, iki 27 % daugiau nei jo atnešė Nemuno upė, o tuo

tarpu vasaros–rudens laikotarpiu nuosėdos aktyviai akumuliuo  $\text{PO}_4^{3-}$ , 75–330 % daugiau nei buvo atnešta su Nemunu. Visumoje, nesusidarius anoksinėms sąlygoms, kas būdinga Kuršių marioms, P išsiskyrimo iš dugno nuosėdų greičiai yra maži.

2. Apie 24 % bendro fosforo kiekio, esančio Kuršių marių dugno nuosėdų 0–10 cm sluoksnyje, gali išsiskirti į vandens storumę, jeigu nuosėdose prasidėtų metalų (Fe ir Mn) redukcija ir pasikeistų pH poriniame vandenyje. Susidarius minėtoms sąlygoms, iš  $1 \text{ m}^2$  nuosėdų sluoksnio potencialiai galėtų atsipalaiduoti 235,7 mmol P (7,3 kg P) dumblo ir 202,8 mmol P (6,2 kg P) smėlio aplinkose.
3. Nuosėdose dalelinis organinis azotas sudaro apie 99 % nuo bendro kiekio ir tik likęs 1 % yra ištirpęs neorganinis ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) ir organinis (DON) azotas poriniame vandenyje. Nepaisant to, azotas dėl intensyvaus nuosėdų metabolizmo yra nuolatos mineralizuojamas ir atpalaiduojamas į porinį vandenį arba vandens storumę.
4. Vidutinis metinis bendro azoto ir fosforo kiekis paviršiniame 0 – 10 cm marių nuosėdų sluoksnyje yra atitinkamai 7 – 27 ir 2 kartus didesnis nei vandens storumėje virš  $1 \text{ m}^2$  dugno paviršiaus.
5. Metinis maistmedžiagių balansas parodė, kad per metus  $1 \text{ m}^2$  vyraujančių Kuršių marių nuosėdų sukaupia 400,2 mmol bendro ištirpusio azoto (TDN), t.y. apie 30 % nuo atnešto su Nemuno upe.
6.  $1 \text{ m}^2$  Kuršių marių nuosėdų per metus atpalaiduoja 425 mmol bendro ištirpusio azoto ( $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_x^- + \text{DON}$ ) bento-pelaginės apykaitos metu. Nuosėdų atpalaiduodas azoto kiekis prilygsta 30 % atnešto su Nemunu.
7. Atsipalaidavęs bendras ištirpusio azoto kiekis (TDN) gali sudaryti iki 24 % išnešamo į Baltijos jūrą bendro ištirpusio azoto (TDN). Tačiau privalu atsižvelgti, kad dalis išsiskyrusio bendro ištirpusio kiekio gali būti asimiliuojama bei fiksuojama vandens storumėje.
8. Kuršių marių nuosėdų vaidmuo, akumuliuojant ar išskiriant azoto junginius keičiasi priklausomai nuo jų koncentracijos ir sezono. Žiemos – pavasario periodu azoto akumuliacija vyksta intensyviausiai, per šį periodą sukaupiama 80 % viso metinio kiekio. Didžioji dalis žiemą besikaupiančio N (daugiausiai  $\text{NO}_3^-$ ) yra iš karto negrįžtamai pašalinama denitrifikacijos proceso metu. Tuo tarpu aktyvios vegetacijos laikotarpiu dugno nuosėdos išskiria N (daugiausia  $\text{NH}_4^+$  ir DON) dėl į nuosėdas nusėdusios planktoninės dalelinės medžiagos skaidymo.

9. Metinis maistmedžiagių balansas 2015 metams parodė, kad per metus 1 m<sup>2</sup> vyraujančių Kuršių marių nuosėdų akumuliuoja 2 kartus daugiau PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> nei jo atnešama su Nemunu. Nėra pavojaus, kad akumuliacinė talpa PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> galėtų būti viršyta, nes paviršinės dugno nuosėdos atsinaujina (kartu atsinaujina ir fosforą surišančios medžiagos) dėl naujai upėmis atneštų nuosėdų sedimentacijos, be to gilesniuose dugno nuosėdų sluoksniuose vyksta diagenėzė (uolėjimas).
10. Dugno nuosėdos bendroje NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ir DON sumoje išskyrė 2 kartus daugiau nei atneša Nemunas. Tuo tarpu ištirpusio mineralinio fosforo apykaitos balansas tarp dugno nuosėdų ir vandens stovymės buvo neigiamas, t.y. dugno nuosėdos daugiau jo akumuliuo negu išskyrė.
11. Iš Kuršių marių į Baltijos jūrą 2015 m. išteko apie 20 % bendro ištirpusio azoto ir 50% ištirpusio neorganinio fosforo mažiau negu atnešama Nemunu. Ankstesni tyrimai parodė, kad susidarius tam tikroms sąlygoms, gali vykti ištirpusio fosforo išskyrimas iš dugno nuosėdų į vandens stovymę ir kažkiek pakeisti šiuos rezultatus, tačiau viena iš būtiniausių (bet nepakankamų) tam sąlygų hipoksijos atvejai, stebimi priedugnyje virš dumblo nuosėdų, tetruko tik keletą dienų.
12. Apskaičiuotas per metus atnešamo Nemunu ir išnešamo į Baltijos jūrą bendrojo azoto ir fosforo santykis parodė, kad į Baltijos jūrą bendrojo fosforo išnešama maždaug 35% mažiau negu atnešama, tuo tarpu bendrojo azoto išnešama į jūrą apie 45% daugiau negu atnešama, tačiau to negalima paaiškinti vien tik azoto išsiskyrimu iš dugno nuosėdų, nes iš ten išsiskyręs ištirpęs azotas (TDN) tesudaro tik apie 65% nuo minėto padidėjimo.

## LITERATŪROS ŠARAŠAS

- Daunys D., P. Zemlys, S. Olenin, A. Zaiko, C. Ferrarin, 2006. Impact of the zebra mussel *Dreissena polymorpha* invasion on the budget of suspended material in a shallow lagoon ecosystem. *Helgoland Marine Research* 60 (2): 113–120.
- Dettmann E.H., 2001. Effect of water residence time on annual export and denitrification of nitrogen in estuaries: a model analysis. *Estuaries* 24(4): 481–490.
- Erturk A., A. Razinkovas, P. Zemlys, R. Pilkaityte, Z. Gasiunaite, 2008. Linking NPZD and foodweb models of an estuarine lagoon ecosystem. *Proceedings of the US/EU Baltic 2008 Symposium*. IEEE Catalog Number: CFP08AME-CDR, ISBN: 978-1-4244-2268-5, Library of Congress: 2008902075.
- Ferrarin C., A. Razinkovas, Gulbinskas S., Umgiesser G. and Bliudziute L., 2008. Hydraulic regime-based zonation scheme of the Curonian Lagoon. *Hydrobiologia* 611: 133-146.

- Lietuvos jūrų išteklių darniojo valdymo sistema taikant naujoviškas stebėjimo, modeliavimo priemones ir ekosistemų metodą 2011 <http://www.corpi.ku.lt/~lt0047/>.
- Neumeier U., C. Ferrarin, C.L. Amos, G. Umgiesser, M.Z. Li, 2008. Sedtrans05: An improved sediment-transport model for continental shelves and coastal waters. *Computers and Geoscience* 34(10): 1223–1242.
- S.HY.F.E.M Shallow water hydrodynamic model 2011 <https://sites.google.com/site/shyfem/>
- Umgiesser G., P. Zemlys, A. Ertürk, A. Razinkovas-Baziukas, A. J. Mėžinė, C. Ferrarin, 2016. Seasonal renewal time variability in the Curonian Lagoon caused by atmospheric and hydrographical forcing. *Ocean Science* 12: 391–402.
- U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, 1984. Shore Protection Manual. U.S. Government Printing Office, Washington DC.
- Van Heuven S., D. Pierrot, J.W.B. Rae, E. Lewis, D.W.R. Wallace, 2011. CO2SYS v 1.1 : MATLAB Program Developed for CO2 System Calculations. ORNL/CDIAC-105b.. Oak Ridge, Tennessee : Oak Ridge National Laboratory.
- Zemlys P., A. Ertürk, A. Razinkovas, 2008. 2D finite element ecological model for the Curonian lagoon. *Hydrobiologia* 611 (1): 167–179.
- Zemlys P., C. Ferrarin, G. Umgiesser, et al., 2013. Investigation of saline water intrusions into the Curonian Lagoon (Lithuania) and two-layer flow in the Klaipėda Strait using finite element hydrodynamic model. *Ocean Science* 9: 573–584. doi:10.5194/os-9-573-2013.
- Zilius M., M. Bartoli, D. Daunys, R. Pilkaityte, A. Razinkovas, 2012. Patterns of benthic oxygen uptake in a hypertrophic lagoon: spatial variability and controlling factors. *Hydrobiologia*: 699: 85–98.
- Zilius M., M. Bartoli, M. Bresciani, M. Katarzyte, T. Ruginis, J. Petkuvienė, I. Lubiene, C. Giardino, P.A. Bukaveckas, R. deWit, 2013. Feedback Mechanisms Between Cyanobacterial Blooms, Transient Hypoxia, and Benthic Phosphorus Regeneration in Shallow Coastal Environments. *Estuaries and Coasts*. DOI:10.1007/s12237-013-9717-x
- Zilius M., M. Bartoli, M. Katarzyte, T. Ruginis, J. Petkuvienė, I. Lubiene, C. Giardino P.A. Bukaveckas P.A., R. De Wit, A. Razinkovas, 2014. Feedback Mechanisms Between Cyanobacterial Blooms, Transient Hypoxia, and Benthic Phosphorus Regeneration in Shallow Coastal Environments. *Estuaries and Coasts* 37: 680–694. doi: 10.1007/s12237-013-9717-x.
- Zilius M., G. Giordani, J. Petkuvienė, I. Lubiene, T. Ruginis, M. Bartoli, 2015. Phosphorus mobility under short-term anoxic conditions in two shallow eutrophic coastal systems (Curonian and Sacca di Goro lagoons), *Estuarine Coastal and Shelf Science* 164:134–146. doi: 10.1016/j.ecss.2015.07.004
- Žaromskis R., 1996. Oceans, Seas, Estuaries. Debesija, Vilnius, 293 pp.

#### **IV skyrius. REKOMENDACIJOS**

##### **ĮVADAS**

Šiame skyriuje pateikiamas 3 uždavinio “Pateikti rekomendacijas monitoringo programai siekiant įvertinti maistingųjų medžiagų dugno nuosėdose įtaką vandens kokybei” rezultatai.

3 uždavinys apima šias veiklas:

**3.1 veikla.** Pasiūlyti Kuršių marių dugno nuosėdų optimalų tyrimų vietų skaičių ir tyrimų atlikimo dažnumą per metus.

**3.2 veikla.** Pasiūlyti tiriamus parametrus, reikalingus vertinant maistingųjų medžiagų įtaką Kuršių marių vandens kokybei.

**3.3 veikla.** Pasiūlyti priemones Kuršių marių maistingųjų medžiagų antrinės taršos poveikio Kuršių marių ekosistemai mažinti.

**3.4 veikla.** Atlikti priemonių pasiūlytų pagal 3.3 veiklą efektyvumo, siekiant sumažinti antrinės taršos poveikį, vertinimą ir pateikti preliminarių kaštų naudos analizę.

#### **4.1 REKOMENDUOJAMOS TYRIMŲ VIETOS IR JŲ SKAIČIUS**

Dugno nuosėdose sukauptų maistmedžiagų kiekio ir jų bento-pelaginės apykaitos vertinimas atliktas 3 tyrimo stotyse (N, V ir DR), kurios reprezentuoja svarbiausias marių sedimentacines aplinkas. Palyginus V ir DR tyrimo stotis paaiškėjo, kad jos yra panašios savo charakteristikomis: a) maistmedžiagų koncentraciją poriniame vandenyje, b) dalelių pavidalo maistmedžiagų kiekį, 3) apykaitos greičius tarp dugno nuosėdų ir priedugnio vandens. Atsižvelgus į tai tyrimo stočių skaičių būtų galima sumažinti iki dviejų.

Pagal Kuršių marių monitoringo planą 2016 metais (LR Vyriausybės nutarimas 2016 m. kovo 7 d. Nr. D1-161) bendrusius dugno nuosėdų rodiklius numatoma įvertinti du kartus per metus. 2015 metais atlikti sezoniniai biogeocheminiai tyrimai (kartą per sezoną) parodė, kad kiekvienas sezonas, žiema, pavasaris, vasara ir ruduo, turi tik jam būdingus bruožus, kurie atsispindi biogeocheminiuose procesuose dugno nuosėdose ir vandens storumėje. Siekiant kuo objektyviau įvertinti dugne susikaupusių maistmedžiagų vaidmenį metiniame balanse, būtina padidinti tyrimų dažnumą.

Rekomendacijos tyrimo vietų skaičiui.

- 1) Pastovių stebėjimų Kuršių marių monitoringo programoje dugno nuosėdose sukauptų maistmedžiagų koncentracijos ir apykaitos greičių vertinimą siūloma atlikti dviejose tyrimo stotyse, N ir V, reprezentuojančiose vyraujančias Kuršių marių aplinkas, apie 99 % visų marių ploto. Ties Nida esanti N tyrimo stotis yra netoli monitoringo stoties Nr. 7B. Dėl šios priežasties logiška būtų tyrimus perkelti valstybinio monitoringo stotį.

- 2) Dugno nuosėdų tyrimų vertinimų dažnumas turi būti padidintas iki keturių kartų per metus: 1) sausio mėn. – vasario pradžioje, 2) kovo pabaiga – balandžio mėn., 3) liepos pabaiga – rugpjūčio pabaiga ir 4) spalio mėn. – lapkričio pradžia.

#### 4.2 REKOMENDUOJAMI MATUOTI PARAMETRAI

Remiantis Kuršių marių 2016 – 2017 metų monitoringo planu (patvirtintas LR Vyriausybės nutarimu [2016 m. kovo 7 d. Nr. D1-161](#)) tarša maistmedžiagėmis yra vertinama pagal fizikinius-cheminius ir biologinius kokybės elementus dugno nuosėdose ir vandens stovymėje. Dugno nuosėdose sukauptą maistmedžiagių kiekį apibūdina vienintelis rodiklis – bendrojo fosforo kiekis ( $P_b$ ). Pagal šį rodiklį negalima įvertinti dugno nuosėdose sukauptų maistmedžiagių kiekio ir jų bento-pelaginės apykaitos greičių bei įtakos bendrai Kuršių marių būklei. Siekiant gauti kuo objektyvesnę informaciją apie antrinę taršą iš dugno nuosėdų arba nuosėdų vaidmenį apvalant vandens stovymę nuo maistmedžiagių pertekliaus, būtinas matuojamų rodiklių sąrašo praplėtimas.

##### 4.2.1 Rekomendacijos matuotiniams parametrams

Matuotinių parametru kiekis labai priklauso nuo skiriamų lėšų dydžio valstybiniam monitoringui, o taip pat nuo to poreikio ir tikslumo prognozuoti dugno nuosėdose vykstančius procesus ir maistmedžiagių prieinamumą vandens stovyme. Todėl yra rekomenduojami trys matuotinių parametru variantai: 1) labai mažo biudžeto, skirto prognozuoti potencialų maistmedžiagių kiekį patenkantį iš dugno nuosėdų į priedugnio vandenį (4.1 lentelė), 2) mažesnio biudžeto indikacinio pobūdžio parametru sąrašas, tikslesniam maistmedžiagių transportui įvertinti (4.2 lentelė) ir 3) didesnio biudžeto išsamesnis parametru sąrašas, leidžiantis detaliai įvertinti dugno nuosėdose vykstančius procesus, maistmedžiagių transportą ir jų prieinamumą vandens stovymėje (4.3 lentelė).

4.1 lentelė. Labai mažo biudžeto indikacinių rodiklių sąrašas.

Parametro nr.	Parametro pavadinimas	Matavimo vieta
1.	$NH_4^+$	Poriniame ir priedugnio vandenyje
2.	$PO_4^{3-}$	
3.	$SiO_2$	
4.	Poringumas	
5.	$O_2$	Priedugnio sluoksnyje

4.2 lentelė. Mažo biudžeto indikatorių rodiklių sąrašas.

Parametro nr.	Parametro pavadinimas	Matavimo vieta
1.	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Poriniame vandenyje
2.	DON	Poriniame vandenyje
	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Poriniame vandenyje
3.	DOP	Poriniame vandenyje
4.	Lengvai absorbuotas neorganinis P	Nuosėdose
5.	Su geležimi/manganu surištas neorganinis P	Nuosėdose
	Dalelių pavidalo organinis N	Nuosėdose
7.	Dalelių pavidalo organinė C	Nuosėdose
8.	O <sub>2</sub> apykaita (suvartojimas/produkcija)	Tarp nuosėdų ir vandens
9.	N <sub>2</sub> apykaita (denitrifikacija/anammox/fiksacija)	Tarp nuosėdų ir vandens
10.	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> apykaita	Tarp nuosėdų ir vandens
11.	NO <sub>x</sub> <sup>-</sup> apykaita	Tarp nuosėdų ir vandens
12.	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> apykaita	Tarp nuosėdų ir vandens

4.3 lentelė. Didesnio biudžeto matuotinių parametru sąrašas.

Parametro nr.	Parametro pavadinimas	Matavimo aplinka, būdas
1.	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Poriniame vandenyje
2.	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Poriniame vandenyje
3.	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Poriniame vandenyje
4.	Ištirpęs organinis N	Poriniame vandenyje
5.	Ištirpęs neorganinis P	Poriniame vandenyje
6.	Ištirpęs organinis P	Poriniame vandenyje
7.	Ištirpęs mineralinis Si	Poriniame vandenyje
8.	Ištirpusi Fe <sup>2+</sup>	Poriniame vandenyje
9.	Ištirpęs Mn <sup>2+</sup>	Poriniame vandenyje
10.	Lengvai absorbuotas neorganinis P	Nuosėdose
11.	Su geležimi/manganu surištas neorganinis P	Nuosėdose
12.	Autogeninis su kalciumu surištas neorganinis P	Nuosėdose
13.	Detrinis su kalciumu surištas neorganinis P	Nuosėdose
14.	Dalelių pavidalo bendras organinis P	Nuosėdose
15.	Dalelių pavidalo bendras P	Nuosėdose
16.	Dalelių pavidalo organinis N	Nuosėdose
17.	Dalelių pavidalo organinė C	Nuosėdose
18.	chlorofilas <i>a</i>	Nuosėdose
19.	Dalelių pavidalo Fe(II)	Nuosėdose
20.	Dalelių pavidalo Fe(III)	Nuosėdose
21.	Dalelių dydis (granulometrija)	Nuosėdose
22.	Tankis	Nuosėdose
23.	Poringumas	Nuosėdose
24.	O <sub>2</sub> apykaita (suvartojimas/produkcija)	Tarp nuosėdų ir vandens
25.	N <sub>2</sub> apykaita (denitrifikacija/anammox/fiksacija)	Tarp nuosėdų ir vandens
26.	Ištirpusio CO <sub>2</sub> produkcija (mineralizacija)	Tarp nuosėdų ir vandens
27.	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> apykaita	Tarp nuosėdų ir vandens
28.	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> apykaita	Tarp nuosėdų ir vandens
29.	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> apykaita	Tarp nuosėdų ir vandens
30.	Ištirpusio organinio N apykaita	Tarp nuosėdų ir vandens
31.	Ištirpusio mineralinio P apykaita	Tarp nuosėdų ir vandens
32.	Ištirpusio mineralinio Si apykaita	Tarp nuosėdų ir vandens

## 4.3 REKOMENDUOJAMOS PRIEMONĖS ANTRINĖS TARŠOS POVEIKIO MAŽINIMUI.

### 4.3.1. Situacijos vertinimas

Įvertinus maistingųjų medžiagų kiekius Kuršių marių dugno nuosėdose ir antrinės (iš dugno nuosėdų) taršos poveikį Kuršių marių maistingųjų medžiagų balansui parodyta, kad visumoje nesant deguonies deficito visos tirtos nuosėdos veikė kaip akumuliacinė aplinka oksiduotoms azoto ir fosforo formoms iš priedugnio vandens. Dėl šios priežasties  $\text{PO}_4^{3-}$  prietaka į Baltijos jūrą sumažėjo. Priešingai, komplikuoatų azoto junginių transformacijų visuma (mineralizacija, nitrifikacija-denitrifikacija ir azoto fiksacija) sąlygoja bendro ištirpusio azoto metinio balanso padidėjimą vandens stovymėje. Nors ekspertiškai buvo prognozuojama pagal (ARTWEI projekto prezentacijos HELCOM LAND 18 susitikime (ARTWEY, 2013), kad dėl denitrifikacijos Kuršių mariose gali būti sulaikoma nuo 25 iki 50 % bendro azoto prietakos su Nemuno vandenimis, tačiau dabartinių turimų tyrimų rezultatai ir patikimos informacijos stoka neleidžia daryti toli siekiančių prielaidų apie denitrifikacijos mastus. Taip pat ir į priešingą pusę nukreipto proceso – azotofiksacijos reikšmingumo mastai nėra deramai apibrėžti dėl išsamių tyrimų stokos. Sprendžiant iš 2015 m. medžiagų balanso, asimiliaciniai procesai dominavo, todėl iš Kuršių marių į Baltijos jūrą išteka apie 20 % bendro ištirpusio azoto mažiau negu atnešama Nemunu, bet metinis bendrojo azoto išnešimas į jūros aplinką pusantrą kart viršijo prietakos į Kuršių marias kiekius.

Taigi, kadangi oksidacinių-redukcinių sąlygų pokyčiai, reikšmingai sąlygojantys maistinių medžiagų transformacijos ir migracijos vektorius ir mastus, ryškus deguonies deficitą galėtų sąlygoti fosforo atsipalaidavimą. Tačiau jo junginių išsiskyrimas mariose yra sąlyginai lėtas procesas ir taip pat priklauso nuo to, kiek nuosėdose yra kitų oksidacinę aplinką formuojančių elementų. Kita vertus, deguonies koncentracijos sumažėjimas, net ir hipoksija priedugnio sluoksniuose skatina anaerobinio nitratinio kvėpavimo procesus, tuo pačiu sąlygoja azoto atsipalaidavimą į atmosferą. Šiuo požiūriu Kuršių mariose yra susiformavusi optimali dinaminė pusiausvyra, kurios dėka jos ir funkcionuoja kaip fosforo akumuliacinė zona ir tam neturi įtakos permanentiniai, bet trumpalaikiai bangų sukeltos resuspensijos atvejai.

Tokios Kuršių marių akumuliacinės gebos išsaugojimas yra svarbiausias uždavinys, parenkant ir/ar analizuojant galimas prevencines priemones bei siekiant ne tik išvengti maistingųjų medžiagų antrinės taršos poveikio Kuršių marių ekosistemai, bet ir sumažinti azoto ir fosforo patekimą į Baltijos jūrą. Todėl nuosekliai Kuršių marių produktyvumą mažinančios ir fitoplanktono nitrogenazinį aktyvumą slopinančios priemonės yra

prioritetinės, nes prevenciškai mažintų deguonies deficito atsiradimą ir bei perteklinio, naujai asimiliuoto azoto junginių patekimą į ekosistemą. Kita vertus, bendrajame eutrofikacijos prevencijos kontekste svarbu detaliau apibūdinti ir įvertinti biologinių azoto junginių transformacijos procesų mastus Kuršių mariose, savo ruožtu siekiant realiai ir reprezentatyviai įvertinti maistinių medžiagų transportą ir balansą tranzitinėje Nemuno upės, marių ir jūros aplinkos sistemoje.

#### 4.3.2 Įgyvendintų ir įgyvendinamų priemonių įtaka Kuršių marių dugno nuosėdų maistingųjų medžiagų antrinės taršos poveikio prevencijai ir sumažinimui

Apžvelgiant įgyvendintas ar jau numatytas įgyvendinti nacionalinės priemonės pagal ES, HELCOM ir kitus teisės aktus, siekiama įvertinti, kaip priemonių turinys gali įtakoti aplinkybes, vienaip ar kitaip sąlygojančių antrinės taršos apimtį Kuršių mariose.

Pagal HELCOM Baltijos jūros veiksmų plano (BSAP, 2007) tikslų pasiekimui numatytas priemonės numatyta sureguliuoti ir nustatyti biogeninių medžiagų patekimą į Baltijos jūros aplinką įvairiuose regionuose, siekiant pagerinti aplinkos būklę ir sumažinti šių medžiagų kiekius jūros vandenyje. Suderintos biogeninių medžiagų apkrovos kvotos valstybėms aplink Baltijos jūrą. Šiuo metu įgyvendinamos veiklos ir siekiai yra svarbūs, antrinės taršos prevencijai. Esant dabartinei prietakos kvotų apskaičiavimo ir modeliavimo sąlygų situacijai bendras iš Lietuvos teritorijos į Kuršių marias patenkančio fosforo kiekis turi neviršyti 1 151 t/metus, o bendrojo azoto – 35 489 t/metus. Pagal HELCOM pateiktus 2008-2010 m. normalizuotus duomenis, azoto taršos apkrovą iš Lietuvos teritorijos lyginant su referentiniu laikotarpiu pavyko sumažinti 10 proc. iki 41 546 t/metus, o fosforo – 30 proc. iki 1 834 t/metus (HELCOM, 2015). Buvo nustatyta, kad papildomos taršos mažinimo priemonės, skirtos BVPD tikslams įgyvendinti azoto taršos pernašą į Kuršių marias dar gali sumažinti 5 tūkst. t, o fosforo kiekis gali sumažėti 65 t. Taigi, iš viso azoto pernašos sumažėjimas gali sudaryti 7,4 tūkst t, o fosforo 97 t. Toks sumažėjimas reikšmingai sumažins produktyvumą skatinančių azoto junginių prietaką, nors fosforo sumažėjimo mastų prognozės mažesnės (Nemuno baseino..., 2015).

LR Vyriausybės 2010 m. rugpjūčio 25 d. nutarimu Nr. 1264 patvirtintos Baltijos jūros aplinkos apsaugos strategijos įgyvendinimo priemonių plane 2010–2015 metams buvo numatyta siekti ir išlaikyti gerą Baltijos jūros aplinkos būklę iki 2020 metų (Baltijos jūros aplinkos..., 2010). Eutrofikacijos prevencijos atžvilgiu svarbus yra tikslas – sumažinti

biogeninių medžiagų patekimą į jūros aplinką iki 2016 m. Įvairiu priemonių pagalba buvo siekiama užkirsti kelią taršos patekimui į jūros aplinką ar ją mažinti, kad būtų užtikrinta, kad biologinei įvairovei, ekosistemoms, žmogaus sveikatai ar teisėtam naudojimuisi jūros aplinkai nebūtų poveikio ar didelės rizikos. Daugumos priemonių įgyvendinimo laikas jau pasibaigęs, priemonės įgyvendintos. Ypač aktualūs normatyviniai pakeitimai susiję su „Miestų nuotekų tvarkymu“, „Individualių namų, mažų įmonių ir gyvenviečių iki 300 gyventojų ekvivalento nuotekų tvarkymu“; HELCOM konvencijos ir rekomendacinių dokumentų įteisinimo, siejamų su taršos sumažinimu iš žemės ūkio šaltinių. Aktualus fosfatų naudojimo buitinėse skalbimo priemonėse ribojimą nuo 2014 m. pradžios nustatančių dokumentų priėmimas. Apskritai, Strategijoje numatomų priemonių įgyvendinimas Kuršių marių ir jūros aplinkos produktyvumo mažinimui ir hiperprodukcijos sukeltam deguonies deficito reiškinių prevencijai.

Siekiant įgyvendinti Europos Tarybos direktyvos 91/271/EEB reikalavimus dėl miestų nuotekų valymo LR buvo įgyvendinama Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2006 m. gegužės 17 d. įsakymu Nr. D1-236 patvirtinto „Nuotekų tvarkymo reglamento“, numatytomis priemonėmis. Numatyta užtikrinti nuotekų valymą pagal nustatytus reikalavimus aglomeracijose didesnėse kaip 2000 gyventojų ekvivalentų. direktyvos priemonių įgyvendinimas padėjo užtikrinti, jog iš visų miestų nuotekų valyklų tiesiogiai ar netiesiogiai į jūros aplinką išleidžiamose nuotekose būtų išvaloma: – bendrojo fosforo ne mažiau kaip 90 %; – bendrojo azoto ne mažiau kaip 75 %. Priemonės ir pasiekti rezultatai aktualiai prisidėjo gerinant būklę ir vandens kokybės rodiklius Kuršių mariose ir priekrantėje.

Aktuali yra ir iš dalies įgyvendinta Tarybos direktyva 91/676/EEB dėl vandens apsaugos nuo taršos nitratais iš žemės ūkio šaltinių. Šiuo metu nėra tikslių duomenų apie tai, ar visi ūkininkai, kuriems privalu turėti mėšlides, jas turi. Viena pagrindinių taršos prevencijos priemonių pagal Nitratų direktyvą yra mėšlidžių statyba ne mažiau nei 10 sąlyginių galvijų turinčiuose ūkiuose. Naujoje 2011 m. rugsėjo 26 d. patvirtintoje aprašo redakcijoje buvo palengvintos mėšlo laikymo sąlygos mažesniesiems ūkiams, laikantiems nuo 10 iki 100 SG. Jiems mėšlidės statyba tapo nebeprivaloma, mėšlą leidžiama laikyti lauko rietuvėse. Nuo 2012 m. sausio 1 d. tręšimo planai privalomi visiems ūkiams, tręšiantiems mėšlu arba srutomis daugiau nei 50 ha žemės ūkio naudmenų per metus. Nuo 2014 m. draudžiama tręšiant naudoti purškiamąsias technologijas (sudarančias daugiau nei 20 % aerozolinių dalelių) bei reikalavimai uždengti srutų kauptuvus ūkiams, laikantiems virš 500 SG. Šios ir kitos priemonės, besisiejantys su azoto junginių prietakos į vidaus vandens telkinius ir

Kuršių marias ir priekrantės vandenį jūroje yra esminiai svarbūs produktyvumą lemiantys veiksniai.

1986 m. birželio 12 d. Tarybos priimta direktyva 86/278/EEB, skirta reguliuoti dumblo naudojimą žemės ūkyje taip, kad nebūtų daroma žala dirvožemiui, augmenijai, gyvūnams ir žmonėms ir skatinti teisingą nuotėkų dumblo naudojimą. Buvo numatoma reguliuoti ir apibūdinti tręšimo planų rengimą, reikalaujant nuotėkų dumblo analizės ir apskaitos, tame tarpe ir biogeninių medžiagų (N ir P); užtikrino maksimalias metines tręšimo nuotėkų dumblo normas: azoto – ne daugiau kaip 170 kg/ha per metus, fosforo – 40 kg/ha per metus. Įgyvendinimas sudarė galimybę sumažinti vidaus vandenų ir Kuršių marių apkrovą maistinėmis medžiagomis

Aktualus ir reikšmingas yra įgyvendinamas Europos Parlamento ir Tarybos reglamentas (Europos parlamento, 2012.), kuriuo iš dalies keičiamos Reglamento (EB) Nr. 648/2004 nuostatos dėl fosfatų ir kitų fosforo junginių naudojimo plataus vartojimo skalbinių plovikliuose ir plataus vartojimo automatinėms indaplovėms skirtuose plovikliuose). Nustatyta, kad nuo 2017 m. reikalavimai dėl fosforo junginių kiekio plataus vartojimo skalbinių plovikliuose įgaus dar griežtesnę išraišką – į rinką nebus pateikiamos priemonės, jei bendras fosforo kiekis juose bus lygus arba didesnis nei 0,3 gramo standartinėje dozėje. Atliktose galimybių studijose nurodoma, kad Lietuvoje įvedus fosforo pagrindu pagamintų detergentų naudojimo apribojimus, nuotėkų valyklų į vandens telkinius išleidžiamo bendrojo fosforo taršos apkrova gali sumažėti apie 20-25 % (Nemuno baseino..., 2015). Priemonių įgyvendinimas tiesiogiai veiktų siekius apsaugoti vandens telkinius nuo ypač ženkliai produkcinį procesus skatinančių fosforo junginių.

Ypač svarbūs uždaviniai yra iškeliami, įgyvendinant Direktyvą 2000/60/EB, nustatančią Bendrijos veiksmų vandens politikos srityje uždavinius (Europos parlamento ir tarybos direktyva 2000/60/EB, 2000). Vadovaujantis šios direktyvos nuostatomis rengiami upių baseinų rajonų valdymo planai, skirti apsaugoti ir pagerinti vandens aplinką. Šiuose dokumentuose pateikiamos upių baseinų rajonų charakteristikos, informacija apie vandens telkinių būklę, išskirti rizikos vandens telkiniai, apžvelgtas įvairių žmogaus veiklų poveikis ir pasiūlytos priemonės, esamoms problemoms spręsti. Upių baseinų rajonų valdymo planai patvirtinti LR vyriausybės nutarimais, 2015 m. parengta nauja planų redakcija (Nemuno baseino..., 2015). Papildytais planais bus vadovaujama gerinant UBR vandens telkinių būklę 2016-2021 m. Priemonių įgyvendinimo tikslai ir rodikliai iš dalies atitinka anksčiau paminėtų dokumentų tikslus, mažinant maistinių medžiagų patekimo į vandens telkinius ir pernešimo į Kuršių marias kiekius.

LR aplinkos ir žemės ūkio ministrų 2012 m. birželio 8 d. įsakymu Nr. D1-490/3D-391 patvirtinta “Vandenių taršos dėl žemės ūkio veiklos poveikio mažinimo programa” yra iš dalies įgyvendinta. Nėra pakankamai informacijos apie tai, ar žemės ūkio taršos mažinimo priemonės užtektinai įgyvendinamos. Buvo numatoma, kad įgyvendinus Programą, žemės ūkio veiklos subjektai taikys aplinkai palankias ūkininkavimo technologijas, sumažės žemės ūkio veiklos daromas neigiamas poveikis paviršiniams ir požeminiams vandenims, bus užtikrinta, kad neblogės vandenių būklė ir vykdomi Europos Sąjungos ir tarptautiniai įsipareigojimai saugant vandens telkinius nuo taršos. Nors stokoja konkretumo, tačiau priemonių siekis atitinka tikslus mažinti maistiniu medžiagų srautus į vandens ekosistemas ir tuo pačiu mažinti produktyvumo skatinimą Kuršių mariose.

Nacionalinės aplinkos apsaugos strategijos, patvirtintos Lietuvos Respublikos Seimo 2015 m. balandžio 16 d. nutarimu Nr. XII-1626 (Nacionalinė aplinkos..., 2015) siekiai vandens apsaugos srityje yra užtikrinti, kad požeminio vandens, paviršinių vidaus vandens telkinių, Kuršių marių ir Baltijos jūros būklė būtų gera, paviršiniai vandens telkiniai tiktų rekreacijos reikmėms tenkinti, o visi šalies gyventojai gautų saugos ir kokybės reikalavimus atitinkantį geriamąjį vandenį. Strategijoje šalia kitų vandens apsaugos politikos įgyvendinimo kryptių numatoma ir paviršinio vandens taršos mažinimas iš pasklidusios ir sutelktosios taršos šaltinių ir Baltijos jūros taršos mažinimas. Numatomos priemonės turėtų būti reikšmingos produktyvumą Kuršių mariose slopinimo tikslų įgyvendinime, nors yra ką tik priimta ir akivaizdžių įgyvendinimo faktų dar nematyti.

Rengiant naujus jūros aplinkos valdymo principų ir reikalavimų, įtvirtintų Europos Tarybos direktyvoje 2008/56/EB įgyvendinimo dokumentus, paruoštas priemonių planas eutrofikacijos pasekmių mažinimo tikslams pasiekti (Jūrinių tyrimų, 2015). Pagal šį dokumentą numatytų priemonių galutinis tikslas - sumažinti eutrofikaciją skatinančių mineralinių ir organinių medžiagų patekimą į jūros aplinką, siekiant geros aplinkos būklės jūros rajone. Įvertinus tai, jog pagal žmogaus sukeltos eutrofikacijos deskriptorių jūros aplinkos būklė pagal visus rodiklius šiuo laikotarpiu yra nepatenkinama, o esamų priemonių, numatytų įvairiuose teisės aktuose (skirtų mažinti biogeninių (Nb ir Pb) ir organinių medžiagų patekimą į jūros aplinką) nepakanka užtikrinti, kad jūros aplinkos būklė iki 2020 m. taptų gera, buvo pasiūlytos naujos priemonės, kurių įgyvendinimas turėtų padėti siekti užsibrėžtų tikslų ir jo įgyvendinimo rodiklių reikšmių.

Kadangi į Kuršių marias ir tuo pačiu į Baltijos jūrą Lietuvos teritorijoje atnešamų biogeninių medžiagų didžiausią dalį sudaro Nemuno nuotėkis. Todėl, siekiant šių medžiagų koncentracijų sumažinimo Baltijos jūroje, visų pirma buvo ieškota būdų reguliuoti šios upės

atnešamų biogeninių medžiagų kiekį, nepaisant modeliniais apskaičiavimais, tarsi, akivaizdžiai pagrįstą tokių reguliavimo priemonių įtakos nepakankamą svarbą.

Pirmiausiai buvo siūloma tobulinti ir efektyvinti nuotekų valymą sukonzentruotuose taršos taškuose, t.y. miestų nuotekų valyklose (MNV), naudojant pasaulyje jau dabar plačiai pasaulyje bandomą metodą, kai fitoplanktono organizmai ir epifitiniai dumbliai naudojami papildomam nuotekų valymui (Randall, 2003; Becker, 2004; Chan et al. 2014). Nors Lietuvoje tokia praktika dar nepaplitusi, bet buvo konstatuota, kad derėtų išanalizuoti galimybę vystyti tokio pobūdžio veiklą, siekiant dar didesnio nuotekų išvalymo.

Nuomonė grįsta tuo, kad iš MNV į paviršinius vandens telkinius išleidžiamos išvalytos nuotekos yra pakankamai prisotintos biogeninėmis medžiagomis, kad jose galėtų augti fotosintezuojantys mikroorganizmai. Juos galima užauginti vietoje ir panaudoti ne tik kaip atsinaujinantį energijos šaltinį (biokuras), bet ir kaip naudingas medžiagas (antioksidantai, pigmentai, polinesočiosios riebiosios rūgštys, proteinais) (Benedetti et al., 2004; Chinnasamy, 2010; Cai, 2013; Markou, Georgakakis, 2011). Pirmiausia siūloma atlikti bandomąjį projektą (galimybių studiją), įrengiant tvenkinėlius papildomam biogeninių medžiagų išėmimui parinktoje miesto nuotekų valyklos teritorijoje ar prie jos. Numatyta, kad jei bandomasis projektas bus veiksmingas, t.y. nauda, susijusi su biogeninių medžiagų išėmimu, viršys sąnaudas, siūloma pildyti Nuotekų reglamentą atitinkamomis nuostatomis, numatančiomis taršos biogeninėmis medžiagomis mažinimo galimybes.

Kitos su veikla sausumoje numatytos priemonės grindžiamos galimybe apsivalyti nuo Nemuno tėkmės nešmenyse į Kuršių marias esančių maistinių medžiagų, sudarant galimybę didinti slėnyje nusėdančių nešmenų kiekį didint besiliejančią į deltą potvynių vandens debitą. Paskaičiavimai rodė, kad net ir mažo potvynio metu išsiliejusio į slėnį Nemuno vandens drumstumas, priklausomai nuo tėkmių pasiskirstymo ir žolinės augmenijos būklės, sumažėtų net iki 23 kartus, bendrojo N sumažėtų apie 4 kartus, o bendrojo P kiekis sumažėtų apie 30 % (Vaikasas ir kt., 2007)

Betarpiskai Kuršių mariose buvo numatyta atlikti galimybių studiją, susijusią su filtruojančių moliuskų (dreisenų) auginimo ir surinkimo būdais biogeninių medžiagų šalinimui iš Kuršių marių ir kitų vandens telkinių, skatinant ir didinant denitrifikacijos procesų intensyvumą Kuršių marių akvatorijoje. Ši priemonė, skatinanti eutrofikacijos reiškinį ir priežasčių mažinimą Kuršių mariose, o tuo pačiu ir Baltijos jūroje, buvo pasiūlyta dar pirmojoje Nemuno UBR programoje (2010). Tai papildoma priemonė, skirta azoto ir fosforo koncentracijų šalinimui kultivuojant dvigeldžius moliuskus *Dreissena polymorpha* centrinėje marių dalyje. Dreisenos šalina suspenduotas medžiagas iš vandens storumės ir

sumažina biogeninių medžiagų kiekį, nusodindamos ir akumuliuodamos jas biomasėje (Zaiko et al., 2010). Kuršių marių *D. polymorpha* populiacijos modeliavimo rezultatai parodė, jog kasmet mariose galima papildomai užauginti 25 % dabartinės populiacijos biomasės (iki 1300 t), kurią surenkant iš ekosistemos galima būtų pašalinti iki 89 t azoto ir 15 t fosforo (Daunys ir kt., 2007). Kita vertus, priemonės įdiegimas įvairiose Kuršių marių dugno nuosėdų biotopuose sudarytų papildomas sąlygas formuoti zonoms, kuriose didėtų anaerobinių procesų fone vykstantys denitrifikacijos procesai. Tuo pačiu, tai skatintų azoto pasišalinimą iš ekosistemos (Deutsch et al., 2010). Nurodoma, kad priemonės efektyvumą ir sąnaudų apimtį galima įvertinti tik atlikus eksperimentinį filtruojančių moliuskų (dreisenu) auginimo ir surinkimo būdų patikrinimą.

Pasiūlyta tiesioginė priemonė, siekiant mažinti eutrofikacijos ir pirminės organinės medžiagos perteklinės produkcijos pasekmes - fitoplanktono biomasės surinkimo Kuršių marių akvatorijoje potencialių galimybių įvertinimas. Tokios priemonės praktikoje jau taikomos kitose šalyse (Gröndahl, 2009; Pechsiri et al., 2014). Patraukli šio metodo savybė yra tai, jog, remiantis stochiometrinėmis medžiagų priklausomybėmis fitoplanktono biomasėje, galima detalai apskaičiuoti biomasės gausą ir N ir P kiekius.

Pagrindiniai šios veiklos prasmingumo argumentai remiasi tuo, kad pašalinant perteklinę biomasę iš ekosistemos bus pašalinama ir keturi esminiai eutrofikacijos reiškiniai sąlygojantieji veiksniai: fitoplanktono biomasėje sukauptas azotas ir fosforas; fitoplanktono biomasėje esanti organinė medžiaga, kurios skaidymas didina deguonies deficitą (taip būtų galima sudaryti galimybę mažinti stebimus deguonies deficito reiškiniai mariose); (Conley et al., 2009) fitoplanktono melsvabakterių ir dumblių produkuojamus cianotoksinus, neigiamai veikiančius ne tik hidrobiontų gyvenimo sąlygas, bet ir vandens kokybę priekrantės maudyklose; savalaikis ir operatyvus azotą fiksuojančių melsvabakterių šalinimas iš dalies ar iš esmės sumažintų azoto srautus į ekosistemą iš atmosferos, tuo pačiu prisidėtų prie siekiamų tikslų įgyvendinimo. Nurodoma, kad galimybės pašalinti fitoplanktono biomasę turėtų būti įvertintos atskira studija, tuo pačiu atskleidžiant priemonės efektyvumą ir potencialą šalinant N ir P. Priemonei pasiteisinus ir išplėtus tarptautinį bendradarbiavimą su Rusijos Federacija ir bendromis pastangomis renkant fitoplanktono biomasę, rezultatai būtų daug efektyvesni.

Dvi papildomos priemonės, kurias siūloma atlikti priemonių projekte, daugiau pasitarnautų, siekiant išsamiai įvertinti visus Kuršių marių maistingųjų medžiagų balanso elementus. Atlikti galimybių studiją, nustatant azoto fiksacijos, denitrifikacijos ir cianotoksinų produkcijos procesų sezoninę dinamiką, pasiskirstymą, sankaupų mastus,

įvertinant biologinių procesų įtaką biogeninių medžiagų balansui Kuršių mariose, apibūdinant šių procesų įtaką eutrofikaciją skatinančių procesų kontekste.

Realus azoto ciklo biologinių procesų mastų Kuršių mariose pažinimas leistų išvengti nepagrįstų ir neretai spekuliatyvių prognostinių spėliojimų apie galimą estuarinės lagūnos įtaką medžiagų ir energijos srautams joje ir eutrofikacijos požymiams Baltijos jūroje. Kita vertus, aktualus potencialiai toksinių cianobakterijų produkuojamų toksinų poveikis aplinkai. Pastarojo laiko fitoplanktono daugiametės sukcesijos tendencijos rodo, kad potencialiai toksinių organizmų gausa Kuršių mariose didėja, eliminuodama ankstesniais metais dominavusius diazotrofos. Savo ruožtu buvo parodyta, kad vėjo sąlygotose melsvabakterijų sankaupose Kuršių marių priekrantėje mikrocistinų kiekis viršija Pasaulinės sveikatos organizacijos nustatytas ribines koncentracijų reikšmes, kurios kelia ypatingą pavojų žmonių sveikatai. Fitoplanktono melsvabakterijų ir dumblių produkuojami cianotoksinai neigiamai veikia ne tik hidrobiontų gyvenimo sąlygas, bet ir vandens kokybę priekrantės maudyklose. Procesų pažinimas laiku ir dėsningumą įvertinimas padės rengti priemones pavojų eliminacijai ir aplinkos būklės gerinimui Kuršių mariose ir Baltijos priekrantėje.

Kita siūloma priemonė - tiriamasis monitoringas siūlo praplėsti tyrimo rodiklių nomenklatūrą (azoto ir fosforo formos, bendroji ir ištirpusi organinė anglis) ir papildyti stebėjimų procedūras (C, N ir P parametrų nustatymo dažnumą) Klaipėdos sąsiaurio stebėjimo taškuose. Šios priemonės įgyvendinimas įgalintų detaliau nustatyti į Baltijos jūrą iš Lietuvos teritorijos patenkančių maistinių medžiagų kiekius. Įvertinant Kuršių marių akumuliacinę gebą fosforo junginiams, tai sudarytų galimybę naujai įvertinti Lietuvos indėlį į Baltijos jūros centrinę dalį, bendrame apskaičiuojamosios apkrovos kontekste.

#### 4.3.3. Išvados

Tyrimai rodo, kad Kuršių marios daugiausia akumuliuoja fosforą, o jo išsiskyrimo į vandens stovymę yra maži. Todėl priemonių taikymas fosforo surišimui dugno nuosėdose nėra būtinas. Be to tiesioginių fosforo surišimo dugno nuosėdose priemonių arsenalas yra ribotas. Pagrindinės priemonės remiasi dviem principais: priedugnio sluoksnio prisotinimas deguonimi arba koguliantų įterpimas, iš kurių pirmasis Kuršių marioms neturi prasmės, nes anoksija nėra būdinga, o antrasis taip pat neduotų naudos, nes išsiskyrimas iš nuosėdų yra mažas. Pagrindinė azoto junginių pašalinimo priemonė natūraliuose vandens telkiniuose ir

valymo įrenginiuose remiasi denitrifikacijos procesų skatinimu, kurie efektyviai vyksta hipoksijos sąlygomis, kas Kuršių mariose skatintų reaktyvaus fosforo atpalaidavimą dugno nuosėdose. Bandyti šalinti biogenus nuosėdų ekskavacijos būdu yra net nediskutuotina dėl didelių plotų ir žalos buveinėms. Tuo tarpu siūlomos eutrofikacijos mažinimo priemonės mažina visų maistmedžiagų kaupimąsi dugno nuosėdose, o tuo pačiu ir išsiskyrimą iš jų.

Tokiu būdu, išnagrinėjus įgyvendintas ar jau numatytas įgyvendinti nacionalinės priemonės, kurios vienaip ar kitaip įtakoja galimą antrinės taršos pavojų Kuršių mariose naujų tikslinių priemonių maistingųjų medžiagų antrinės taršos, tiek fosforo, tiek azoto poveikio ekosistemai mažinimui nesiūloma. Bet kokių papildomų priemonių taikymas tiek įvairiais sezonais tiek visumoje būtų perteklinis ir nepadidintų jau taikomų ar numatytų taikyti priemonių efektyvumo, siekiant sumažinti antrinės taršos poveikį. Priemonių įgyvendinimo kaštai neduotų reikiamos naudos ir nepadėtų efektyviai įgyvendinti siekiamų tikslų.

#### 4.4 ANTRINĖS TARŠOS POVEIKIO MAŽINIMO PRIEMONIŲ EFEKTYVUMO VERTINIMAS IR KAŠTŲ NAUDOS ANALIZĖ

Kaip parodyta 4.3 skyriuje, nėra mokslinių argumentų, rodančių papildomų priemonių antrinės taršos mažinimui būtinumą, palyginus su priemonėmis, mažinančiomis maisto medžiagų pritekėjimą į Kuršių marias bei pirminės produkcijos išėmimą Kuršių mariose, kurios yra jau numatytos arba jau vykdomos. Šių priemonių efektyvumo vertinimas bei kaštų naudos analizė yra atlikti arba atliekami atitinkamuose projektuose, kur tos priemonės buvo pasiūlytos (Jūrinių tyrimų..., 2015).

#### LITERATŪROS SĄRAŠAS

Artwey, 2013. [http://www.balticlagoons.net/artwei/wp-content/uploads/2013/12/ARTWEI\\_PRESENTATION\\_UPPSALA.pdf](http://www.balticlagoons.net/artwei/wp-content/uploads/2013/12/ARTWEI_PRESENTATION_UPPSALA.pdf)

Baltijos jūros aplinkos apsaugos strategijos įgyvendinimo priemonių 2010-2015 metų planas, 2010. Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2010 m. lapkričio 19 d. įsakymas Nr. D1-934.

Becker, E.W. 2004. Microalgae in human and animal nutrition. In A. Richmond (Ed), Handbook of microalgal culture (pp. 312-351). Oxford: Blackwell.

Benedetti, S., Benvenuti, F., Pagliarani, S., Francogli, S., Scoglio, S., and Canestrari, F., 2004. Antioxidant properties of a novel phycocyanin extract from the blue-green alga *Aphanizomenon flos-aquae*. Life Sciences, 55, 2353-2362.

BSAP 2007. HELCOM Baltic Sea Action Plan. adopted on 15 November 2007 in Krakow, Poland by the HELCOM Extraordinary Ministerial Meeting. 101 p.

- Cai T., Park S. Y., Li Y. 2013. Nutrient recovery from wastewater streams by microalgae: Status and prospects. *Renewable Sustainable Energy Rev.*, 19, 360–369
- Chan A., Salsali H., McBean E. 2014. Nutrient removal (nitrogen and phosphorous) in secondary effluent from a wastewater treatment plant by microalgae. *Canadian Journal of*
- Chinnasamy S, Bhatnagar A, Hunt RW, Das KC. 2010. Microalgae cultivation in a wastewater dominated by carpet mill effluents for biofuel applications. *Bioresource Technology* 101(9): 3097-3105
- Conley DJ, Björck S, Bonsdorff E, Carstensen J, Destouni G, Gustafsson BG, Hietanen S, Kortekaas M, et al. 2009. Hypoxia-related processes in the Baltic Sea. *Environmental Science and Technology*, 43:3412–3420. doi: 10.1021/es802762a.
- Daunys D., Olenin S., Paškauskas R., Zemlys P., Olenina I., Bučas M. 2007. Typology and classification of ecological status of Lithuanian coastal and transitional waters: an update of existing system, procurement of services for the institutional building for the Nemunas River basin management, Tech. Rep. Transit. Fac. Proj. No. 2004/016-925-04-06. 67 pp.
- Deutsch B., Forster S., Wilhelm M., Dippner J. W., Voss M., 2010. Denitrification in sediments as a major nitrogen sink in the Baltic Sea: an extrapolation using sediment characteristics. *Biogeosciences*, 7, 3259–3271.
- Europos parlamento ir tarybos direktyva 2000/60/EB, 2000. Europos Sąjungos oficialusis leidinys, 2000 12 22. p. 275-346.
- Europos parlamento ir tarybos reglamentas(ES) Nr. 259/2012 2012 m. kovo 14 d., 2012. Europos Sąjungos oficialusis leidinys, 2012 03 30. p. 16-30.
- HELCOM, 2015. Updated Fifth Baltic Sea pollution load compilation (PLC-5.5). *Baltic SeaEnvironment Proceedings* No. 145
- Jūrinių tyrimų konsorciumas, 2015. Lietuvos Baltijos jūros aplinkos apsaugos valdymo stiprinimas. Galutinė ataskaita: Priemonių programa. Klaipėda, 210 p.
- Nacionalinė aplinkos apsaugos strategija, 2015. Lietuvos Respublikos seimas. Nutarimas, 2015 m. balandžio 16 d. Nr. XII-1626
- Nemuno upių baseinų rajono valdymo plano projektas, 2015. Aplinkos apsaugos agentūra, Vilnius, 2015 m. gegužė.
- Gröndahl F., 2009. Removal of Surface Blooms of the Cyanobacteria *Nodularia spumigena*: A Pilot Project Conducted in the Baltic Sea. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 38(2):79-84.
- Markou G., Georgakakis D. 2011. Cultivation of filamentous cyanobacteria (blue-green algae) in agro-industrial waste and wastewaters: a review. *Applied Energy*, 88. p. 3389 – 3401.
- Pechsiri J.S., Ris´en E., Malmstrom M. E., Brandt N. and Gröndahl F. 2014. Harvesting of *Nodularia spumigena* in the Baltic Sea: Assessment of Potentials and Added Benefits. *Journal of Coastal Research*. Vol. 30, No. 4, p. 825-831.
- Randall, C.W. 2003. Potential societal and economic impacts of wastewater nutrient removal and recycling. IWA Publishing. 11 p.
- Vaikasas S., Balevičienė J., Balevičius A., Stanevičius V. 2007. Biogeninėmis medžiagomis turtingų nešmenų nusėdinimo didinimo pamario ir Nemuno baseino (žemiau Neris įtekėjimo) užliejamose

teritorijose galimybių studija. UŽSAKOVAS: Aplinkos Apsaugos Agentūra, VYKDYTOJAS: UAB „Senasis ežerėlis“, 99 p.

Zaiko, A., Paškauskas, R., Krevš, A. 2010. Biogeochemical alteration of the benthic environment by the zebra mussel *Dreissena polymorpha* (Pallas). *Oceanology*. 52 (4): 649–667.

## PRIEDAI

### 1 PRIEDAS. MATUOJAMŲ FIZIKINIŲ-CHEMINIŲ BEI BIOLOGINIŲ PARAMETRŲ SĄRAŠAS

Parametro nr.	Parametro pavadinimas	Matavimo vieta
1.	Diatominiai dumbliai	Vandens storumėje
2.	Azotą nefiksuojančios melsvabakterės	Vandens storumėje
3.	Azotą fiksuojančios melsvabakterės	Vandens storumėje
4.	Kitos fitoplanktono rūšys (žaliadumbliai ir kt.)	Vandens storumėje
5.	Chlorofilas <i>a</i>	Vandens storumėje
6.	Zooplanktonas	Vandens storumėje
7.	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Vandens storumėje
8.	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Vandens storumėje
9.	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Vandens storumėje
10.	Ištirpęs organinis N	Vandens storumėje
11.	Dalelių pavidalo organinis N	Vandens storumėje
12.	Ištirpęs neorganinis P	Vandens storumėje
13.	Ištirpęs organinis P	Vandens storumėje
14.	Dalelių pavidalo organinis P	Vandens storumėje
15.	Bendras P	Vandens storumėje
16.	Ištirpęs mineralinis Si	Vandens storumėje
17.	Dalelių pavidalo organinis Si	Vandens storumėje
18.	Ištirpusi bendra neorganinė C	Vandens storumėje
19.	Ištirpusi organinė C	Vandens storumėje
20.	Dalelių pavidalo organinė C	Vandens storumėje
21.	Šarmingumas	Vandens storumėje
22.	Ištirpęs Al	Vandens storumėje
23.	Ištirpęs Ca	Vandens storumėje
24.	Ištirpęs Mg	Vandens storumėje
25.	Ištirpusi Fe <sup>2+</sup>	Vandens storumėje
26.	Dalelių pavidalo bendra Fe	Vandens storumėje
27.	Ištirpęs Mn <sup>2+</sup>	Vandens storumėje
28.	Dalelių pavidalo bendras Mn	Vandens storumėje
29.	Suspenduotų dalelių dydis (granulometrija)	Vandens storumėje
30.	Suspenduotų dalelių koncentracija	Vandens storumėje
31.	pH	Vandens storumėje
32.	O <sub>2</sub>	Vandens storumėje
33.	Druskingumas	Vandens storumėje
34.	Temperatūra	Vandens storumėje
35.	PAR	Vandens storumėje
36.	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Poriniame vandenyje
37.	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Poriniame vandenyje
38.	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Poriniame vandenyje
39.	Ištirpęs organinis N	Poriniame vandenyje
40.	Dalelių pavidalo organinis N	Nuosėdose
41.	Ištirpęs neorganinis P	Poriniame vandenyje
42.	Ištirpęs organinis P	Poriniame vandenyje
43.	Dalelių pavidalo bendras neorganinis P	Nuosėdose
44.	Lengvai absorbuotas neorganinis P	Nuosėdose
45.	Su geležimi/manganu surištas neorganinis P	Nuosėdose
46.	Autogeninis su kalciumu surištas neorganinis P	Nuosėdose

Parametro nr.	Parametro pavadinimas	Matavimo vieta
47.	Detrinis su kalciumu surištas neorganinis P	Nuosėdose
48.	Dalelių pavidalo bendras organinis P	Nuosėdose
49.	Dalelių pavidalo bendras P	Nuosėdose
50.	Ištirpęs mineralinis Si	Poriniame vandenyje
51.	Dalelių pavidalo organinis Si	Nuosėdose
52.	Ištirpusi neorganinė C	Poriniame vandenyje
53.	Ištirpusi organinė C	Poriniame vandenyje
54.	Dalelių pavidalo organinė C	Nuosėdose
55.	chlorofilas <i>a</i>	Nuosėdose
56.	Ištirpęs Al	Poriniame vandenyje
57.	Ištirpęs Ca	Poriniame vandenyje
58.	Ištirpęs Mg	Poriniame vandenyje
59.	Ištirpusi Fe <sup>2+</sup>	Poriniame vandenyje
60.	Dalelių pavidalo Fe(II)	Nuosėdose
61.	Dalelių pavidalo Fe(III)	Nuosėdose
62.	Ištirpęs Mn <sup>2+</sup>	Poriniame vandenyje
63.	Dalelių pavidalo absorbuotas Mn(II)	Nuosėdose
64.	Karbonatų absorbuotas Mn(II)	Nuosėdose
65.	Dalelių pavidalo absorbuotas Mn(IV)	Nuosėdose
66.	O <sub>2</sub>	Poriniame vandenyje
67.	pH	Poriniame vandenyje
68.	Dalelių dydis (granulometrija)	Nuosėdose
69.	Tankis	Nuosėdose
70.	Poringumas	Nuosėdose
71.	O <sub>2</sub> apykaita (suvartojimas/produkcija)	Tarp nuosėdų ir vandens
72.	N <sub>2</sub> apykaita (denitrifikacija/anammox/fiksacija)	Tarp nuosėdų ir vandens
73.	Ištirpusio CO <sub>2</sub> produkcija (mineralizacija)	Tarp nuosėdų ir vandens
74.	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> apykaita	Tarp nuosėdų ir vandens
75.	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> apykaita	Tarp nuosėdų ir vandens
76.	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> apykaita	Tarp nuosėdų ir vandens
77.	Ištirpusio organinio N apykaita	Tarp nuosėdų ir vandens
78.	Ištirpusio mineralinio P apykaita	Tarp nuosėdų ir vandens
79.	Ištirpusio mineralinio Si apykaita	Tarp nuosėdų ir vandens
80.	Ištirpusios Fe <sup>2+</sup> apykaita	Tarp nuosėdų ir vandens
81.	Ištirpusio Mn <sup>2+</sup> apykaita	Tarp nuosėdų ir vandens