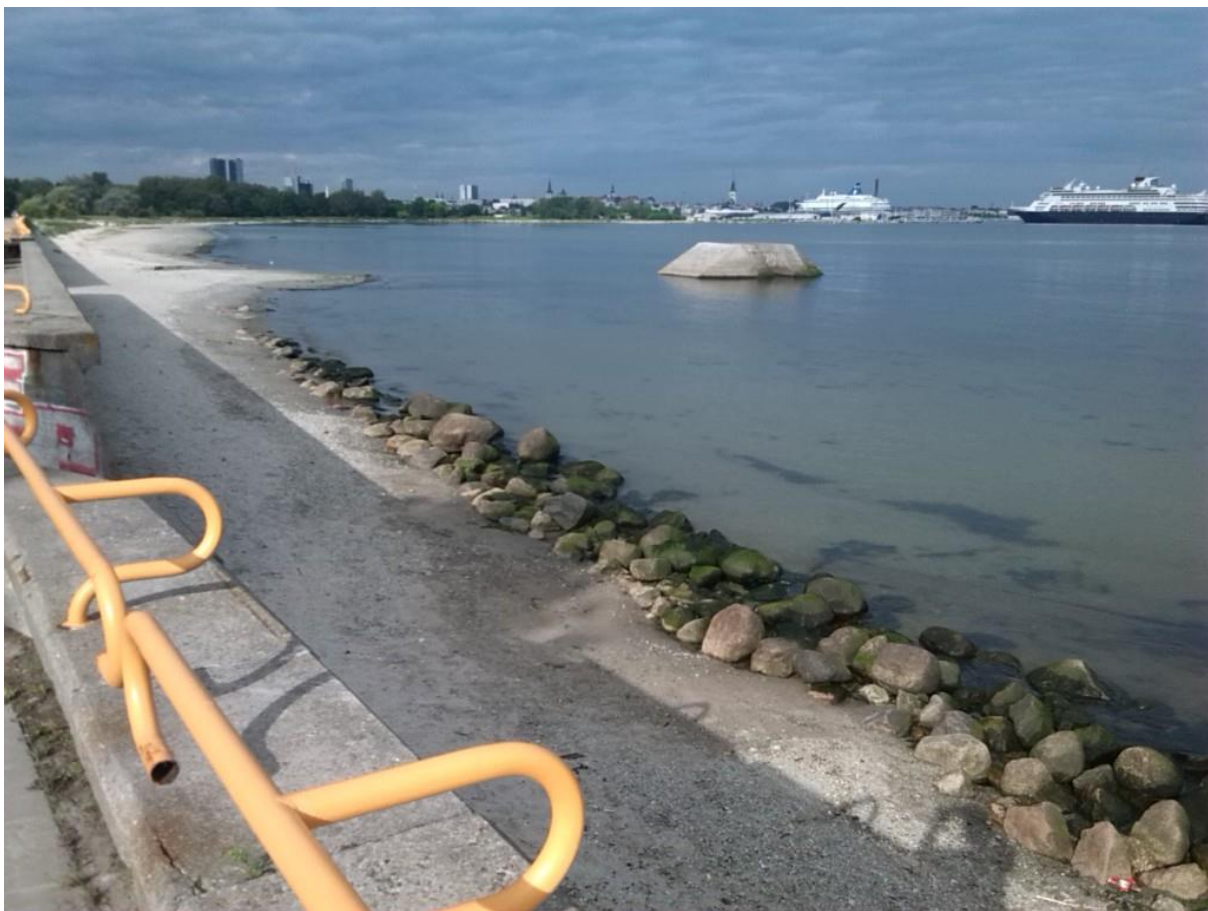


***TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOLI  
MERESÜSTEEMIDE INSTITUUT***

14.11.2012 Keskkonnainvesteeringute Keskusega sõlmitud lepingu alusel toetatud projekti

**Reostuse tekkepõhjuste ja edasikandemehhanismide uuring  
Kadrioru-Maarjamäe rannikumeres**



**Projekti juht:** Ants Erm

**Direktor:** Jüri Elken

**Täitjad:**

Fred Buschmann

Ilja Maljutenko

Madis Listak

Jaan Rebane

**Märts 2014**

# Lõpparuanne

## Sisukord

	Lk.
1. Sissejuhatus	3
1.1. Probleem	3
1.2. Lähteülesande püstitamine	3
1.3. Olemasolev teave	3
1.4. Vastuseta küsimused ja planeeritud tööd	3
2. Meetodid	4
3. Tulemused	7
3.1. Põhjasetestest	7
3.2. Toiteained	17
3.2.1. Fosfor ja lämmastik ning nende roll meres	17
3.2.2. Toiteainete kontsentratsioonid Tallinna lahes	19
3.2.3. Toiteainete kontsentratsioonid sissejooksudes	20
3.3. Vooluhulkade arvutamine	21
3.4. Toiteainete voogude arvutamine	23
3.5. Toiteainete leviku modelleerimine	28
3.5.1. Ainete hajumine sissejooksudest väljumisel – vaigse ilma mudel	28
3.5.2. Simulatsioon hüpoteetiliste tuultega	30
3.5.3. Reaalne mudel	31
3.5.4. Toiteainete kontsentratsiooni ajaline varieerumine	36
3.6. Toiteainete mõõdetud tase meres	44
3.7. Veealune videosond ja vetikate edasikanne.	47
3.7.1. PIV-sondi ehitamine	47
3.7.2. PIV – tulemused	49
3.7.3. Vetikate edasikanne	54
4. Järeldused	59
Lisad	60

## 1. Sissejuhatus

### 1.1. Probleem

Läänemeri on olnud nii veeteena kui ka kalasaagi pakkujana oluline veekogu Tallinna alguspäevist saadik. Kogu selle aja jooksul on inimesed seda aga tugevalt mõjutanud, suunates merre oma heitveed ning läbi valgaladelt koguneva sademevee ka kaugemalt maismaalt pärineva reostuse. Tallinna lahe seisukord on eelmise sajandi lõpukolmandikust saadik küll paranenud, kuid heaks tema ökoloogilist seisundit siiani veel hinnata ei saa.

Suurimaks probleemiks Läänemeres sh. Tallinna lahes on eutrofeerumine ehk liigtoitelisus ja sellega kaasnevad keskkonnamõjud, mis mõjutavad nii ranna-ala rekreatiivset kui majanduslikku kasutust ning kindlasti ka visuaalset esteetilisust. Toiteainete rohkuse tõttu tuleb sesoonselt ette makrovetikate massesinemisi ning kui vetikamatt substraadilt lahti rebitakse, uhutakse see randa, kus lagunemisprotsesside käigus tekib nii ebameeldiv lõhn kui ka ebameeldiv vaatepilt.

Käesoleva töö eesmärk on hinnata sademevee sissejooksudest tulenevat mõju lokaalsele rannalähedasele toiteainete koormusele Tallinna lahe kaguranniku alal (Vanasadamast Meriväljani) ning soovitada meetmed selle mõju vähendamiseks.

### 1.2. Lähteülesande püstitamine

Töö lähteülesanne (vt. **Detailne lähteülesanne** KIK-i projektile „Reostuse tekkepõhjuste ja edasikandemehhanismide uuring Kadrioru-Maarjamäe rannikumeres“) kooskõlastati lõplikult Keskkonnaministeeriumi Merekeskkonna osakonnaga 2012. aasta novembris, kuid reaalsed tegevused algasid juba 2012. aasta mais. Lähteülesandes olid kirjeldatud olemasolev teave, vastuseta küsimused, uuringuala ja planeeritud tööd.

### 1.3. Olemasolev teave

Probleem haisu tekitavast reostusest Kadrioru-Maarjamäe rannas on aastakümneid vana. Varem arvati, et põhjuseks on Tallinna Tselluloosikombinaadist tulevad reoveed, tänaseks on kombinaat juba 20 aastat suletud, aga probleem püsib endiselt. Kõige hilisem uuring probleemi kohta on läbi viidud 2010. aastal Tartu Ülikooli Eesti Mereinstituudi poolt (lep. Nr- 4-1. 1/255, Tallinna lahe keskkonnaseisundit mõjutavad survetegurid, nende põhjused ning mõjude vähendamise võimalused, vast. täitja T. Paalme). Olemasoleva teabe alusel oli võimalik teha järgmised järeldused:

- a) ebameeldiva lõhna põhjustajaks on suure tõenäosusega lagunevad makrovetikad;
- b) tselluloosikombinaadi jääkreostuse mõju on ebatõenäoline;
- c) üheks lahenduseks võiks olla kaldalähedasse vette akumuldeerunud vetikamassi mehaaniline eemaldamine;
- d) Tallinna lahte suubuva sademevee ja Pirita jõe, samuti setetesse akumuldeeritud ainete mõju ulatuse väljaselgitamiseks on vajalikud edasised uuringud.

### 1.4. Vastuseta küsimused ja planeeritud tööd

Lähteülesandes defineeriti ka seni vastamata küsimused.

Tselluloosikombinaadi jääkreostust ei ole piisavalt uuritud käesoleva suunitlusega, on küll tehtud kindlaks, et kloororgaaniliste ühendite sisaldus on madal, ega kujuta otsest ohtu merekeskkonnale, kuid teatavasti ulatuvad need settelademed kuni 2m paksuseni, nende **stratigraafiline keemiline koostis vajab täiendavat uurimist nii toiteainete (fosfor, lämmastik) kui ka saasteainete (rasked metallid, orgaanilised ühendid) sisalduse osas.**

TÜEMI on mitmeaastase seire tööde käigus kogunud andmed ka merepõhja sette- ja põhjatüüpide kohta, kuid „**kahjuks puuduvad küll aga andmed Tallinna lahe setete**

keemilise koostise, sh. toitainete (lämmastiku- ja fosforühendite ) ja orgaanilise aine sisalduse kohta“.

Ülalmainitud tööst järeldeb küll, et Pirita jõe kaudu Tallinna lahte kantava lämmastiku kogus on üle 13 ja fosfori kogus üle 5 korra kõrgem kui kolmest uuritavasse randa suubuvast sadevee väljavoolust kokku. Samas **puuduvad andmed, mis toimub ekstreemsete sündmuste (suured vihmad, avariid) ajal.**

**Puuduvad andmed Tallinna lahe vee toitainete sisaldusest peale suuri torme, s.t peale võimalikku jääkreostuse resuspensiooni veesambasse.**

**Ei ole teada, kus vetikamass tekib ja millist teed pidi ta randa kantakse.** (Võib-olla parandaks olukorda mõne muuli, kai või lainemurdja rajamine?).

**Väljastada ei saa ka kiirpraamide lainete mõju** – teatavasti on viimase 20 aasta jooksul olulisi muudatusi teinud läbi nii Aegna saare kui Paljassaare rannanõlv. Põhimõtteliselt on võimalik nii vetikate ja põhjataimestiku lahtmurdmine kui ka nende transport randa energiarikaste pikkade lainete toimetel.

Ülaltoodud küsimustele vastuse leidmiseks koostatid uuringukava, mis sisaldas veeproovide võtmist nii sissejooksudest kui merest ning nende analüüsi fosfori ja lämmastiku sisalduse suhtes;

põhjasetete tüübi määramist uuringualal (vajalik nii vetikate kasvutingimuste kui hüdrodünaamilise modelleerimise jaoks;

seksioneeritud setteproovide võtmist ja anlüüsist toitainete, raskete metallide ja PCB-de suhtes;

vee liikumise salvestamist Doppleri sondi (ADCP) ja ehitatava video (PIV) sondi abil;

tuulehoovuste modelleerimist.

## 2. Meetodid

Van Veen kopaga võeti setteproovid 142 jaamast (joonised 1 ja 2) uuringualal ja telliti neile sõelanalüüs Eesti Geoloogiakeskusest. Põhjalähedane pehmete setete profiilid võeti Voll'i proovivõtjaga (joonis 6) jaamadest 1 – 5 (joonis 4). Analüüsiti raskeid metalle (Hg, Cd, Pb, Zn, Cu), üldlämmastikku, üldfosforit ja PCB-sid (nr. 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180).



**Joonis 1.** Vanasadama sadama ja Pirita sadama vaheline uuringuala

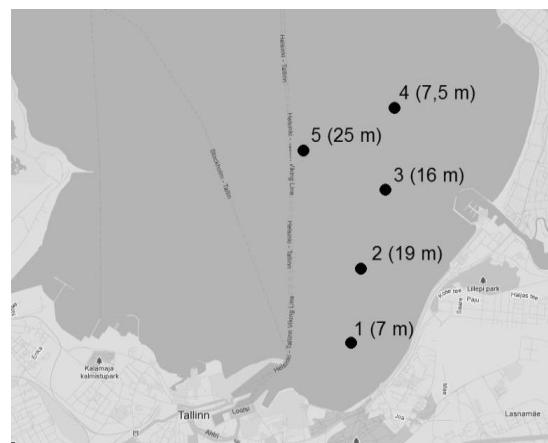


**Joonis 2.** Merivälja uuringuala.

Perioodidel mai kuni september (nii 2012 kui 2013 aastal) võeti veeproove Pirita jõest ja sadevete väljalaskudest, 2013 aastal ka Mähe ojast (joonis 3), milles määrati (Meresüsteemide Instituudi Mereökoloogia laboris) toiteainete, s.t. nitraatide ja nitritite ja üldlämmastiku ning fosfaatide ja üldfosfori kontsentratsioon (lisa 1), kokku analüüsiti 98 magevee proovi. Perioodiliselt võeti veeproove neljast nn. avamerejaamast Vanasadamast kuni Meriväljani (joonis 3) – Kadrioru vastast (R1, sügavus 7 m), Maarjamäe traaversilt (R2, 19 m), Pirita jõe suudmealalt (R3, 16 m) ja Merivälja juurest (R4, 7.5 m), korra ka kaugemalt lahest (R5, 25 m) – nii pinnalt kui põhjalähedasest veekihi. Pinnaproove võeti ka probleemsetl rannalähedaselt alalt (sügavustelt alates 0.7 m) nii Vanasadama Pirita lõigul (joonis 5) kui ka Merivälja sopist (mõned jaamad joonisel 2 ). Kokku korraldati 9 avamere ja 8 rannalähedast ekspeditsiooni ning analüüsiti 150 mereveeproovi (lisa1). Jaamade asukohad on joonistel 1 (Pirita – Russalka rannikujaamad), 2 (Merivälja rannikujaamad, veeproove võeti jaamadest 201, 213, 215, 217, 218, 230 ja 232), 3 (sissejooksud), 4 (avamerejaamad) ja 5 (Russalka – Pirita rannikujaamad, kõrval tabelis (tabel 1) jaamade sügavused ja toiteainete kontsentratsioonid ning suhe).



**Joonis 3.** Peamised sissejooksud.



**Joonis 4.** Avamerejaamad.





Joonis 5. Russalka – Pirita rannikujaamad.

Jaam	Mere sügavus	P (fosfaat)	N (nitraat+ nitrit)	N/P
	m	µg P/l	µg N/l	
R3	16.3	4.46	2.68	0.60
R1	9.9	4.99	0.98	0.20
R31	4.6	4.09	0.68	0.17
R32	2.2	8.39	4.57	0.54
L4	1.6	7.33	6.43	0.88
R33	1.2	9.05	2.90	0.32
L3	1.1	6.04	4.02	0.67
L2	1	9.88	5.59	0.57
L5	0.8	7.91	0.70	0.09
L10	0.5	6.70	8.31	1.24
L6	0.5	11.53	0.54	0.05
R34	0.3	19.01	4.26	0.22

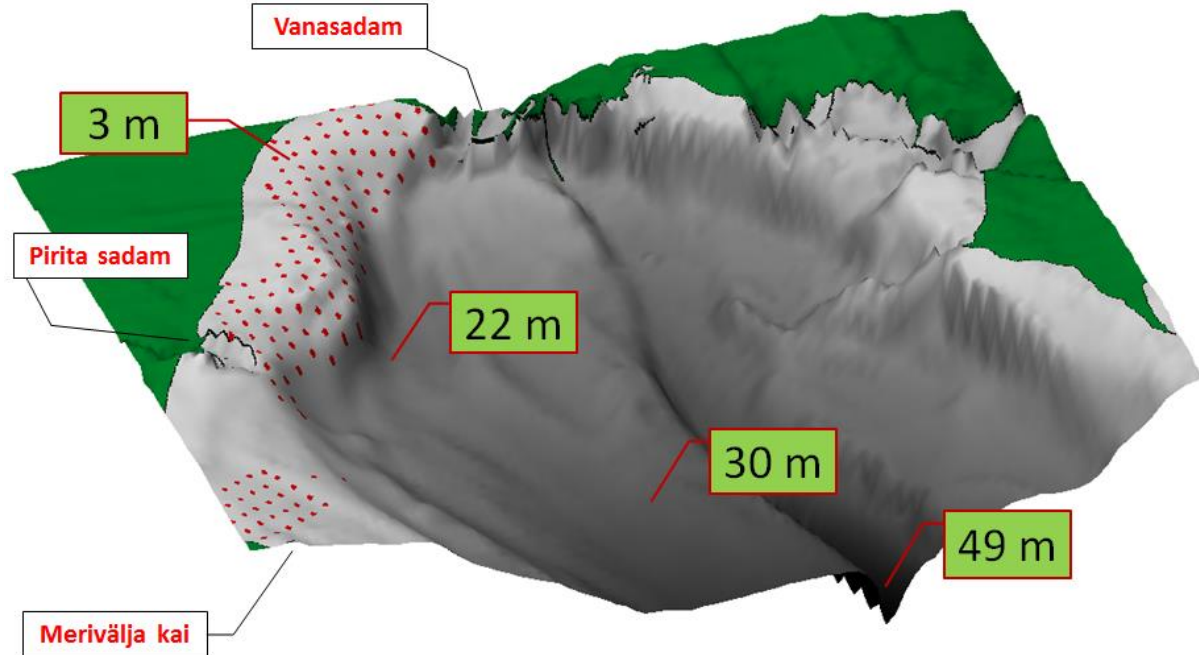
Tabel 1. Jaamade sügavused, toitainete kontsentratsioonid ja suhe (20 juuni 2013).



Joonis 6. Voll'i proovivõtja.

Hüdrodünaamiliste parameetrite (hoovused, lained, kiiruste profiilid, põhjalähedased kiirused) kasutati Doppleri hoovuste profileerijat (ADCP), lainesondi (PTR) ja käesoleva projekti raames konstrueeritud videosondi (PIV). ADCP mõõtis jaamas R3 perioodil 31. juuli 2012 kuni 21. novembril 2012.

Modelleerimiseks kasutati käesoleva töö käigus mõõdetud toiteainete kontsentratsioone, Veeteede ametilt saadud batümeetria andmeid (meie poolt arvatud 3D kujutis joonisel 7), EMHI tuule, sademete ja aurumise alusel arvatud päevaseid sissejooksude vooluhulkasid ja Keskkonnageneraalsest saadud Pirita jõe vooluhulkasid.



Joonis 7. Tallinna lahe põhjatopograafia (punased täpid on setteproovide kogumise jaamad).

### 3. Tulemused

#### 3.1. Põhjasetetest

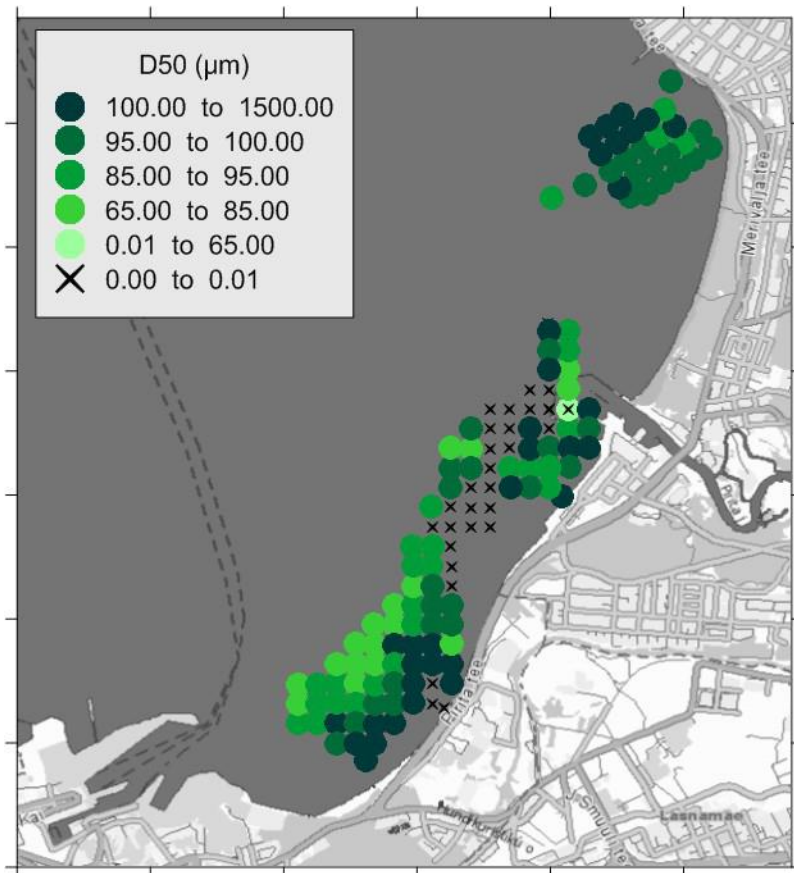
Setteproovide võtmine teenis kahte eesmärki: esiteks saada teavet põhjatüübi (setete stratigraafia) kohta, mis on oluline nii modelleerimisel põhjakareduse arvesse võtmiseks kui vetikatele sobivate kasvualade määramiseks ning teiseks võimaliku jääkreostuse (fosfor, lämmastik, Hg, PCB-d) leidmiseks.

Põhjatüübi kaardistamiseks võeti kopaproove lähteülesandes planeeritud võrgustiku järgi kokku 168 jaamast, analüüsitavaid proove saadi 142 jaamast (joonis 1), lisaks Voll'i toruga veel 5 avamere jaamast. Valdavaks põhjatüübiks (67%) oli väga peeneteraline liiv tera läbimõõduga vahemikus 62.5 - 125 µm (tabel 2). Arvestatavad põhjaalad (24%) olid kaetud koosnesid kas sinisavist, kividste või jämedast kruusast, kust setteproove võtta ei õnnestunud.

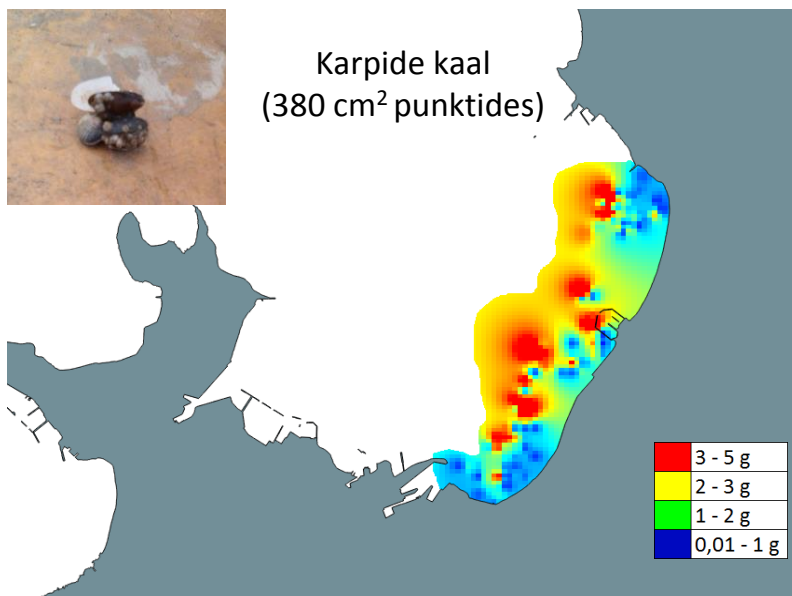
Tabel 2. Põhjasetete jaotus sõelaanlüüsi fraktsioonide järgi.

	Udden-Wentworth'i skaala	Wentworth'i klassifikatsioon	Esinemisprotsent (%)
+		Kõva pinnas (kivid, savi)	24,0
■	62.5 - 125 µm	Väga peeneteraline liiv	66,9
■	125 - 250 µm	Peeneteraline liiv	1,9
■	250 - 500 µm	Keskmiseteraline liiv	1,3
■	500 - 1000 µm	Jämedateraline liiv	3,9
■	1000 - 2000 µm	Väga jämedateraline liiv	1,9

Sõelanalüüsi andmetest arvutati keskmine tera läbimõõt D50 (lisa1, joonis 8), samuti sõelale jäänud karpide kaal (joonis 9).



**Joonis 8.** Põhjasetetete keskmine (D50) tera läbimõõt uuringualadel.



**Joonis 9.** Sõeladele jäänud karpide kuivkaal.



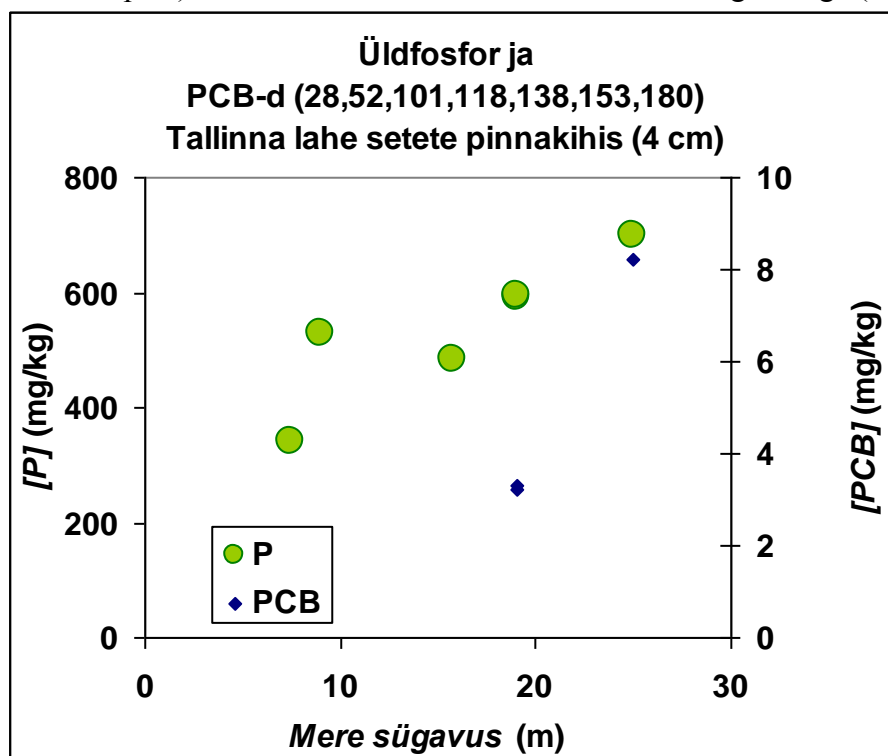
Karpide küllaltki suur esinemissagedus viitab suhteliselt headele hapniku- ja toitumistingimustele merepõhjas.

Võimaliku jääkreostuse leidmiseks võeti põhjaproove Voll'i toruga avamerejaamadest R1 – R5 (joonis4, tabel 3).

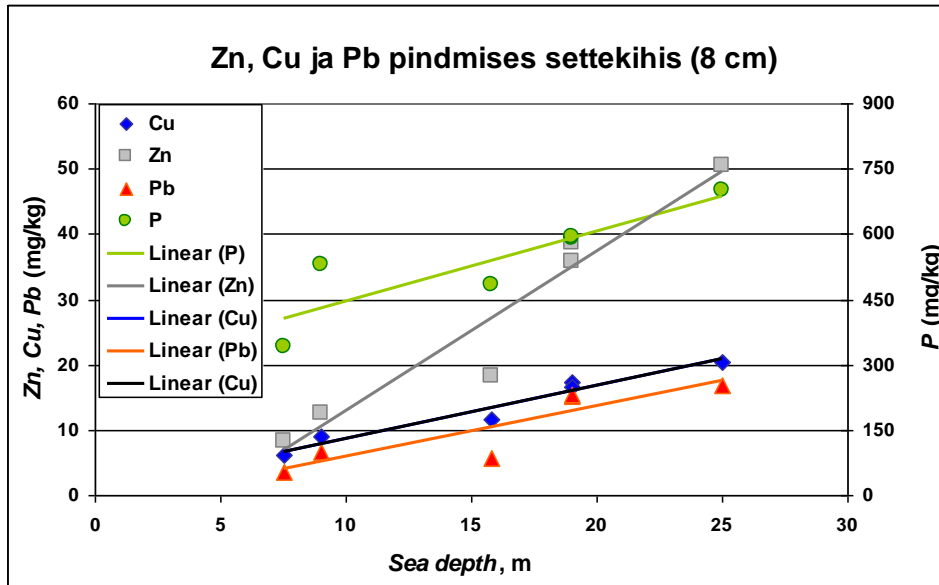
**Tabel.3.** Mõnede ainete kontsentratsioonid põhjasetetes

Jaam	1	2	3	4	5
Mere sügavus, m	9	19	16	7.5	25
PCB-d (kokku)	< 7	3.2 – 7.2	3.3 - 7.3	< 7	< 7
P	530	590	595	485	340
Hg	0.05	0.15	0.14	0.05	0.02
Cd	< 1	< 1	< 1	< 1	1
Cu	8.99	17.4	16.6	11.6	6.1
Zn	12.5	38.6	35.9	18.3	8.35
Pb	6.73	15.1	15.3	5.67	3.55

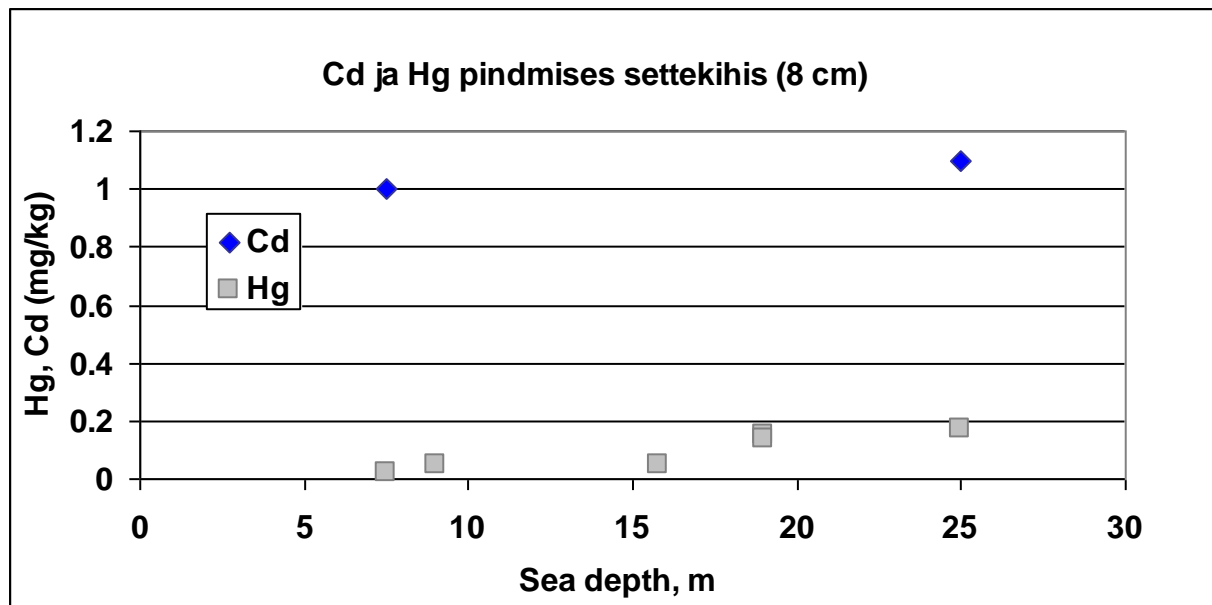
Kokku määrati 7 PCB-d (28,52,101,118,138,153,180, igäuhe määramispiir 1 mg/kg), üldjuhul oli PCB-de sisaldus alla määramispiiri. Üldfosfori (määramispiir 0.5 mg/kg) kontsentratsioonid (joonis 10) olid arvestatavad, kuid sellistel sügavustel (<50 m) anoksiat veel ei esine (seda näitab ka karpide suur esinemissagedus) ning fosfori sattumine setetest veesambasse on ebatõenäoline. Ka ei täheldatud kõrgendatud fosfori kontsentratsioone põhjalähedases veekihis. Üldine tendents oli kõigi määratud ainete (v.a. PCB-d ja Cd, mida esines tavaliselt alla määramispiiri) ainete kontsentratsioon tõus koos mere sügavusega (vt. joonised 11 ja 12).



**Joonis 10.** Üldfosfori ja PCB-de kontsentratsioon põhjasetete pinnakihis.



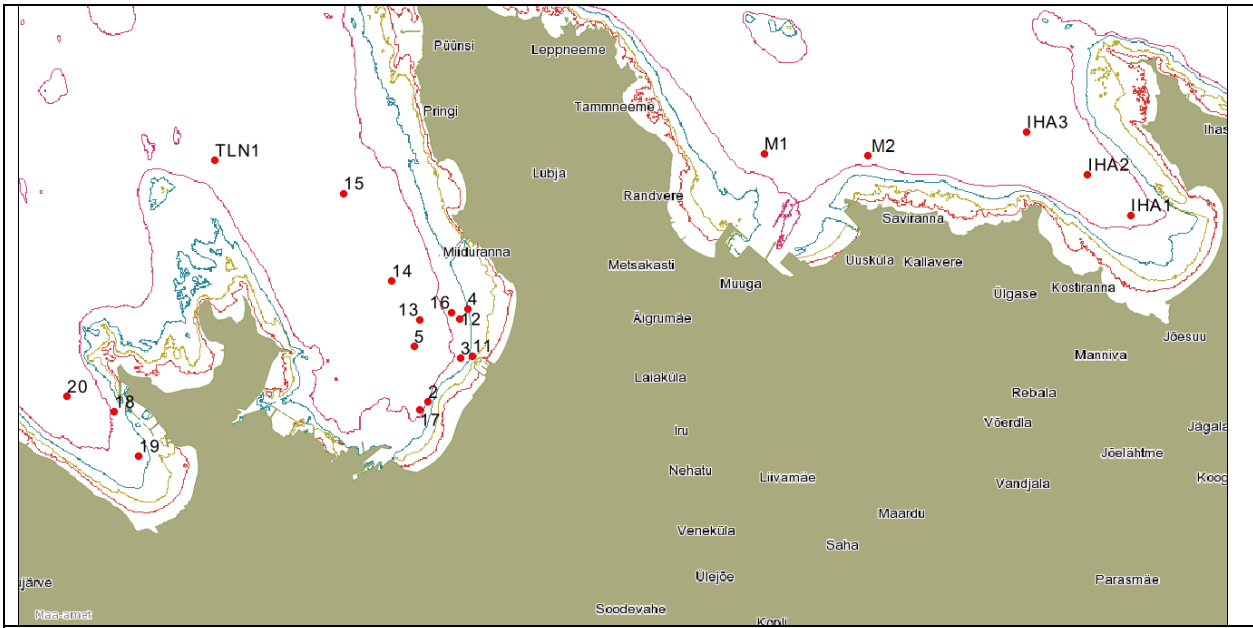
**Joonis 11.** Tsingi, vase ja plii kontsentratsioon põhjasetete pinnakihis.



**Joonis 12.** Kaadmiumi ja elavhõbeda põhjasetete pinnakihis.

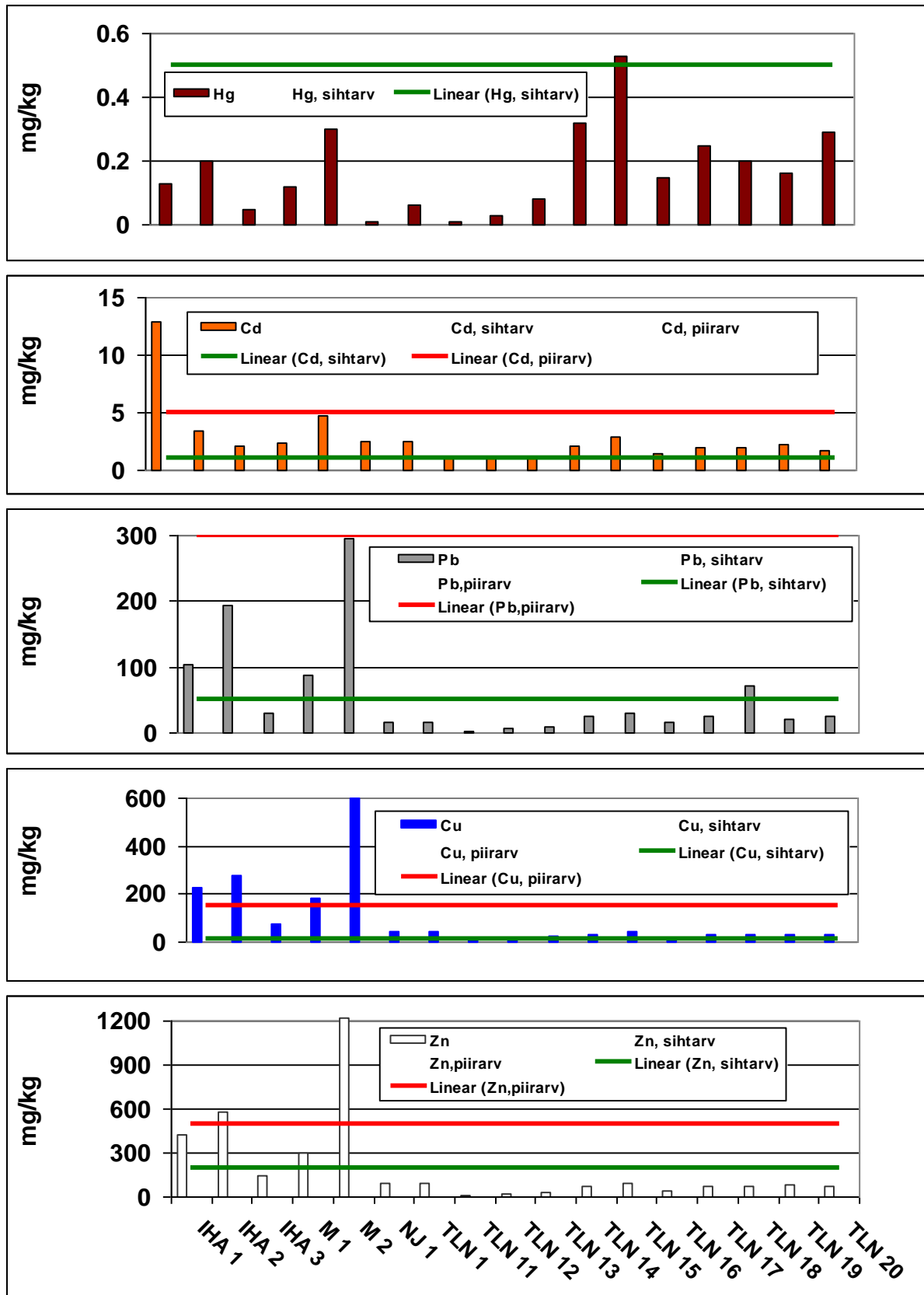
Kokkuvõtteks võib öelda, et mitte miski ei viita diskuteeritud tselluloosikombinaadi võimalikule jääkreostusele.

Raskete metallide, dioksiinide, furaanide ja dioksiinilaadsete PCB-de kontsentratsioone Tallinna lahes (vt. Joonis M3) mõõdeti ka teise **KIK-i projekti nr. 657 ( Veekogude põhjalähedasest piirkihist ja pehmetest põhjasetetest rikkumatute sektsioneeritud proovide võtmise seade)** raames. Viiteid olulisele jääkreostusele ei leitud.



Joonis M3. Jaamad Tallinna lahes, Kopli lahes, Muuga ja Ihasalu lahes.

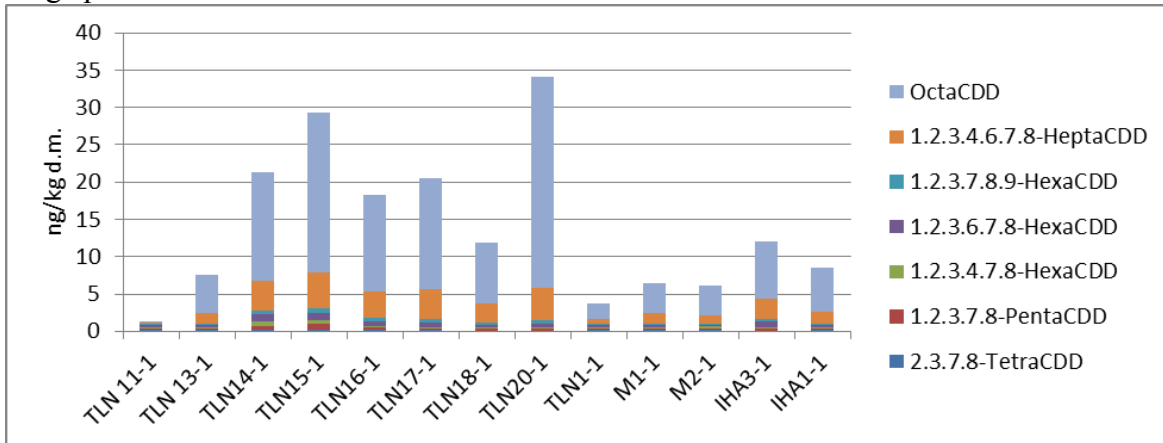
Metallide tulemused on joonisel M4.



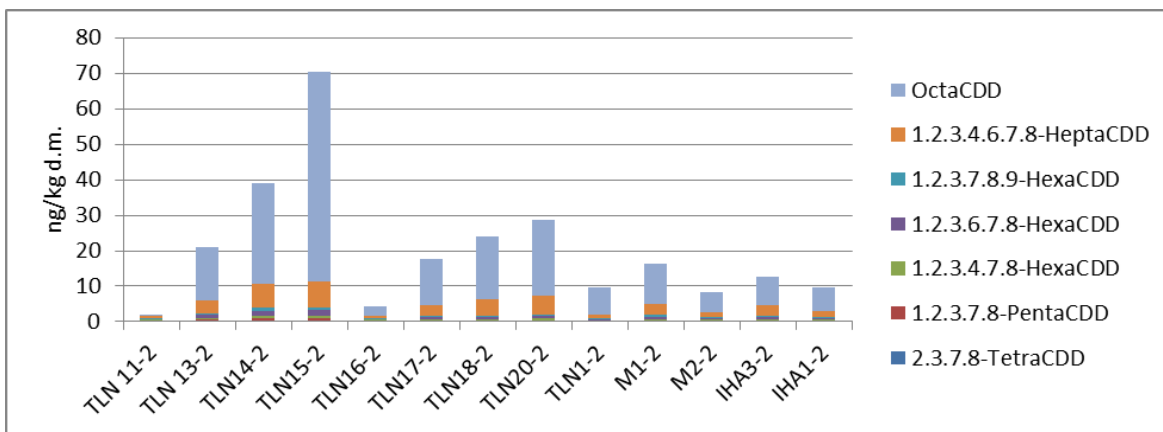
Joonis M4. HELCOM-i metallide maksimaalsed kontsentratsioonid põhjasetetes.

Settekihis olid enamasti väga madalad elavhõbeda ja kaadmiumi kontsentratsioonid - vaid ühes jaamas Tallina lahes Haabneeme rannast 3 km (jaam 15), kus elavhõbeda kontsentratsioon ületas pinnase sihtarvu.

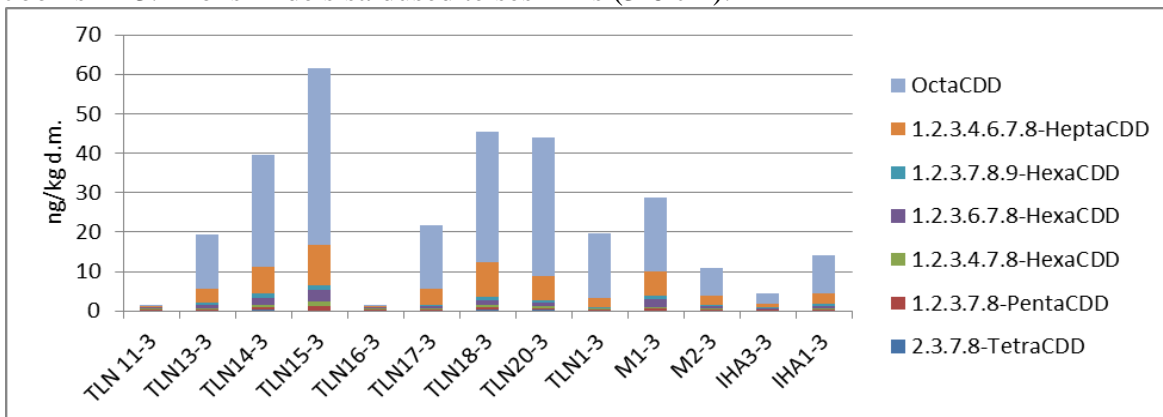
**Dioksiinide** tulemused on joonistel D12 – D14. Toodud graafikud proovivõtu jaamades mõõdetud dioksiinide kontsentratsioonide kohta (mõõtühik ng/kg kuivkaalu kohta – “dry matter”). Jaama järel olev number näitab, mitmenda settekihiga on tegemist. Esimene kiht on kõige pealmine kiht.



Joonis D12. Dioksiinide sisaldused kõige ülemises kihis (0-3 cm).



Joonis D13. Dioksiinide sisaldused teises kihis (3-6 cm).

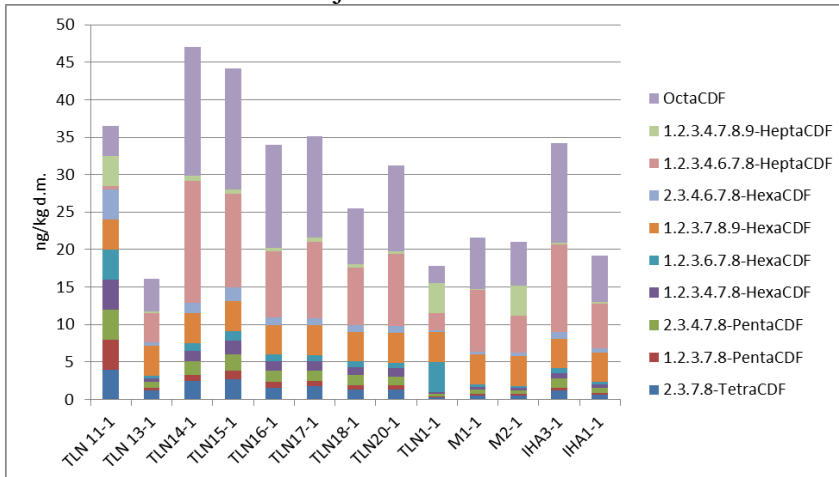


Joonis D14. Dioksiinide sisaldused kolmandas kihis (6-9 cm).

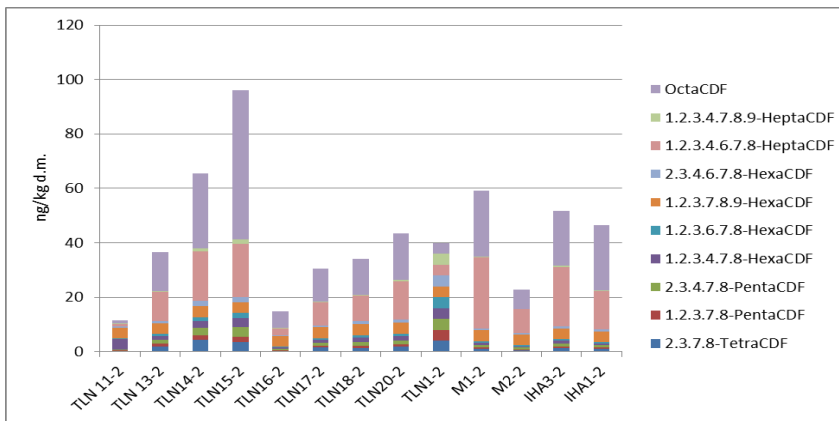
Suurimad väärtused on jaamades TLN14, TLN15, TLN20. Enamikes jaamades on domineerivateks ühenditeks OctaCDD, vähemal määral 1.2.3.4.6.7.8-HeptaCDD.



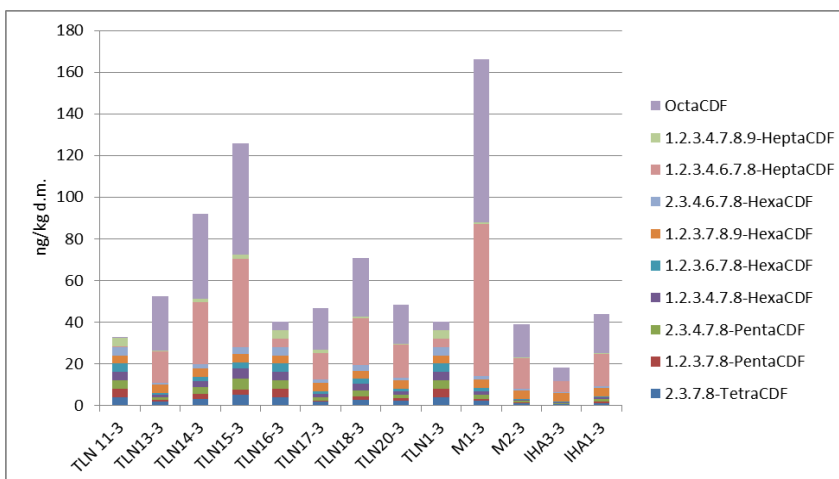
### Furaanide tulemused on joonistel F15 –F17.



Joonis F15. Furaanide sisaldused kõige ülemises kihis (0-3 cm).



Joonis. F16. Furaanide sisaldused teises kihis (3-6 cm)

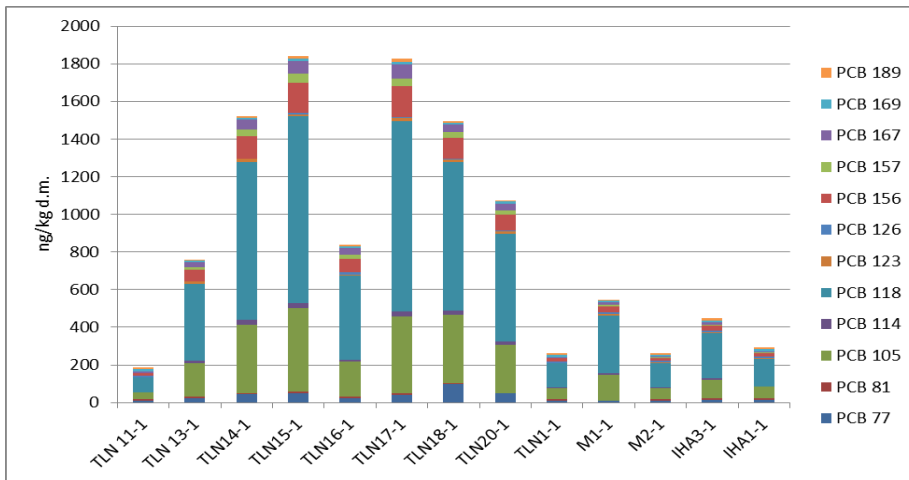


Joonis F17. Furaanide sisaldused kolmandas kihis (6-9 cm).

Suurimad väärtused on jaamades TLN14, TLN15.

Enamikes jaamades on domineerivateks ühenditeks OCDF, 1.2.3.4.6.7.8-HeptaCDF.

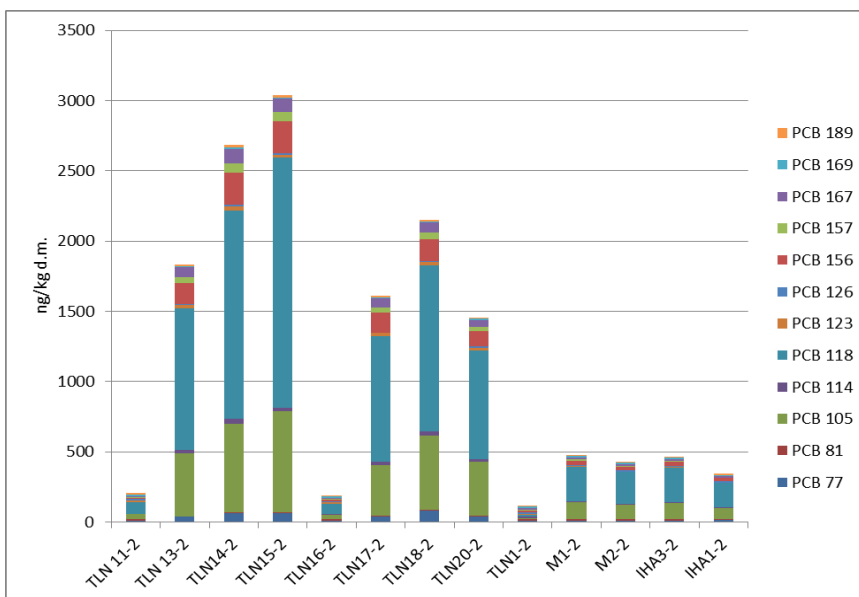
**Dioksiinilaadsete polüklooritud bifenuülide (PCB)** sisaldus setteproovides on joonistel P21 – P23.



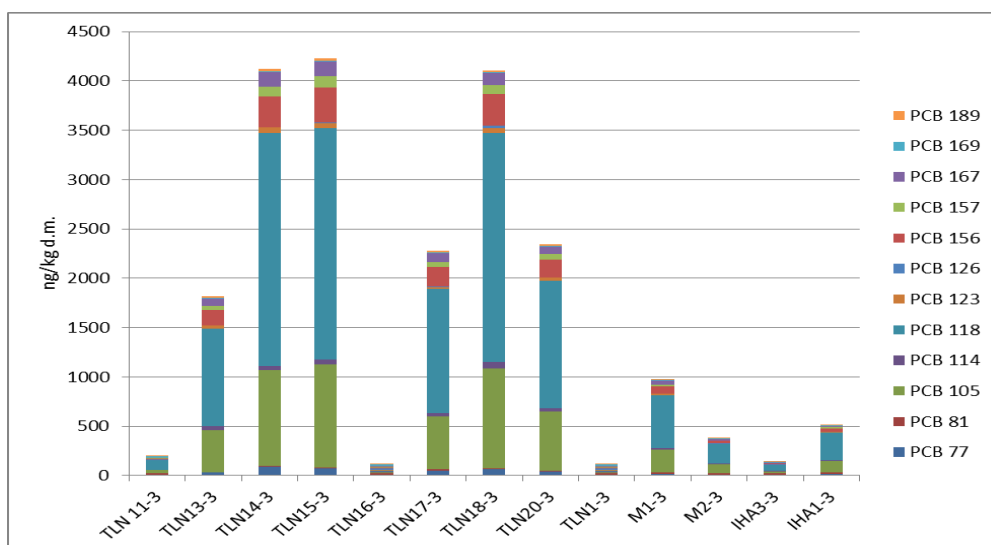
Joonis P21. Dioksiinilaadsete polüklooritud bifenuülide sisaldused esimeses kihis (0-3 cm).

Pealmises kihis domineerivateks dioksiinilaadseteks PCB ühenditeks on PCB-118 (2,3',4,4',5-pentaklorobifenuül) ja PCB-105 (2,3,3',4,4'-pentaklorobifenuül). Jaamadest suurima PCB-de kontsentratsiooniga on TLN 14, TLN 15, TLN 17, TLN 18 ja TLN 19.

Teise settekihi PCB-de sisaldused (settekihi pealmisest osast järgnev 3 cm paksune kiht, ühikuks ng/kg kuivkaalu kohta).



Joonis P22. Dioksiinilaadsete polüklooritud bifenuülide sisaldused teises kihis (3-6 cm). Teises kihis valdavateks dioksiinilaadseteks PCB ühenditeks on samuti PCB-118 ja PCB-105. Märkata on jaamades TLN 15, TLN 14 ligi kahekordset kasvu, kus võrreldes esimese 3 cm ihiga, kasvas jaamas TLN 15 summaarne PCB-de kogus 1800 ng/kg kuni 3000 ng/kg. Kolmanda settekihi PCB-de sisaldused (settekihi pealmisest osast järgnev 3 cm paksune kiht, ühikuks ng/kg kuivkaalu kohta).



Joonis P23. Dioksiinilaadsete polüklooritud bifenüülide sisaldused kolmandas kihis (6-9 cm).

Kolmandas kihis valdavateks dioksiinilaadseteks PCB ühenditeks on samuti PCB-118 ja PCB-105. Märgata on osade Tallinna jaamade järjekordset PCBde kasvu – võrreldes kõige pindmise settekihiga suurenes jaamas TLN14 PCB-de sisaldus 1500 ng/kg kuni 4100 ng/kg, jaamas TLN15 1850 ng/kg kuni 4250 ng/kg ja jaamas TLN18 1500 ng/kg kuni 4100 ng/kg. Mida sügavamale settekihtidesse minna, seda suuremaks muutuvad dioksiinide, furaanide ja dioksiinilaadsete PCB-de kontsentratsioonid.

Nii dioksiinide kui ka dioksiinilaadsete PCB-de puhul on näha, et setteproovi pealmises kihis on keemiliste ühendite kontsentratsioonid tunduvalt madalamad võrreldes sügavamate kihtidega. Sellest saab järeldada ainult head – tänapäeval kehtestatud erinevad piirmäärad ja range kontroll on ennast ära tasunud.

Paljud riigid on kehtestanud keskkonna kvaliteedi hindamise süsteemi. Artiklis (Bakke, T. et al.: Development of sediment quality criteria in Norway, 2009.) on toodud Norra rannikumere kohta setetes sisalduvate keemiliste ühendite hinnatavad piirmäärad ning vastavad kvaliteedi tasemed. Võrreldes käesoleva töö tulemustes leitud TCDD/F TEQ väärtust Norras pakutavate kvaliteedinäitajatega, siis sinne tase jääb nende hindamissüsteemi järgi kõige parema ehk taustkontsentratsiooni piiridesse (< 0,01).

## 3.2. Toiteained

### 3.2.1. Fosfor ja lämmastik ning nende roll meres

Toietained, fosfor ja lämmastik, on elutegevuseks hädavajalikud elemendid osaledes fotosünteesis, metabolismis, rakuseinte ehituses, energia ülekandes jmt (Statham, 2012)<sup>1</sup>. Põhiliselt jõuavad toiteained Läänemere sissejooksude valgaladelt (Paalme, 2011)<sup>2</sup> ja atmosfäärist, kusjuures ligikaudu pool kogu aastasest fosfori lisandumisest settib põhja (Frankowski *et al*, 2002)<sup>3</sup>. Osakestega seotud fosfor settib põhja ning moodustab olulise fosforireservuaari setetes, mis eutrofeerumisptoseside tagajärjel ja resuspensiooni käigus võib setetest vabaneda (Statham, 2012; Lips, 2011<sup>4</sup>). Setete resuspensioon võib rannikulähedases vees tekkida tugeva lainetuse tagajärjel ning sellest tulenevalt võib ranna lähedal esineda suuremaid fosfori kontsentratsioone, mis tuulega merele kantakse (Maljutenko, 2013).

Lämmastiku biogeokeemiline ringe on palju keerulisem fosforiringest, kuna lämmastikul on suur redoksulatus (-3 kuni +5) ja ta esineb väga varieeruvates vormides - N<sub>2</sub> (lämmastik) > NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (ammoniaak) > NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (nitrit) > NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (nitraat) > R-HNO<sub>2</sub> (aminohapped) > proteiinid (Statham, 2012).

Lämmastiku ja fosfori suhe näitab limiteerivat toietainet (Novotny, 2003), sest toitaine, mida on teistega võrreldes ökosüsteemis vähem, hakkab primaarproduktiooni limiteerima. Näiteks N/P suhte 30/1 korral tarbitakse enne ära fosfor, mis seetõttu ka limiteerivaks teguriks osutub. Üldiselt on lämmastik limiteeriv kui N/P suhe langeb alla kahe ja fosfor, kui suhe tõuseb üle 50. N/P suhte suurenemine võib kiirendada eutrofeerumist lämmastiku poolt limiteeritavas rannalähedases ökosüsteemis (Grizzetti *et al*, 2012)<sup>5</sup> nagu seda on Läänemeri (Lips, 2011; Frankowski *et al*, 2002). Veeökosüsteemides räägitakse tavaliselt „lämmastikust“ ja „fosforist“, kuigi tegelikult peetakse silmas nende lahustuvaid soolasid (fosfori puhul enamasti H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> ja HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ja lämmastiku puhul NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> ja NH<sub>4</sub><sup>+</sup> üldkogust). Veekogude pinnakihis on rohkelt lahustunud hapnikku ja seega on lämmastiku enimlevinud vormiks nitraat.

### 3.2.2. Toiteainete kontsentratsioonid Tallinna lahes

Avamerejaamades määratud toiteainete kontsentratsioonid ja nitraatide ja fosfaatide moolsuhe on toodud joonisel 13.

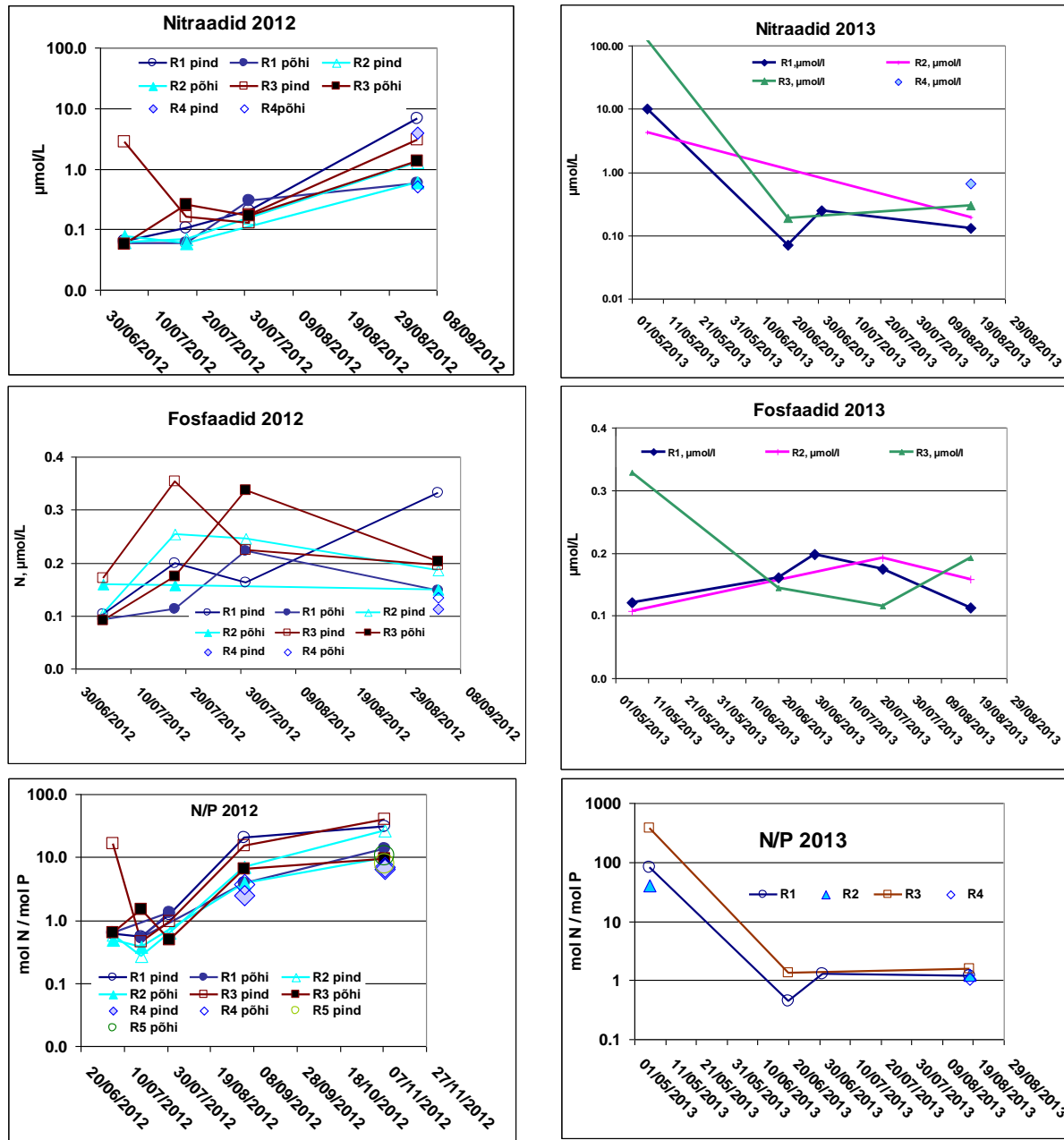
<sup>1</sup> Statham, P. J. 2012. Nutrients in estuaries – An overview and the potential impacts of climate change. *Science of the Total Environment*, 434, 213-227.

<sup>2</sup> Paalme, T. 2011. Tallinna lahe keskkonnaseisundit mõjutavad survetegurid, nende põhjused ning mõjude vähendamise võimalused. Aruanne. Tartu Ülikooli Eesti Mereinstituut.

<sup>3</sup> Frankowski, L., Bolalek, J., Szostek, A. 2002. Phosphorus in bottom sediments of Pomeranian Bay (Southern Baltic-Poland). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 54, 1027-1038.

<sup>4</sup> Lips, I. 2011. Fütoplanktoni vähem tuntud pool. *Eesti Loodus*, 11/2011.

<sup>5</sup> Grizzetti, B., Bouraoui, F., Aloe, A. 2012. Changes of nitrogen and phosphorus loads to European seas. *Global Change Biology*, 18, 769-782.



**Joonis 13.** Toiteainete kontsentratsioonid, nitraatide ja fosfaatide moolsuhe avamerejaamades.

Üldiselt on nitraatide kontsentratsioon meres väga kõrge kevadel jäämineku ajal ja peale seda, produktsioonitingimuste paranemisel (päikesevalgus, temperatuur) tarbitakse ta fütoplanktoni poolt kevadise õitsengu ajal ära ning edaspidi kontsentratsioon stabiliseerub üsna madalal tasemel. Selline protsess on näha ka joonisel 8b, kus jaamades R1 ja R3 on näha nitraatide sisalduse vähenemine enam kui kaks suurusjärku perioodil 1. mai kuni 20. juuli (R2 jaoks puudub väärtus 20 juuni jaoks). Tõenäoliselt leidis samasugune protsess aset ka 2013 aastal enne projekti käivitamist (20 juuni 2012). Mõnevõrra üllatav on nitraatide kontsentratsiooni kuni 40 kordne kasv augustikuu jooksul, mille põhjuseks võib olla erakordselt sademeterohke august 2012.

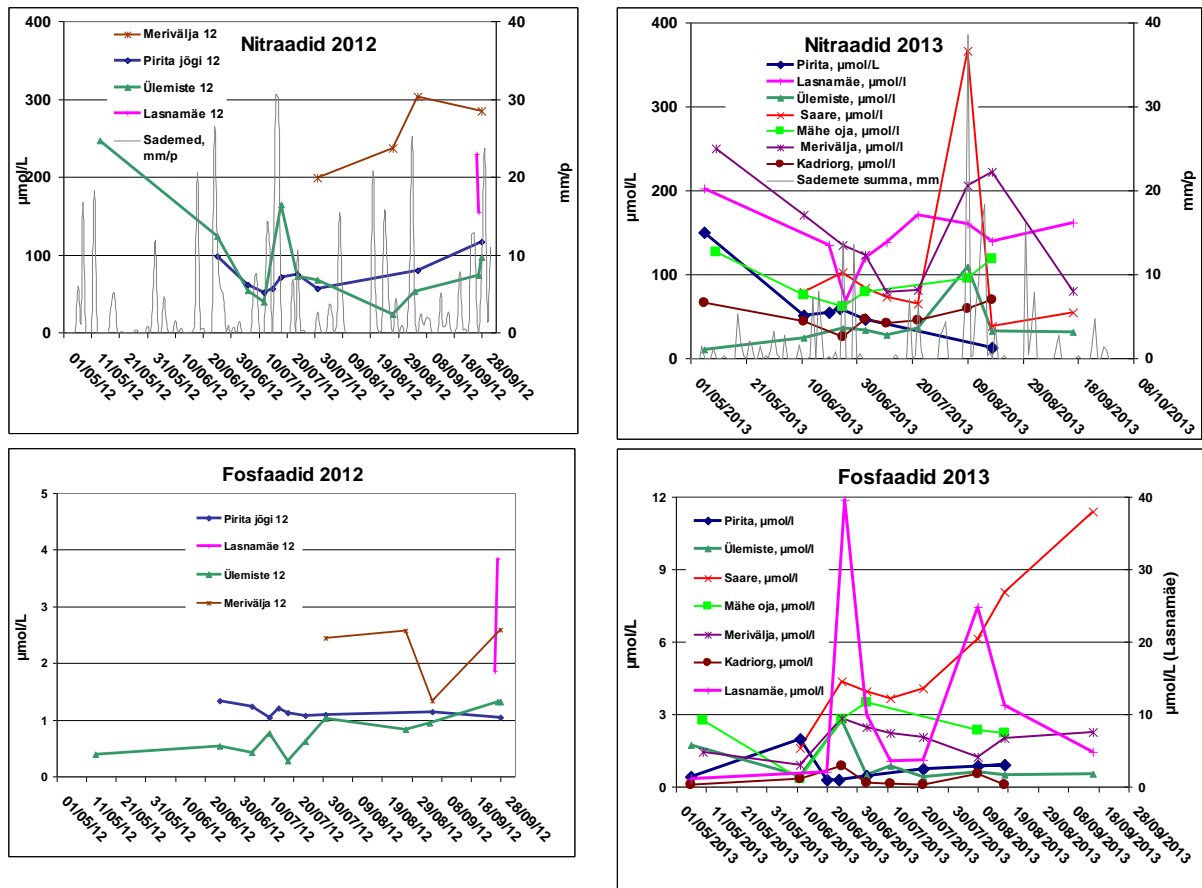
Võrreldes nitraatidega on fosfaatide kontsentratsioon (jooni 8 c ja d) stabiilne mõlemal suvel – väärtused küll kõiguvad ilma nähtava seaduspärasuseta, kuid jäävad mõlemal suvel vahemikku 0.1 – 0.4  $\mu\text{mol/L}$ . See tähendab, et ka suhe N/P (joonis 8 e ja f) järgib sisuliselt nitraatide kontsentratsiooni muutust, on väga kõrge kevadel (produktsioon on limiteeritud fosforiga) ja oli 2012 aasta suve esimeses pooles (20 juuni – 31 juuni) vahemikus 0.3 kuni 1.5 mol N/mol P ja kasvas 4 septembriks kuni 20-ni (jaamad R1 ja R3). Sisuliselt tähendab see seda, et läbi suve jäi

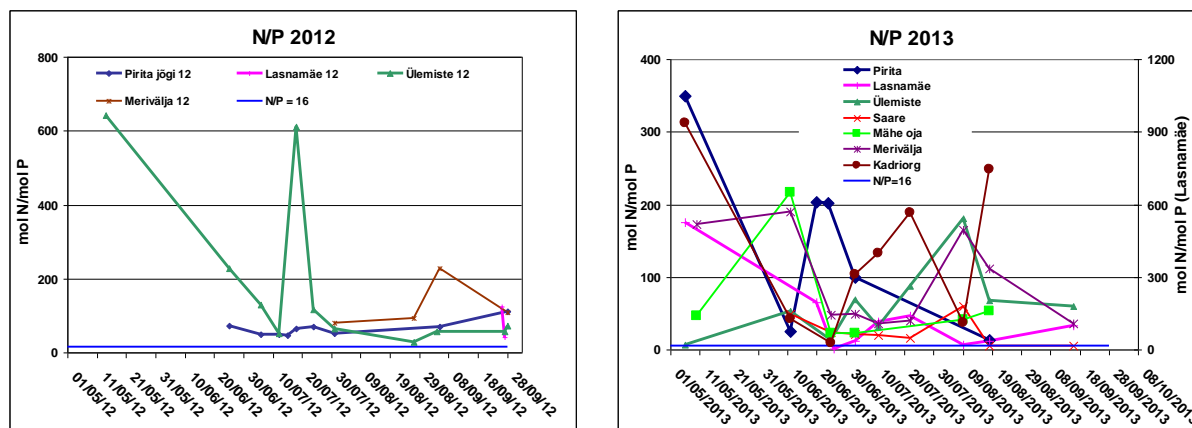


(ava)meres limiteerivaks toiteaineks lämmastik. 2013 aasta suvel oli lämmastiku osakaal veelgi väiksem (~1 mol N/mol P). Kokkuvõtteks võib öelda, et nii fosfaatide kui nitraatide kontsentratsioonid Tallinna lahes olid madalad ja ei ületanud Soome lahe avaosa taset.

### 3.2.3. Toiteainete kontsentratsioonid sissejooksudes.

Toiteainete kontsentratsiooni ajaline muutlikkus sissejooksudes on toodud joonisel 14.





**Joonis 14.** Toiteainete kontsentratsiooni ajaline muutlikkus sissejooksudes.

Proovide võtmist sissejooksudest alustati 2012. aasta 20. juunist (lisaks pilootproov 6. mail) Ülemiste väljalasust ja Pirita jõest, juulist ka Merivälja väljalasust. Intensiivsem proovide võtmine ja analüüs toimus 2013 aasta suvel 6. maist kuni 16. septembrini ja juba kõikidest sissejooksudest Vanasadamast Meriväljani. Väga kõrged (võrreldes merega) olid nitraatide kontsentratsioonid ületades (ava)mere kontsentratsioone suurusjärgudes (kohati üle 1000 korra). Fosfaatide kontsentratsioonid olid tagasihoidlikumad (vaid suurusjärgu võrra üle (ava)mere taseme) ja stabiilsemad. Ülemiste ja Kadrioru väljalaskude ning Mähe oja fosforikontsentratsioonid olid üsna sarnased Pirita jõega (0.3 – 2 µmol/L), sünkroonselt käituvad kuni juuli (2013) teise dekaadini Mähe oja ning Merivälja ja Saare väljalasud (0.3 -3.5 µmol/L), peale seda on hakanud Saare väljalasus fosfaatide sisaldus monotoonselt tõusma kuni viimase mõõtmiseni 18. septembril 2013 (joonis 14d). Selgitus sellele nähtusele kui ka Lasnamäe väljalasu väga teravatele maksimumidele 26. juunil 2013 (40 µmol/L) ja 9. augustil 2013 (25 µmol/L) puudub. Võiks arvata, et need maksimumid on seotud sajuperioodidega, aga nagu allpool selgub, ei ole ühegi sissejooksu puhul arvestatavat korrelatsiooni sademete ja fosfaatide kontsentratsiooni vahel.

Ülaltoodut arvestades on ootuspärane, et nitraatide ja fosfaatide suhe varieerub suve jooksul väga suurtes piirides – 1.7 Lasnamäe väljalasus 26. juunil 2013 kuni 745-ni Kadrioru väljalasus 18. augustil 2013. Enamasti ületab suhe siiski oluliselt primaarproduksiooniks optimaalset (16 µmol/L), kuid kuna üldised kontsentratsioonid on kõrged, - ka fosfaatide kontsentratsioon ületab (ava)mere näitu kuni 10 korda – siis vähemalt sissejooksude vahetus läheduses on toitumistingimused vetikate vohamiseks soodsad kogu suve jooksul.

### 3.3. Vooluhulkade arvutamine

Väljalaskude kohta puuduvad andmed päevaste vooluhulkade kohta, küll on seireveebis olemas andmebaas Pirita jõe päevaste vooluhulkade kohta<sup>6</sup>, tõsi 2013. aasta andmed ei olnud aruande kirjutamise ajaks veebi veel jõudnud ja pärinevad otse Keskkonnaagentuurist. Väljalaskude aastaste vooluhulkade arvutamiseks kasutatakse meetodikat (Ants Järv, AS Tallinna Vesi), mis võtab arvesse kanaliseeritava pindala  $S$ , sademete hulka  $P$ , aurumist  $b$  ja äravoolu koefitsienti  $a$  (näitab pinna kaetust):

$$Q = S * a * (P - b) \quad (1)$$

Sissejooksude pindalad ja äravoolukoefitsiendid on toodud tabelis 1.

<sup>6</sup> (<http://seire.keskkonnainfo.ee/>, (iseveekogude hüdroloogilise seire alljaotuses).

**Tabel 4.** Sissejooksude pindalad ja äravoolukoefitsiendid.

Sissejooks	Valgala pindala (ha)	Äravoolukoefitsient
Pirita jõgi	80780 <sup>1</sup>	0.1
Lasnamäe	961 <sup>2</sup>	0.4
Ülemiste	734 <sup>2</sup>	0.3
Kadriorg	25.6 <sup>3</sup>	0.64
Mähe oja	226 <sup>2</sup>	0.13 <sup>4</sup>
Saare tee	176 <sup>2</sup>	0.2
Merivälja	44 <sup>2</sup>	0.1

<sup>1</sup>Keskkonnaregistri andmebaas, Kloostrimetsa mõõtejaam.

<sup>2</sup>Tallinna sademevee strateogia kuni 2030 (2012).

<sup>3</sup>Ants Järv'elt.

<sup>4</sup>Meie eeldus – analoogia Meriväljaga.

Meteoroloogia andmerekad päevaste väärtuste kohta (Harku sademed, Tiirikoja ja Kuusiku aarumine, Pirita tuul, päikesepaiste, õhu- ja merevee temperatuur) pärinevad Keskkonnaagentuurilt (EMHI-lt).

Valem (1) annab tõepärased tulemused sadevete kanali väljalaskude vooluhulkade kohta aastate lõikes, paraku ei ole ta sellisel kujul rakendatav lühemate perioodide (nädal, päev) jaoks – arvutuslikult saadakse väga sageli ( $P < b$ ) negatiivsed vooluhulgad. Reaalselt ei kuiva jõgi ega ka väljalasud kunagi ära (tõsi, Saare tee väljalasus selline olukord 2013. a. suvel küll korra esines. Seega tuleb valemis arvesse võtta ka sissejooksu miinimumvooluhulk, millest allapoole vooluhulk ei lange ka põuaperioodil. Milline see on?

Peeter Ennet<sup>7</sup> on EMHI andmebaasi alusel arvanud Eesti jõgede tõenäosuslikud äravoolud (maksimaalsed, minimaalsed, keskmised) nii suvel kui talvel. Tabelis 5 on juhuslikult valitud 23 jõe hüdroloogilise aasta 7-ööpäevase tõenäosuslikud (50%) maksimaalsed ja minimaalsed äravoolud.

**Tabel 5.** Hüdroloogilise aasta 7-ööpäevase tõenäosuslikud (50%) maksimaalsed ja minimaalsed äravoolud mõnedes Eesti jõgedes.

Jõgi	max	min	min/max
Jõelähtme	6	0.10	0.016
Leivajõgi	1.5	0.08	0.053
Jägala	7	0.50	0.071
Esna	0.6	0.04	0.067
Keila	15	1.00	0.067
Enge	3.5	0.02	0.006
Luguse	2.25	0.02	0.007
Audru	10	0.15	0.015
Navesti	20	1.00	0.050
Halliste	10	2.00	0.200
Mustjõgi	0.5	0.04	0.070
Kasari	70	2.00	0.029
Pärlijõgi	2.2	0.32	0.145
Elva	3.5	0.55	0.157
Kullavere	4	0.30	0.075
Ojamaa	1.5	0.06	0.040

<sup>7</sup> Peeter Ennet, <http://www.keskkonnainfo.ee/main/index.php/et/jogede-toenaeosuslike-aeravoolude-arvutused>)

Padajõgi	2.4	0.22	0.092
Emajõgi	83	10.00	0.120
Avijõgi	6	0.48	0.080
Amme	3	0.20	0.067
Ahja	8	3.00	0.375
Narva	400	225.00	0.563
Kiviõli	2.3	0.12	0.050
		<b>Keskmine suhe (<math>q</math>)</b>	<b>0.105</b>

Seega täpsustuks valem (1) järgmiselt:

$$Q = Q_{min} + S * a * (P - b), \quad (2)$$

kus  $Q_{min}$  on suve minimaalne vooluhulk, mis leitakse kui

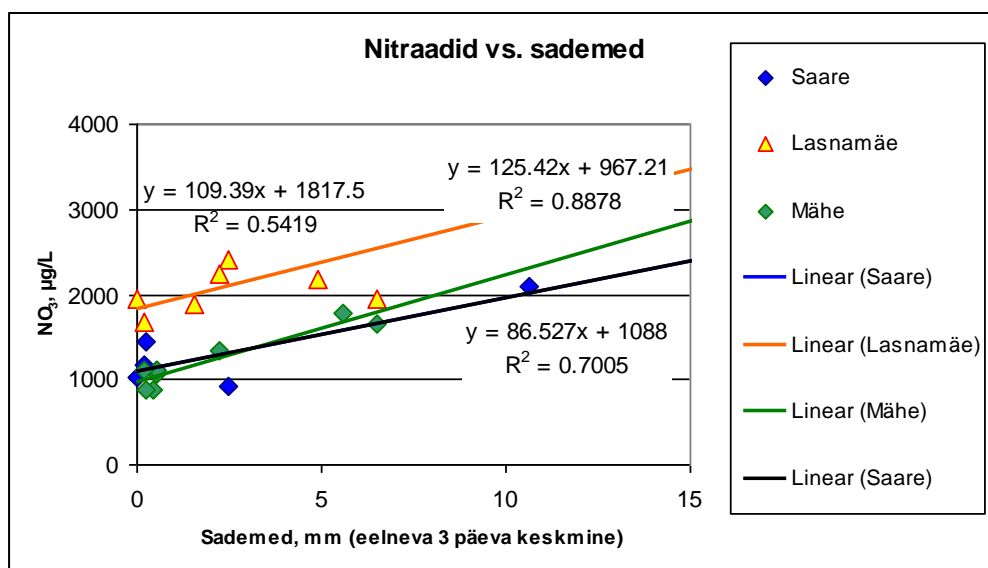
$$Q_{min} = q * [S * a * (P - b)]_{max}, \quad (3)$$

s.t. kõigepealt arvutatakse hüpoteetilised vooluhulgad (võivad olla kohati ka negatiivsed), leitakse nende hulgas maksimumväärtus  $[S * a * (P - b)]_{max}$  ning seejärel valemi (2) järgi tegelikud päevased vooluhulgad.

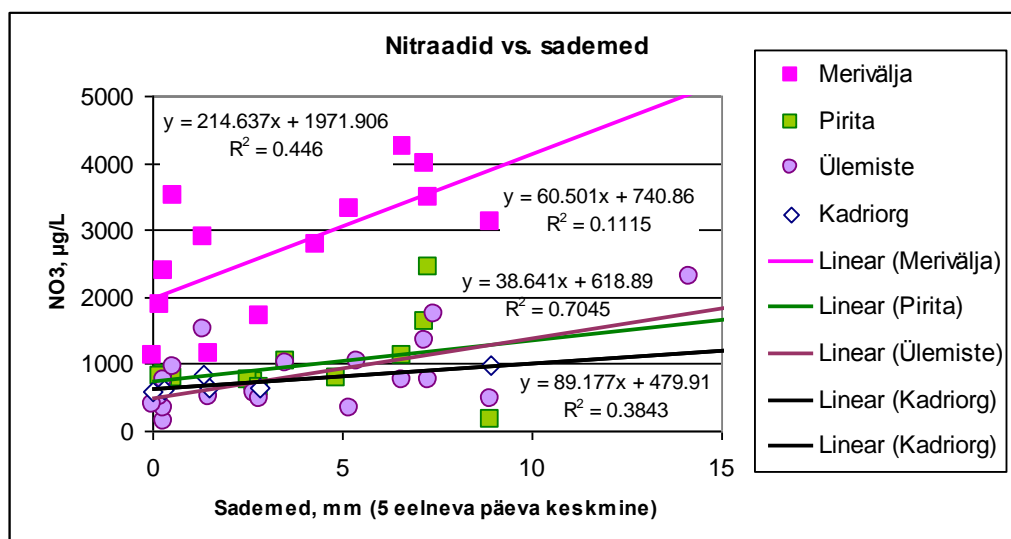
Valemeid kontrolliti Pirita jõe näitel – 2012. aasta arvutatud tulemus järgis rahuldavalt mõõdetud kõverat juhul kui  $q$  väärtuseks võeti 0.3. Kuigi tabelist (2) johtub, et väikeste jõgede jaoks, millised on väljalaskudega enam võrreldavad, on  $q$  väärtus enamasti alla 0.1, võtsime edasiste arvutuste aluseks siiski keskmise  $q = 0.1$  – väiksema  $q$  väärtuse korral annavad arvutused ka negatiivseid päevaseid vooluhulki.

### 3.4. Toiteainete voogude arvutamine

Toiteainete leviku modelleerimise jaoks on võimalik kasutada keskmisi lämmastiku ja fosfori sisaldusi, nagu seda ka esialgselt tehti, aga nagu johtub jooniselt 9 muutuvad tegelikud toiteainete, eriti lämmastiku, kontsentratsioonid väga hüppeliselt ja väga suurtes piirides (kuni kolm suurusjärku) nii, et selline meetod ei anna reaalselt pilti toimuvast. Esmapilgul ei paista ka mingit seost ilmaparameetrite ja kontsentratsioonide vahel. Lähemal analüüsil selgus, et ikkagi eksisteerib seos sademete ja nitraatide kontsentratsiooni vahel väljalaskudes – see ei ole üks-ühene, vaid kontsentratsiooni kasv toimub üsna suure ajalise nihkega: 3 – 5 päeva. Otsiti korrelatsioone 2 kuni 7 päevase nihkega, olenevalt sissejooksust oli parim kas 3 päeva või 5 päeva. Lämmastikuvoogude arvutamiseks kasutatud seosed on joonistel 15 ja 16.



**Joonis 15.** Nitraatide kontsentratsioon Saare ja Lasnamäe väljalaskudes ning Mähe ojas sõltuvalt eelneva 3 päeva keskmisest sademete tasemest.



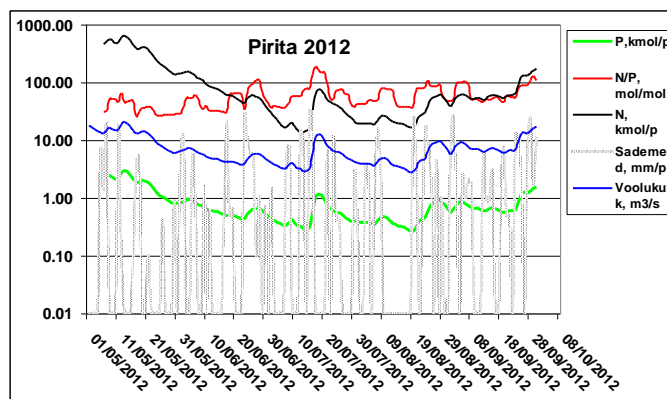
**Joonis 16.** Nitraatide kontsentratsioon Merivälja, Ülemiste ja Kadrioru väljalaskudes ning Piritä jões sõltuvalt eelneva 5 päeva keskmisest sademete tasemest.

Korrelatsioonid on rahuldavad enamiku väljalaskude jaoks, kuid faktiliselt puudub korrelatsioon Piritä jõe korral ( $R^2 = 0.11$ , vt. joonis 16). Tõsiasi, et nitraatide kontsentratsioon kasvab koos sademetega, tähendab praktikas, et sajuperioodi ajal ja järgselt tuuakse väljalaskudest merre väga suured kogused lämmastikku – voog võimendub nii vooluhulga kui ka kontsentratsiooni kasvu toimel.

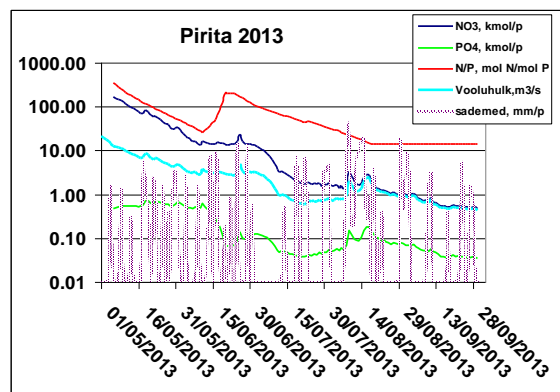
Piritä jõe puhul ning fosfaatide kontsentratsiooni ja sademete vahel korrelatiivset seost ei leitud, voogude arvutamiseks neil juhtudel kasutati lineaarset interpoleerimist proovivõtupäevade vahelisel perioodil.

Päevased sademed, Piritä jõe päevane vooluhulk, ja mõõdetud kontsentratsioonide alusele lineaarse ekstrapoleerimise alusel arvatud päevased toiteainete vood ja lämmastiku ja fosfori moolsuhe on toodud joonistel 17 ja 18.





**Joonis 17.** Pirita jõe päevane vooluhulk, päevased sademed ning interpoleeritud kontsentratsioonikõvera alusel arvatud päevased nitraatide ja fosfaatide vood 2012 aasta suvel.

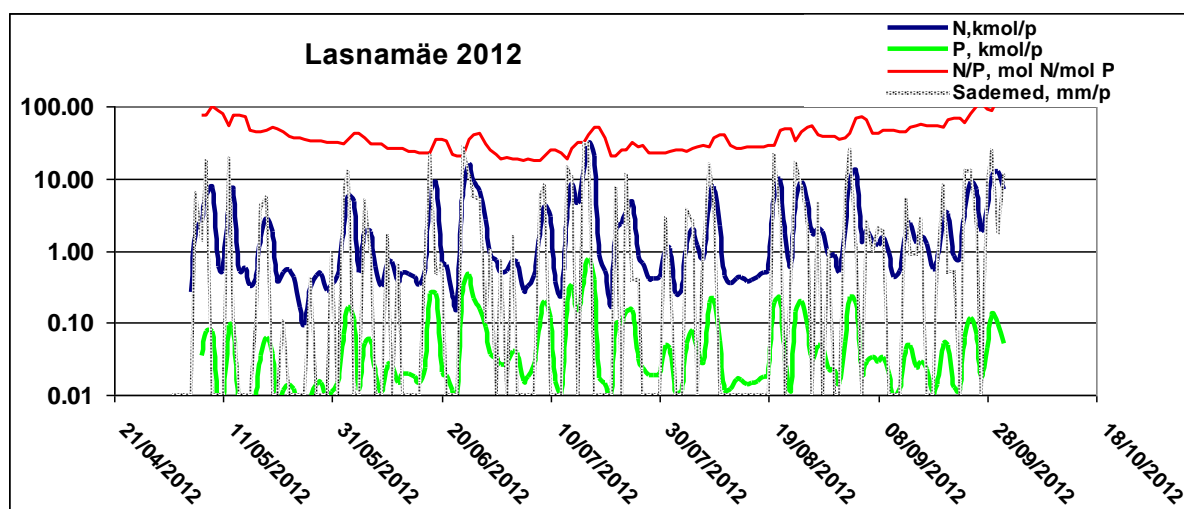


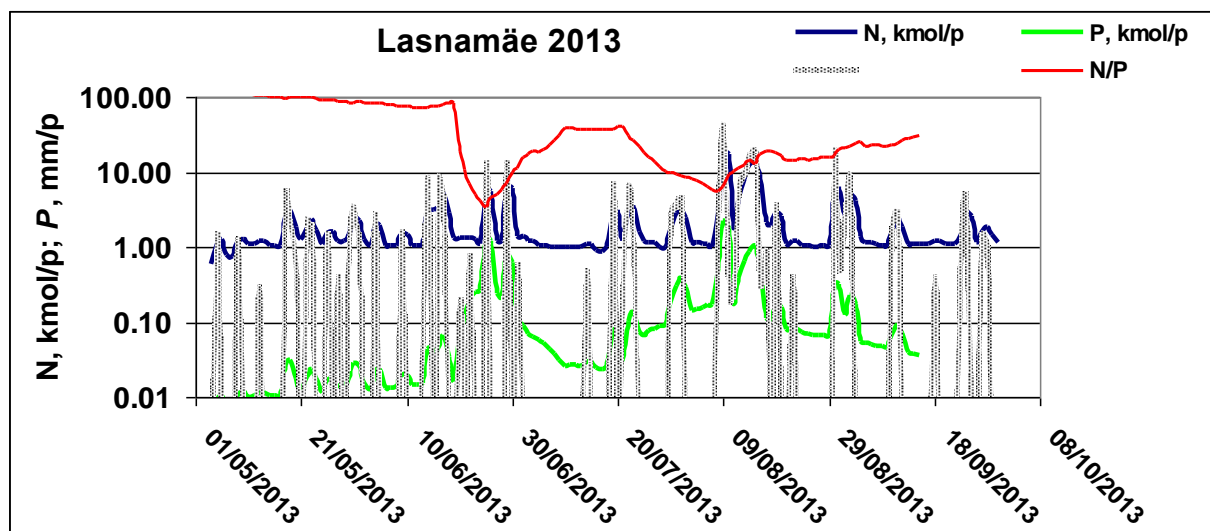
**Joonis 18.** Pirita jõe päevane vooluhulk, päevased sademed ning interpoleeritud kontsentratsioonikõvera alusel arvatud päevased nitraatide ja fosfaatide vood 2013 aasta suvel.

Joonistelt 17 ja 18 on näha, et kevadised kõrged toiteainete vood vähenevad juuni keskpaigaks ning edasised hüpped on seotud sademetega nii 2012. kui ka 2013. aasta suvel. Üldine tase oli oluliselt kõrgem 2012. aastal, mis oli vihasem ja millal tänu sellele ka Pirita jõe vooluhulk oli oluliselt suurem. Üllatav on siiski suur fosfaatide voogude erinevus (kuni 10 korda) samal ajal kui vooluhulkade vahe on ca 5 kordne. Nitraatide fosfaatide moolsuhe oli 2012. aastal enamasti 40 või enam, tõusutrendiga sügise poole (samas mais alla 40), 2013. aastal oli suhe mai lõpus isegi üle 100 kuigi langes kiiresti, seejärel, ilmselt vihmade tagajärjel (16. juuni 8 mm, 17. juuni 4.6 mm) tõusis 20. juuniks üle 200 ning püsis sellel tasemel kuni 25. juunini ja hakkas seejärel kiiresti langema (samal ajal 16. juunil 13.9 ja 29. juunil 13.6 mm sademeid) ning stabiliseerus augusti keskpaigaks tasemel ~14 mol N/mol P. Mõlemad vood nii nitraadid kui fosfaadid olid selges vastavuses mainitud kahe vihmaperioodiga. Kokkuvõtteks võib öelda, et enamiku mõlemast suvest  $N/P > 16$ , s.t. limiteeriv oli fosfaatide kontsentratsioon.

Toiteainete vood peamistes sadevete väljalaskudes on toodud joonistel 19 (Lasnamäe) ja 20 (Ülemiste), ülejäänud väljalaskude osakaal on üsna tühine nagu näitavad arvutused.

Tingituna oluliselt vihasemast suveperioodist 2012. aastal olid toiteainete vood sellel suvel kordades suuremad kui 2013. aastal.



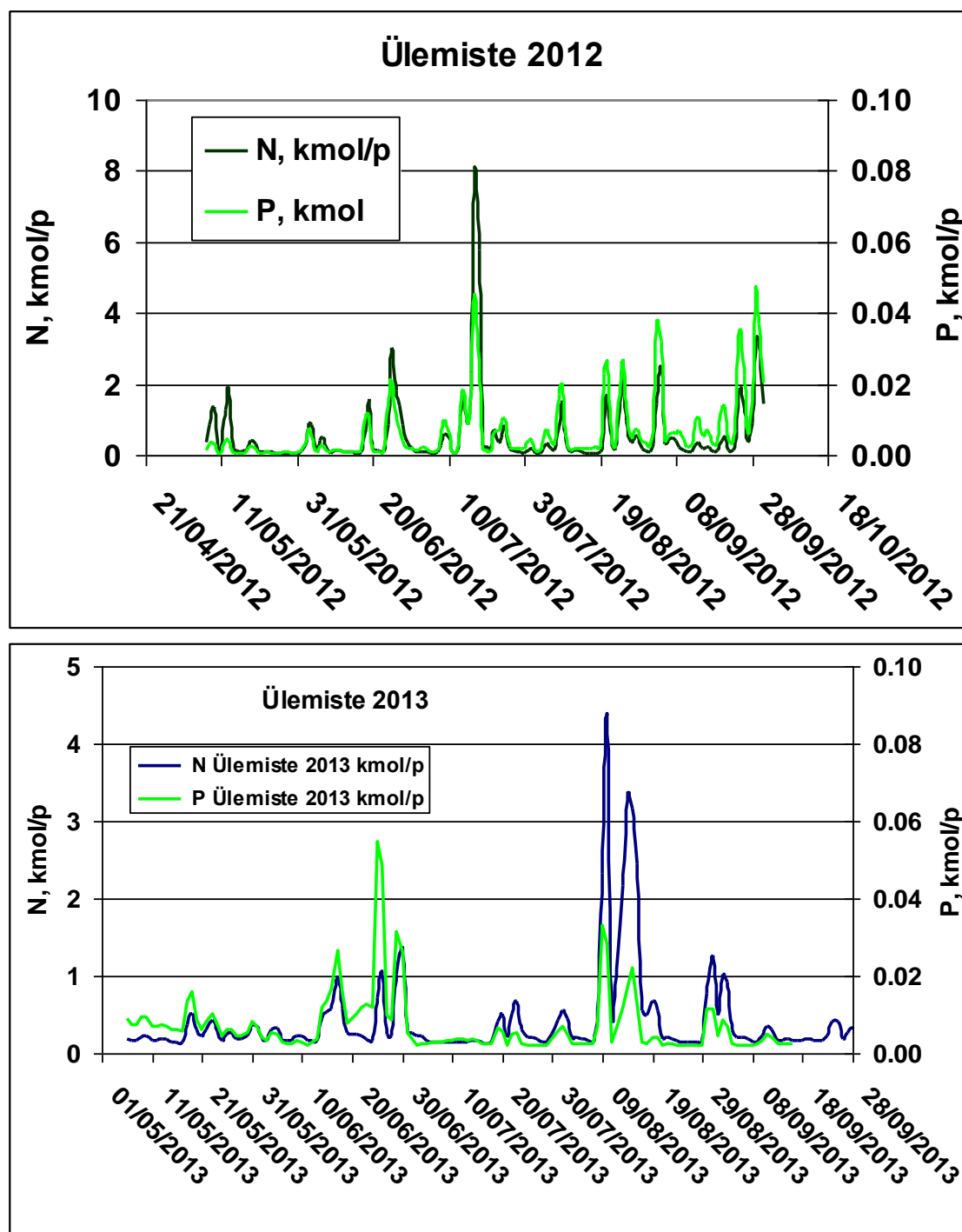


**Joonis 19.** Lasnamäe väljalasu nitraatide aj fosfaatide päevane voog ja moolsuhe 2012. (ülal) ja 2013. (all) aasta suvel. Taustaks on toodud ka päevased sademed ( $P$ ). Päevane voog on leitud kasutades valemi (2) alusel arvatud vooluhulka ning korrelatsiooni  $[N]$  ( $Q_{3p}$ ) (joonis 15) alusel arvatud nitraatide kontsentratsiooni. Fosfaatide kontsentratsioon on arvatud lineaarse ekstrapoleerimisega mõõdetud väärtuste vahelisel perioodil.

2012. aastal võis täheldada toiteainete suhte langust suve esimesel poolel (kuni 10 juulini) seejärel hakkas suhe jälle tõusma. Vaid selleks perioodiks langes suhe alla 20, edasi tõusis suhe sümmeetriliselt kevadsuvisele trendile. Oodatult järgisid toiteainete vood sademete koguseid, fosfaatide voog varieerus piirides 0.01 kuni 1 kmol/p, keskmine voog (mai kuni september oli 0.07 kmol/p. Lämmastiku voog varieerus suurusjärg kõrge tasemel (0.1 – 10 kmol/p), keskmine voog oli 2.8 kmol/p. Sademete keskmine oli 3.2 mm/p.

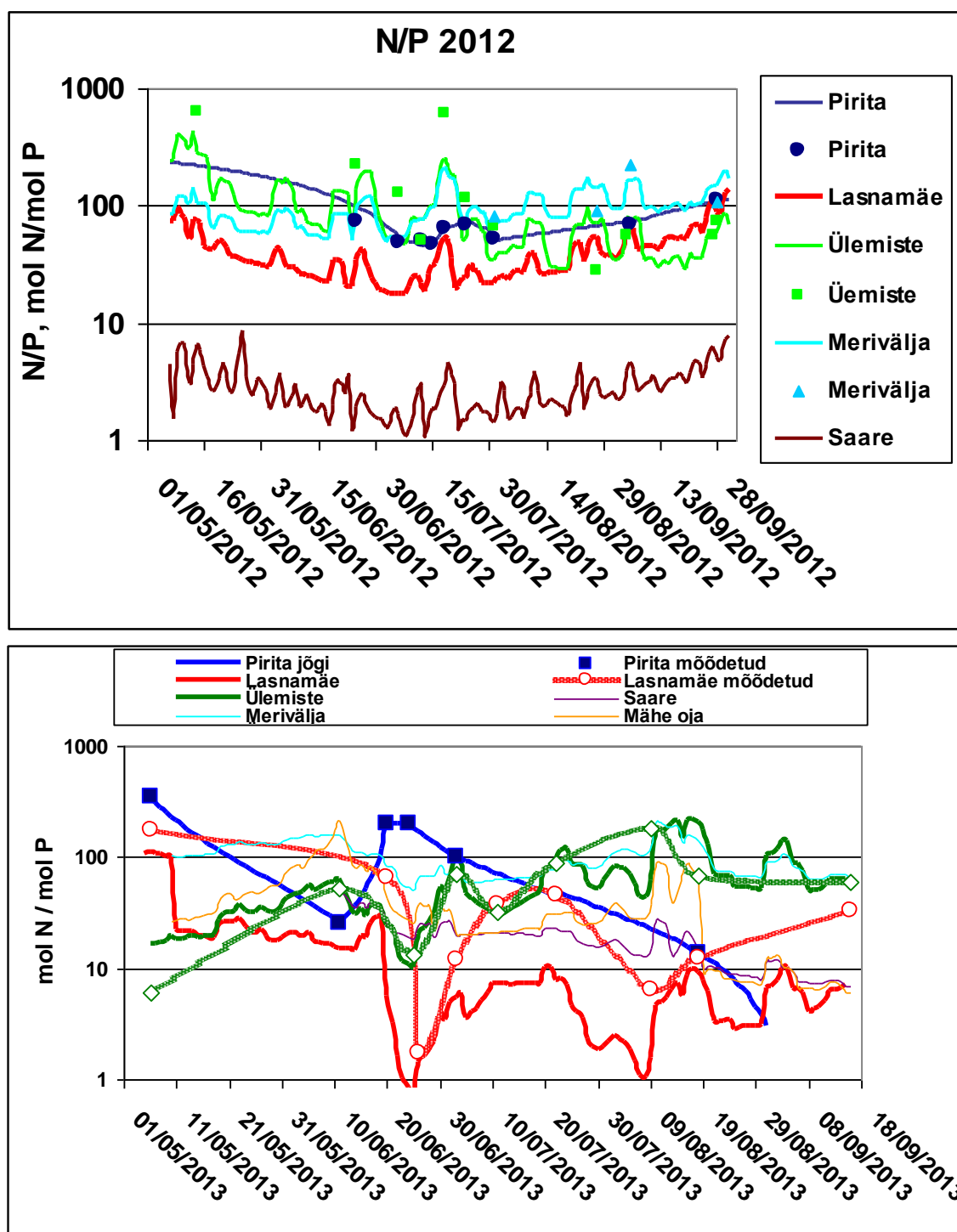
2013. aastal oli pilt kardinaalselt erinev – maist kuni juuni keskpaigani oli N/P 100 juures, seoses kontsentratsiooni 20 kordse tõusuga vähem kui nädala (20.06 – 26.06) jooksul langes neljani. Selline järsk kontsentratsiooni tõus suhteliselt kuival perioodil on looduslike protsessidega raskesti seletatav, seda enam, et ei varem ega hiljem sellist pöördsoltuvust ei täheldatud. Edasi mõõduka vihmaperioodi ajal ja järel tõusis suhe (sünkroonis fosfaatide sisalduse langusega) kuni 38-ni, kus stabiliseerus mõneks ajaks enne mõõdukat langust. Suures plaanis oli suhe N/P 2013 a. suvel fosfaatide kontsentratsiooni peegelpilt ning oli suure osa suvest madalam 16-st. Fosfaatide voog jäi 2013. aasta suvel vahemikku 0.01 - 2.2 kmol/p, keskmine 0.2, nitraatide voog varieerus 0.2 – 8.4 kmol/p, keskmine 0.7, suhe oli vahemikus 3.5 – 100, keskmine 14.

Nitraatide summaarne kogus 2012. aasta suvekuudel (juuni – august) oli 262 ning 2013. aastal 240 kmol, fosfaatide kogus vastavalt 10 ja 20 kmol. Võrdluseks olgu mainitud, et Pirita jõe kaudu tuli nitraate 16 500 kmol 2012. aasta ja 2830 kmol 2013. aasta suvel, fosfaate vastavalt 120 ja 30 kmol. Ülemiste sademete väljalasu puhul (joonis 20) mingisuguseid erilisi anomaaliaid ei täheldatud, 2012 aasta toiteainete vood olid kordi suuremad kui 2013. aastal. Maksimaalne nitraatide voog oli 8 kmol/p 2012. aasta ja 5 kmol/p 2013. aasta suvel ja fosfaatide maksimaalsed vood vastavalt 0.04 ja 0.12 kmol/p (25.06., 13.6 mm sademeid).



**Joonis 20.** Ülemiste väljalasus nitraatide aj fosfaatide päevane voog 2012 .(ülal) ja 2013. (all) aasta suvel. Päevane voog on leitud kasutades valemi (2) alusel arvatud vooluhulka ning korrelatsiooni  $[N] (Q_{3p})$  (joonis 11) alusel arvatud nitraatide kontsentratsiooni. Fosfaatide kontsentratsioon on arvatud lineaarse ekstrapoleerimisega mõõdetud väärtuste vahelisel perioodil.

Huvitav ehk ongi see, et kui suve alguses mõjutab sadu enam fosfaatide kontsentratsiooni, siis kesksuvel tõstavad sajud enam nitraatide kontsentratsioone, ehk teisisõnu kui juunis 2013 põhjustasid vihmad N/P suhte langust siis alates juulist tõusu – tegelikult oli sama tendents näha ka Lasnamäe väljalasus korral (vt. joonis 19). Viimane väide kehtib küll ainult 2013. aasta kohta. Kui vaadata üldisemalt N/P suhet (joonis 21) , siis võib öelda, et 2012. aastal oli suhe pidevalt üle 16 kõikides sissejooksudes (v. a. Saare väljalask), s.t. limiteerivaks toiteaineks oli lämmastik.



**Joonis 21.** Nitraatide ja fosfaatide voogude moolsuhte (N/P) muutlikkus 2012 aasta (ülal) ja 2013 aasta (all) suve jooksul. Märkidega on tähistatud realselt mõõdetud kontsentratsiooni alusel arvatud suhted. Pirita jõe puhul kattub mõõdetud kõver arvutuslikuga, kuna arvutuste aluseks olidki konkreetselt mõõdetud kontsentratsioonid.

2013. aasta pilt on muutlikum, Pirita jõgi toob jätkuvalt suures koguses nitraate (loomulikult ka fosfaate), aga Lasnamäe väljalasu vetes on suurema osa suvest limiteerivaks toiteaineks lämmastik. Ülemiste veed on vahelduvad, pigem siiski fosfori defitsiidiga. Muidugi, nii jõest, kui väljalaskudest tulev vesi on võrreldes mereveega sedavõrd toiteainete rikas, et suuremate vihmade jm. sobivate tingimuste (piisavalt soe vesi, päike, vaikne ilm) võivad nad põhjustada nad vetikate vohamist vaatamata N/P suhtele. Arvutuslikud kõverad kajastavad küllaltki hästi mõõdetud

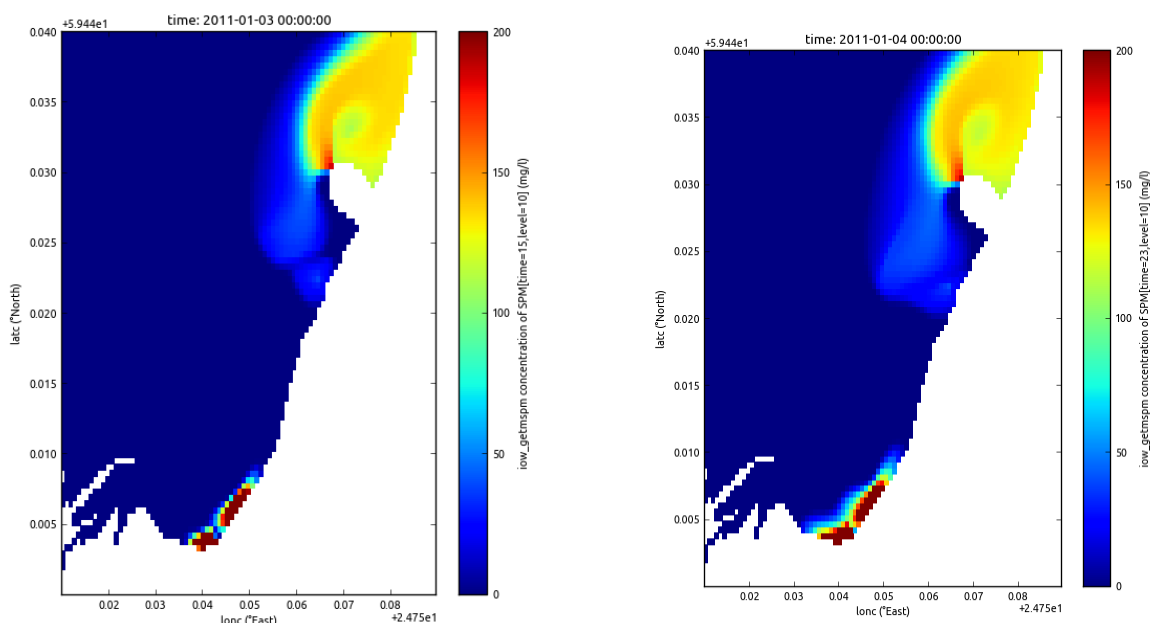
tulemust, eriti Ülemiste väljalasu puhul. Tuleb märkida, et nitraatide kontsentratsiooni korrelatsioon sademetest arvatati mõlema, 2012. ja 2013. aasta tulemuste alusel.

### 3.5. Toiteainete leviku modelleerimine

Meil on nüüd piisava täpsusega teada vooluhulgad ja toiteainet vood, millised uuritavas piirkonnas lahte suubuvad - lisades siia juurde merepõhja topograafia ja kareduse, vee tiheduse (soolsuse) ja tuule andmed, on võimalik üsna täpselt modelleerida toiteainete levik nii ajas kui ruumis, tõsi see nõuab parajalt palju arvutimälu ja aega (kobaraarvutit). Modelleerimine toimus mitmes etapis, lihtsamalt mudelitelt keerulisematele.

#### 3.5.1. Ainete hajumine sissejooksudest väljumisel – vaigse ilma mudel

Modelleerimise hetkel puudusid andmed sissejooksu mahtude kohta, aluseks võeti keskmised vooluhulga andmed perioodi 2000 kuni 2009 kohta ning 2012. aasta suvel määratud keskmised nitraatide kontsentratsioonid sissejooksudest. Joonisel 22a ) on mudeli tulemus kolmanda päeva lõpuks peale sissejooksu avamist ja joonisel 22b neljanda päeva lõpuks. Mudel näitab, et muude faktorite (tuul, hoovused) puudumisel on sadevete hajumine väga aeglane ning kogu sissejooksust tulev vesi koguneb väga kitsale rannikuribale. Etteruttavalt võib öelda, et sama võib väita ka vetikate levimise kohta. Samas olulisem toiteainete allikas, Pirita jõgi, viib oma vee põhiliselt Pirita ja Merivälja randa, mõningal määral ka Saare nurka. Pirita vee käändumist Merivälja poole täheldati ka välitöödel – Merivälja uuringualalt võetud proovide puhul määrati mere kohta anomaalselt suuri toiteainete kontsentratsioone ka avameere jaama(R4) ümbruses.



**Joonis 22.** Ainete arvatud kontsentratsioon 3 päeva (a) ja 4 päeva (b) peale Ülemiste sissejooksu (hüpoteetilist) avamist.

#### 3.5.2. Simulatsioon hüpoteetiliste tuultega.

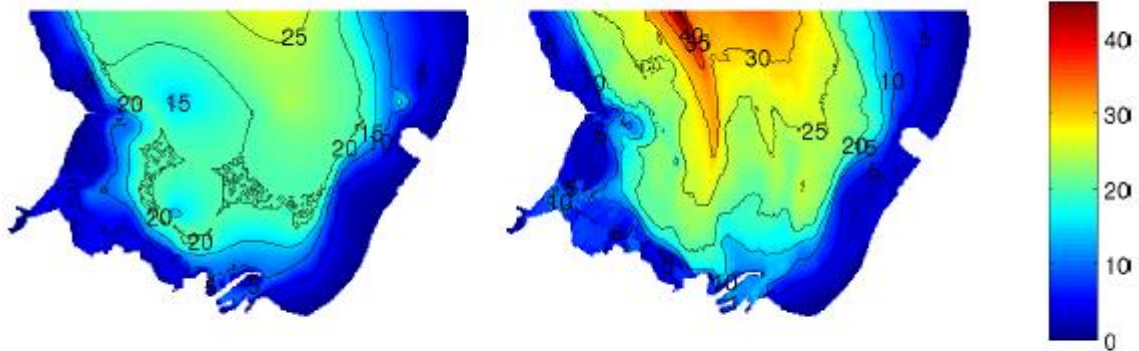
Modelleerimisel lähtuti alljärgnevast.

1. Põhja batümeetria (Veeteede ametilt) (joonised 7 ja 23).
2. Põhja tüüp setteproovidele tehtud sõelanalüüsi alusel (lisa 2 ja joonis 24).
3. Sissevoolude asukohad(joonised 3 ja 25) ja vood.



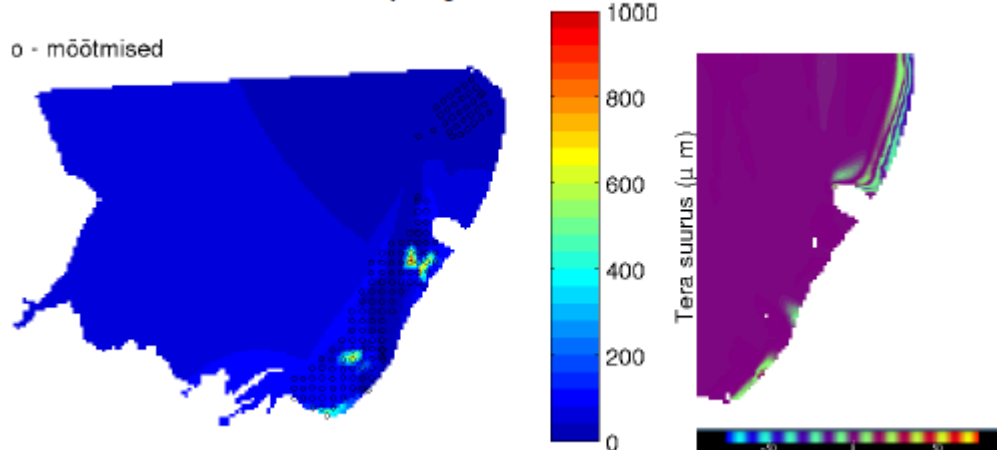
4. Mudeli seadistusest hüdrodünaamiliste protsesside ja aineleviku kirjeldamiseks:
- 3D hüdrodünaamika mudel GETM
  - Horisontaalne lahutus 50x50 m
  - Simulatsiooni pikkus 48 h
  - Tuul 10 m/s neljast põhiilmakaarest (WNES)
  - Algväljad: kiirused ja veetasemed alghetkel = 0
  - Tiheduse jaotus – soovine, hästi stratifitseeritud veesammas
  - Toitainete allikad: 4 põhilist sissevoolu ja jõgi (alternatiiv 0 ja 1)

Võrreldes varasemate mõõtmistega  $\Delta V +20\%$



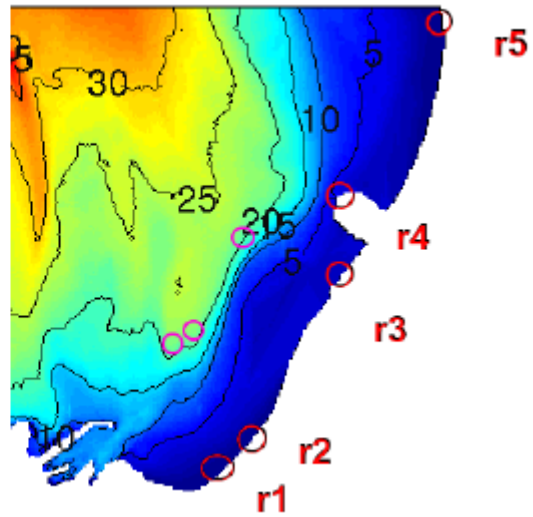
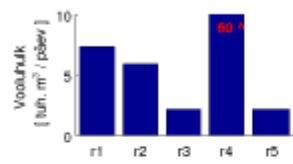
**Joonis 23.** Varasemad batümeetria andmed (vasakul) ja Veeteedeametilt saadud täppisbatümeetria (paremal).

Mõõtmistest arvatud põhjakaredus - realistlikum ainelevik



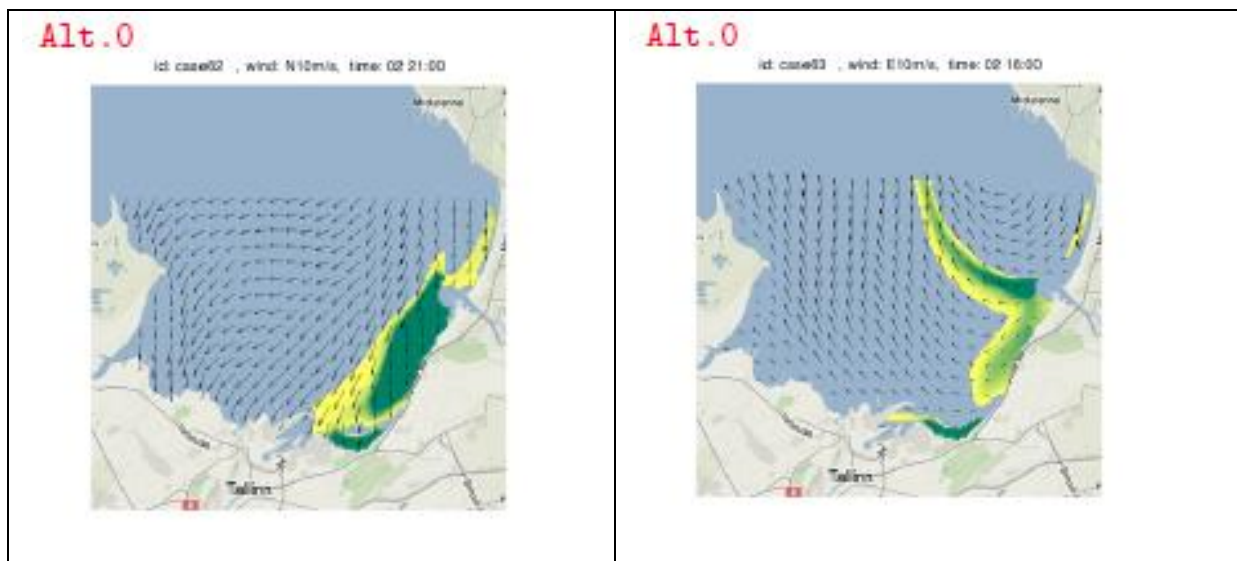
**Joonis 24.** Põhja karedus setteproovidele tehtud sõelanalüüsi alusel.

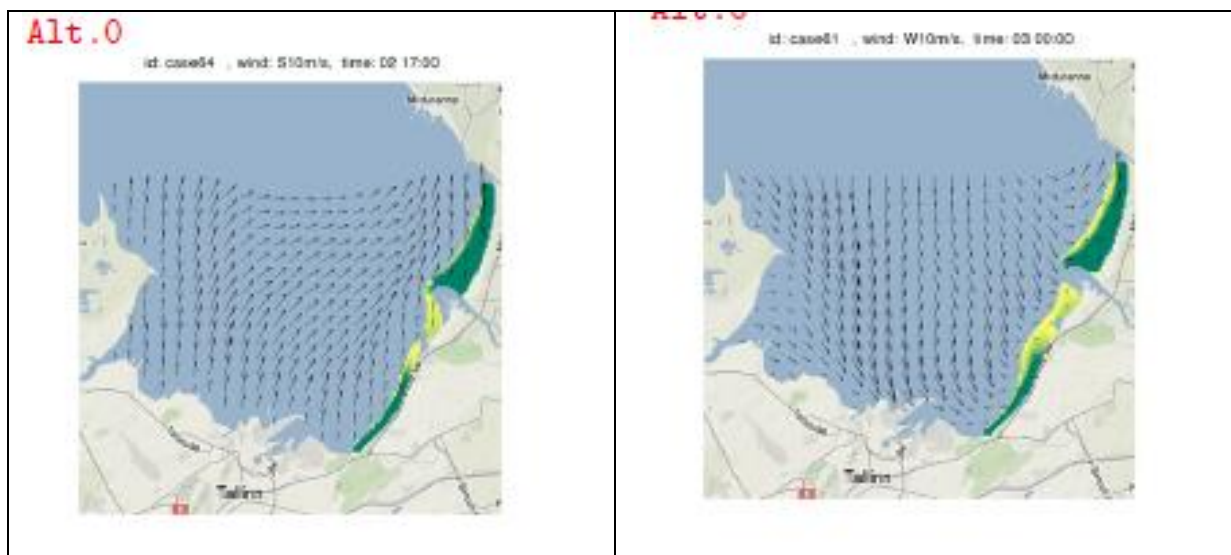
● 5 tähtsamat sissevoolu



Joonis 25. Sissevoolude asukohad ja mahud.

Mõned väljavõtted simulatsioonidest.





**Joonis 26.** Stoppkaadrid mudeli simulatsioonidest tuulega 10 m/s: a) põhjatuul, b) idatuul, c) lõunatuul, d) läänetuul.

Järeldused ülalkirjeldatud simulatsioonide kohta:

ainete levik (10 m tuulega) sõltub valdavalt tuule suunast;

Pirita-Russalka lõigu jaoks on halvim variant põhjatuul, mis toob Pirita jõe veed randa, ka idatuulega, jõuab osa Pirita veest Saare ja Lauluväljaku alla;

lõuna- ja läänetuulega viiakse Pirita vesi piki Pirita randa kuni Meriväljani;

kõige "tervislikum" rannale on idatuul, millega enamus Pirita jõest tulevast koormusest suunatakse avalahele;

Merivälja nurgaga on väga raske midagi ette võtta kuna valdavate läänekaare tuultega suunatakse Pirita veed sinna, Merivälja väljalasu osakaal on seejuures tühine.

### 3.5.3. Reaalne mudel

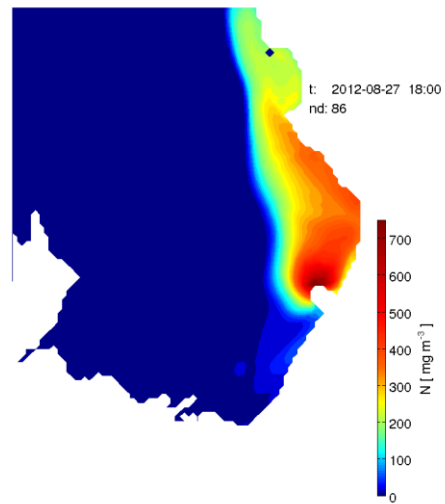
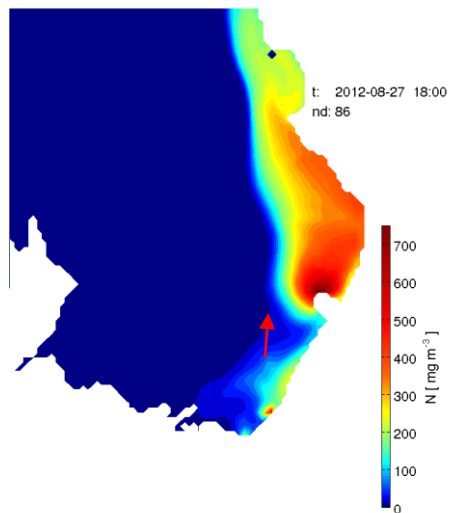
Mudeli lähteandmeteks oli reaalne Pirita tuul ja reaalne Pirita jõe vooluhulk, veeproovidest määratud toiteainete kontsentratsioonide alusel arvatud suvised kontsentratsioonikõverad ning nende, sademete ja aurumise alusel arvatud päevased vood. Modelleeriti ka teoreetilisel eeldusel, et Pirita-Russalka lõigu väljalasud on juhitud 1.1 km kaugusele 15 m sügavusse merre. Väljavõtted mudelist on joonisel 27 (a kuni p).

Mudel praeguse olukorra kohta

Mudel eeldusel, et Lasnamäe ja  
Ülemiste sissejooksud on  
juhitud 1.1 km kaugusele merre

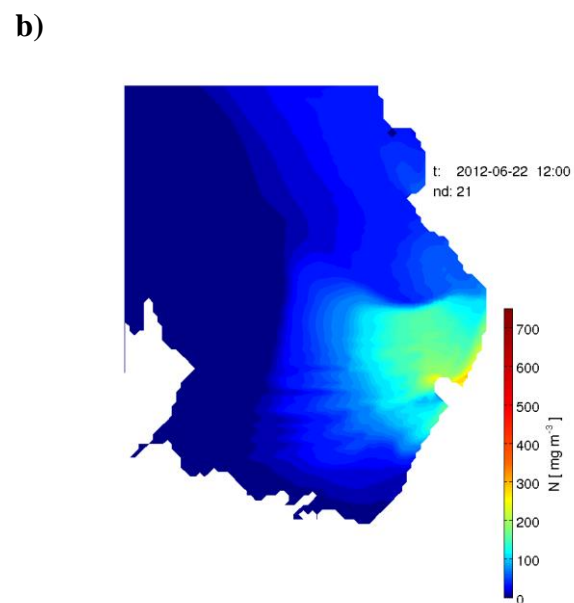
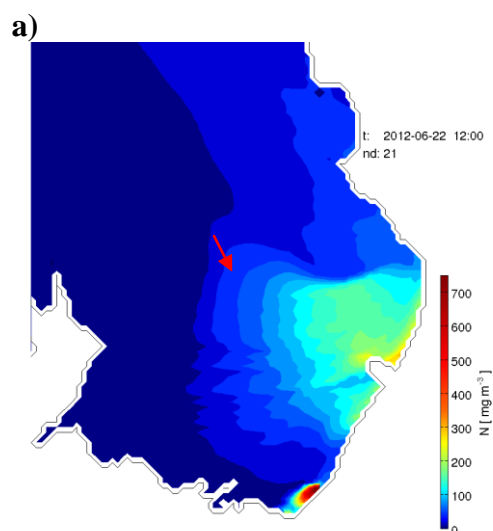
27.08.12

5.8 m/s,  
187°



22.06.12

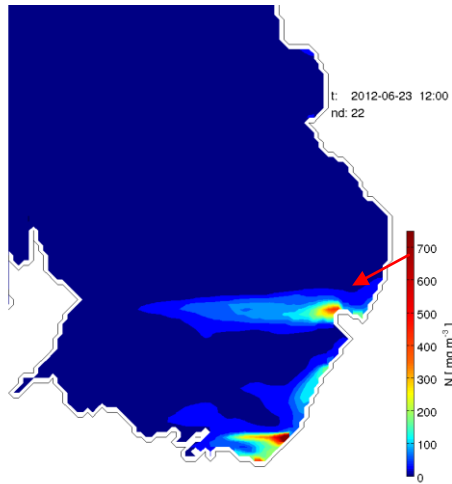
5.3 m/s,  
333°



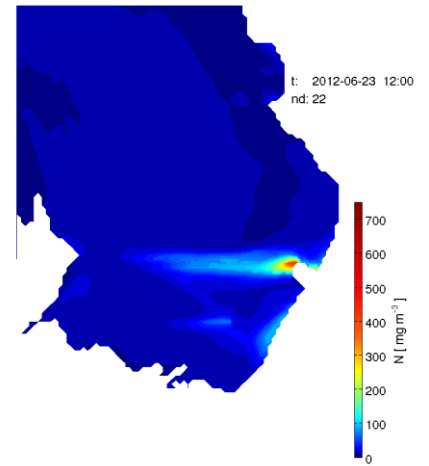
c)

d)

23.06.12

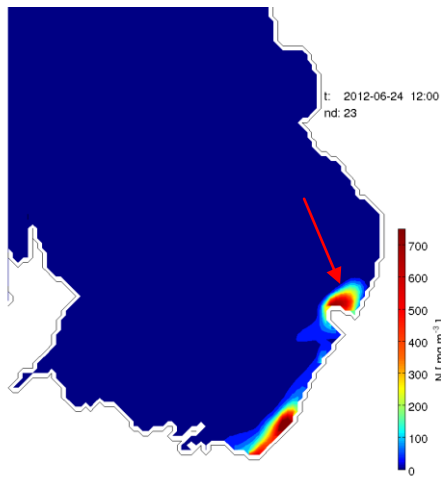
8.5 m/s,  
61°

e)

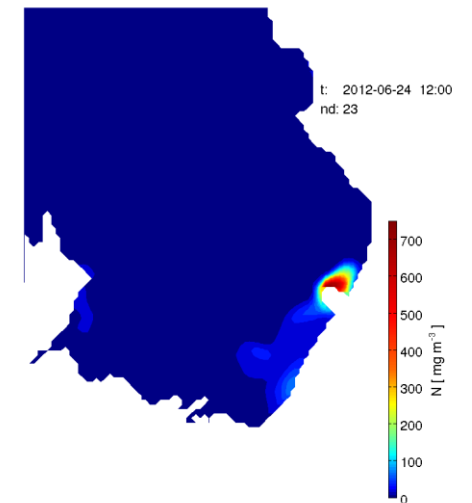


f)

24.06.12

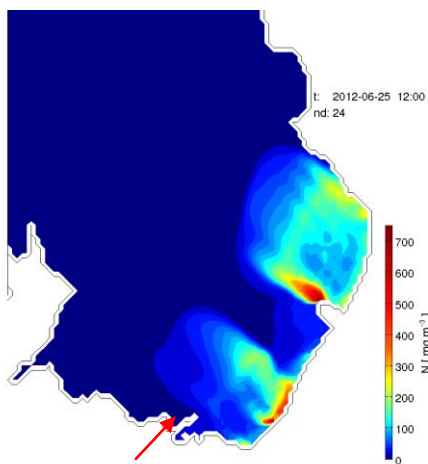
12.2  
m/s,  
337°

g)

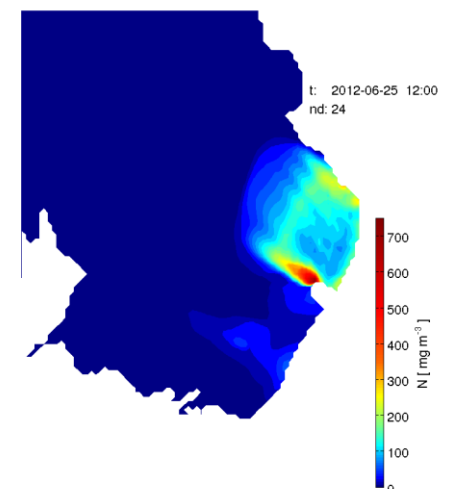


h)

25.06.12

7.7 m/s,  
223°

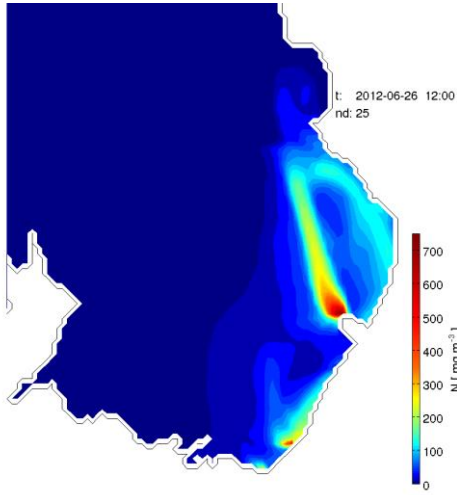
i)



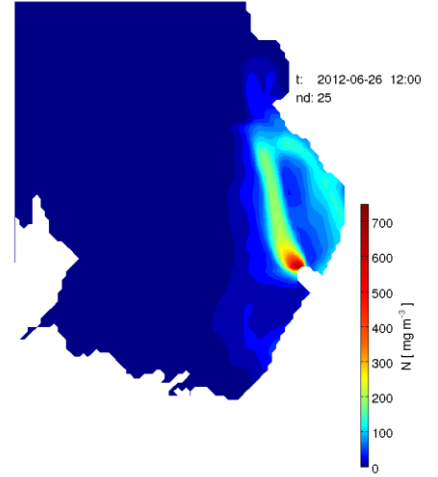
j)

26.06.12

7.8 m/s,  
142°



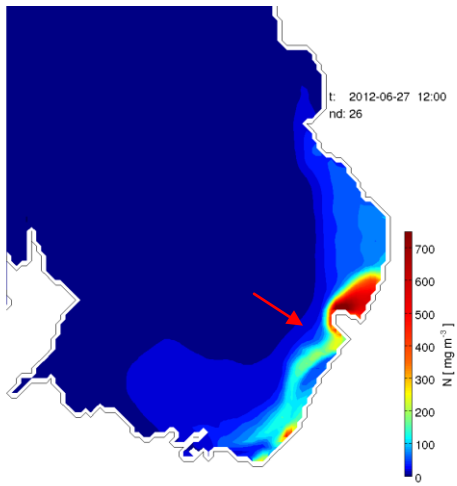
**k)**



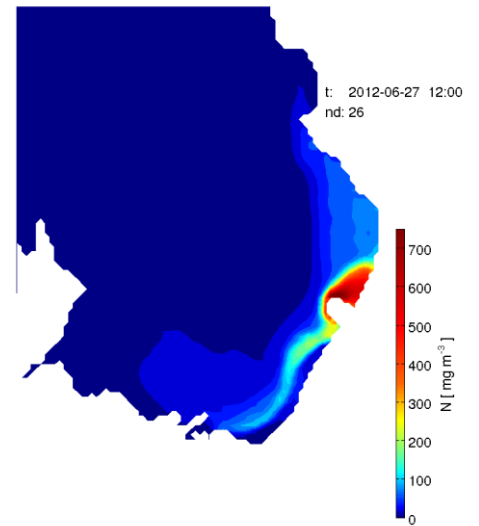
**l)**

27.06.12

6.3m/s,  
307°

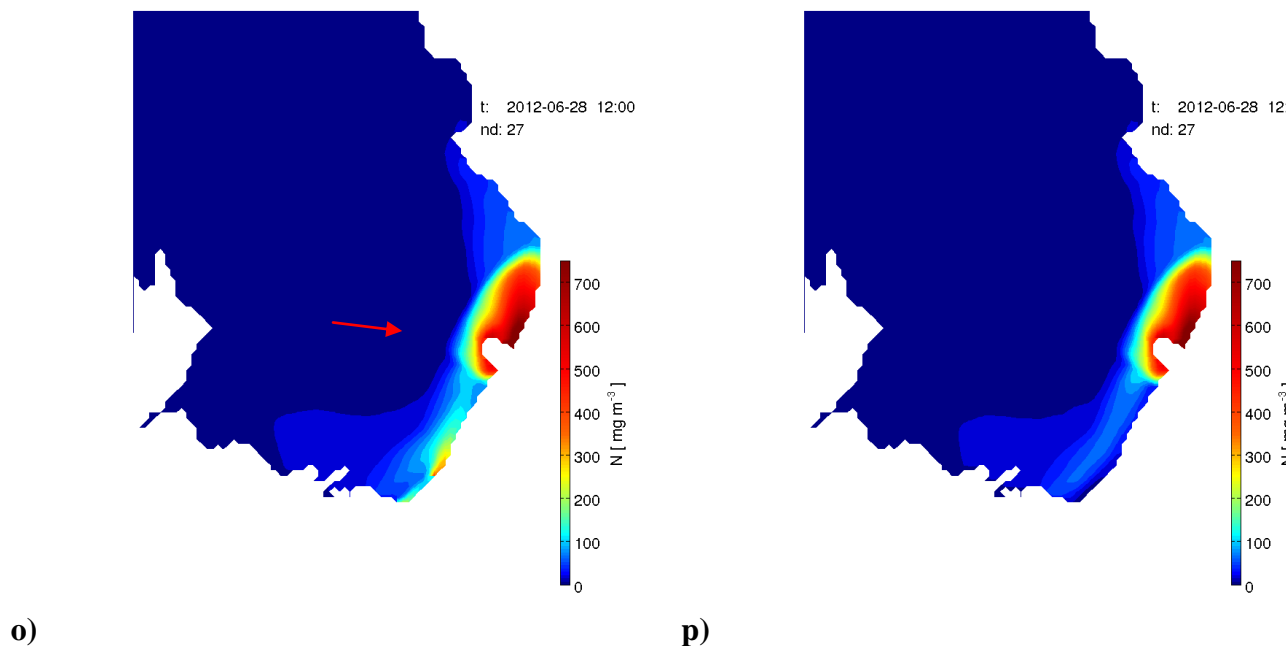


**m)**



**n)**

9.2 m/s,  
277°



**Joonis 27.** Simulatsioonid erinevatel reaalsetel tingimustel (vasakul) ja eeldusel, et Lasnamäe, Ülemiste ja Kadrioru väljalasud on juhitud kaugemale ja sügavamale merre (paremal). Toru otsa asukoht 59° 27' 15.53'' ja 24° 47' 19'' (sügavus ca 15 m).

Joonis 27b (27.08.12) demonstreerib näitlikult toru suubumiskohta, järgmised 22. juunist kuni 27. juunini on esimese tugeva haisuperioodi kohta. Seejuures oli sademeid 23. juunist alates 26.4, 10.7, 5.8 ja 5 mm päevas. Vasakus veerus on toodud tuule keskmise vektori parameetrid eelneva 24 tunni kohta.

22. juunil laialdast Lasnamäe ja ülemiste väljalaskudest lähtuvat koormust näha ei ole. 23. juunil on koormus küll tõusnud, kuid lükatud kirdetuulega Vanasadama suunas, 24. juuniks on tuul pöördunud põhjakaarde ja muutunud tugevaks, suur koormus on alal Lauluväljakust Russalka rannani, toru olemasolul, oleks koormus tagasihoidlik, mõningane hulk toiteaineid uhutaks toru otsast tagasi randa. 25. juuniks oli tuul taandunud mõõdukaks ja pöördunud edelasse, Lauluväljaku – Russalka mereala oli tugevalt ja laialt koormatud, toruga oleks koormus peaaegu olematu. 26. juunil mõõduka kagutuulega - suurematest vihmadest oli ka paar päeva möödas – oli koormus vähenenud, toruga pea olematu. 27. juunil (loodetuul 6.3 m/s) jõudis Pirita jõe vesi Lauluväljaku ja Russalka rannale, toru efekt oli lokaalne.

28. juunil (mõõdukas läänetuul) on näha nii väljalaskude mõju kui Pirita jõe järelmõju, toru olemasolul oleks koormus Lasnamäe - Russalka rannas üsna tagasihoidlik, samas Saare nurk on tugevalt koormatud.

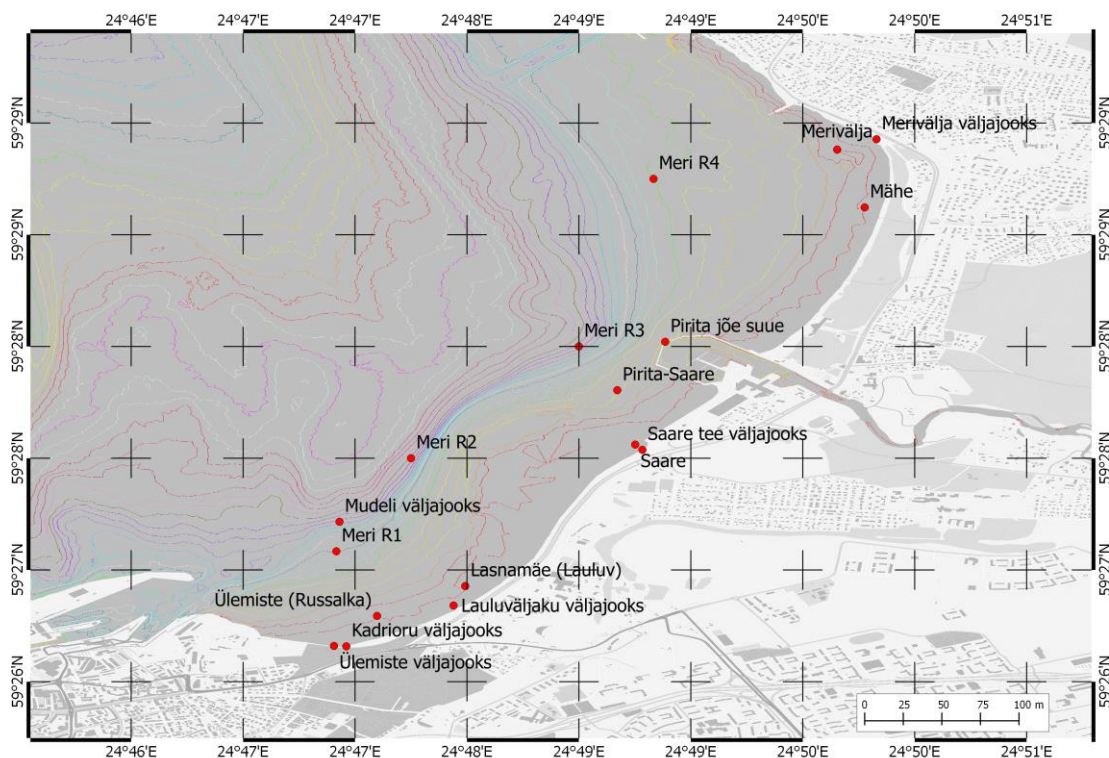
Pirita - Merivälja nurk on enamikul päevadest tugevalt koormatud Pirita jõe keelega – vaid 23. juunil puhunud kirdetuul on selle ranna puhtaks puhunud.

Esialgne järeldus on, et Lauluväljaku ja Russalka ranna koormus väheneks oluliselt, kui pumbata Lasnamäe ja Ülemiste sadeveed kaugemale merre – kui praegune koormus on seal mudeli järgi laial alal (sügavus alla 2 m) 400 – 600 µg/L, siis toru olemasolul väheneks see kuni ~50 µg/L, s.o. terve suurusjärgu.

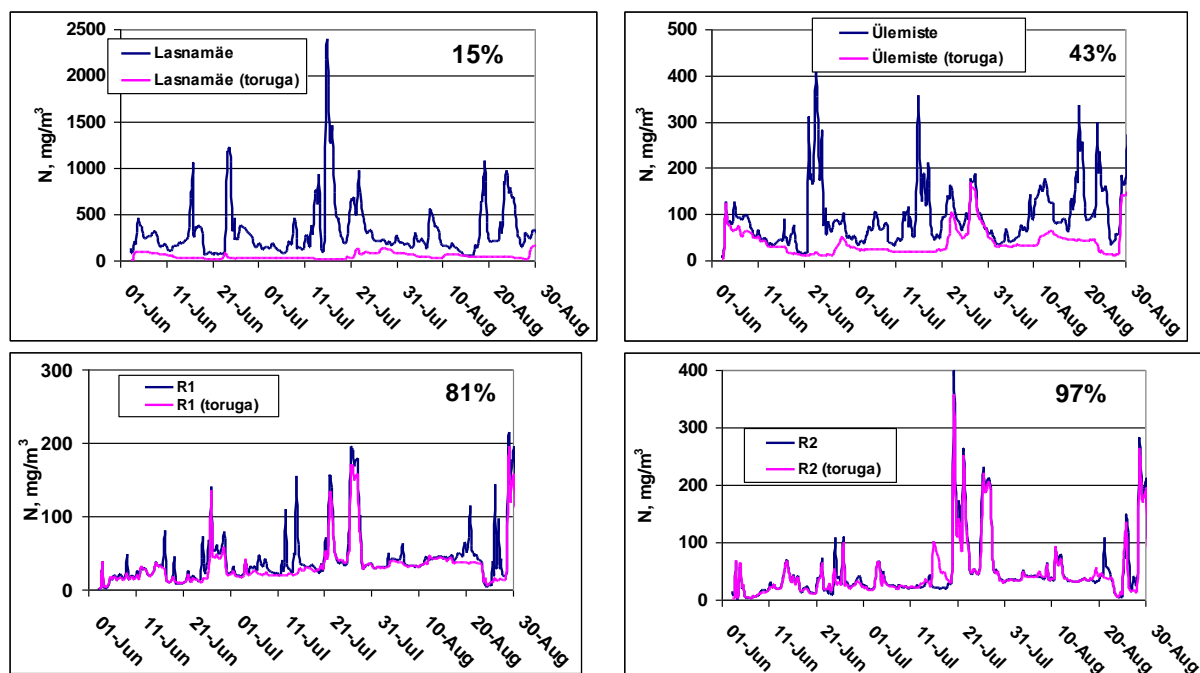


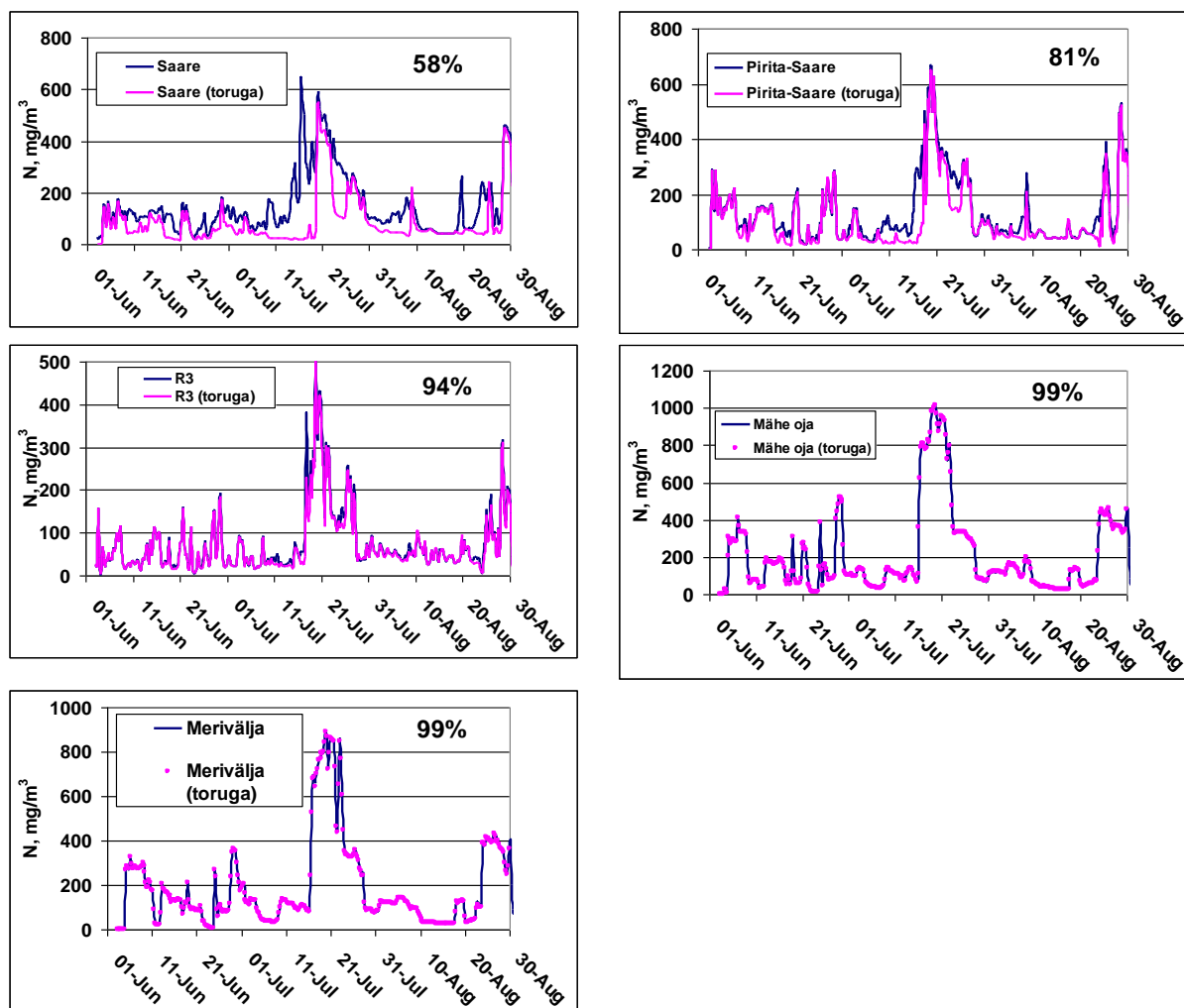
### 3.5.4. Toiteainete kontsentratsiooni ajaline varieerumine

Modelleerimistulemuste analüüsiks kasutati allpool tähistatud testjaamu sügavusel ~2 m väljalaskude vastas (joonis 28).



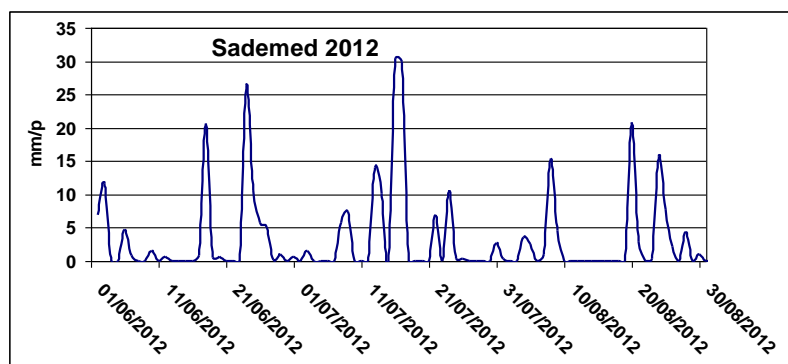
**Joonis 28.** Modelleeritud testjaamad uurimispiirkonnas. Sügavusjooned on 1m tagant. Nitraatide kontsentratsiooni väljavõtted (joonis 29) 2012. aasta suve jaoks on tehtud kahest erinevast simulatsioonist: eksisteeriva olukorra jaoks (sinine kõver) ja olukorra jaoks, kui Lasnamäe, Ülemiste ja Kadrioru väljalasud on juhitud 1.1 km kaugusele 15 m sügavusele merre (roosa kõver).



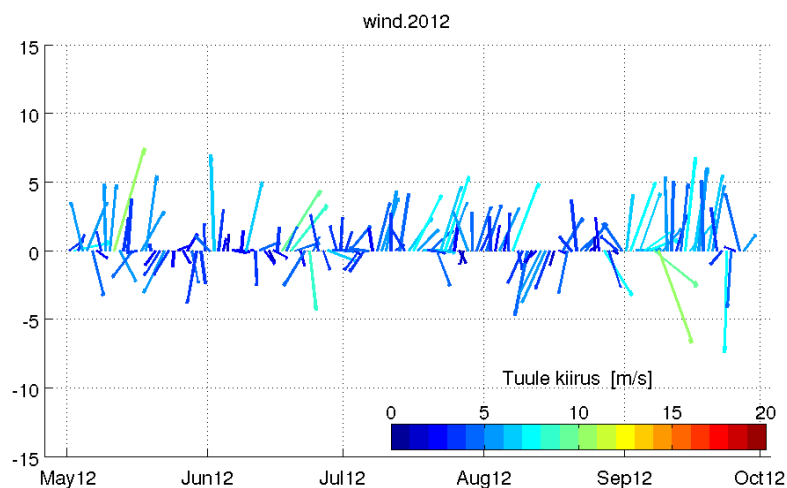


**Joonis 29.** Modelleeritud lahustunud lämmastiku kontsentratsioonid testjaamades (vt, joonis 28) 2012. a. suvel praeguses olukorras ja meetme (Lasnamäe, Kadrioru ja Ülemiste väljalask juhitud sügavale merre) kasutusele võtmisel: sinine kõver – olemasolev olukord, roosa – meetmega. Ülemises vasakus nurgas on alles jääva koormuse osakaal.

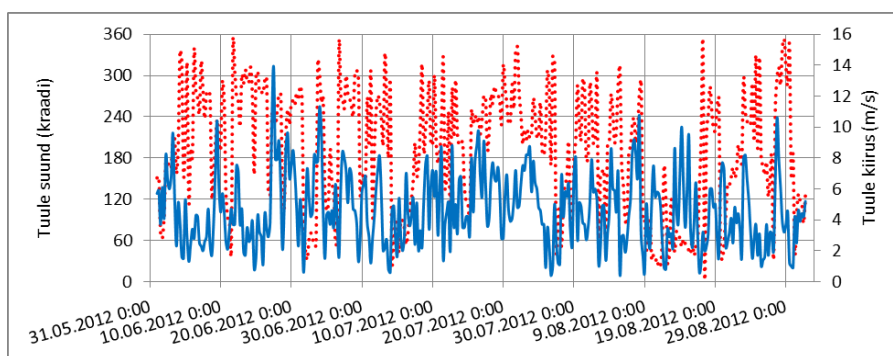
Iga graafik joonisel 29 pakuks huvi omaette analüüsiks võttes arvesse sademeta ja tuule andmeid, aga piirdume allpool vaid kõige üldisemate tähelepanekutega, mis on olulised püstitatud eesmärgi saavutamiseks. Taustaks ka andmed sademete (joonis 30) ja tuulte kohta (joonised 31 ja 32).



**Joonis 30.** 2012. aasta päevased sademed.



**Joonis. 31.** Tuule keskmised vektorid, suvi 2012.



**Joonis 32.** Tuule suund (punane) ja tuule kiirus (sinine).

Lasnamäe rannalähedases jaamas on muutused drastilised, kui reaolukorras küünivad maksimumkontsentratsioonid juunis üle 1000, juulis 2500, augusti keskpaigas ~500 ja lõpus 1000 mg/m<sup>3</sup>, siis meetme rakendamisel jääksid kontsentratsioonid alla 100 mg/m<sup>3</sup> juunis, alla 125 mg/m<sup>3</sup> juurde juulis ja 150 mg/m<sup>3</sup> juurde augusti lõpus, s.t. koormus on vähenenud terve suurusjärgu. Kolme suvekuu kogukoormus väheneks 85%.

Ülemiste väljalasu läheduses on vastavad muutused 400/50, 350/150, 200/50 ja 300/50, ka on vähenenud maksimumide arv – Täielikult puuduvad 23. juuni ja 7 juuli maksimumid. Üldine foon langenud suvisele avamere normaaltasemele (~20 mg/m<sup>3</sup>) senise 50-100 mg/m<sup>3</sup> asemel. Kogukoormus on langenud 57%.

Vaatamata sellele, et avamerejaama R1 asukoht on uue väljalasu vahetus läheduses, ei tõuse koormus ka seal vaid isegi väheneb mõnevõrra (19%). Siin tuleb mängu asjaolu, et väljalask paikneb suure põhjakalde peal, kus põhjahoovuse suund on valdavalt kaldast eemale, süvamere poole, vt. joonis 45.

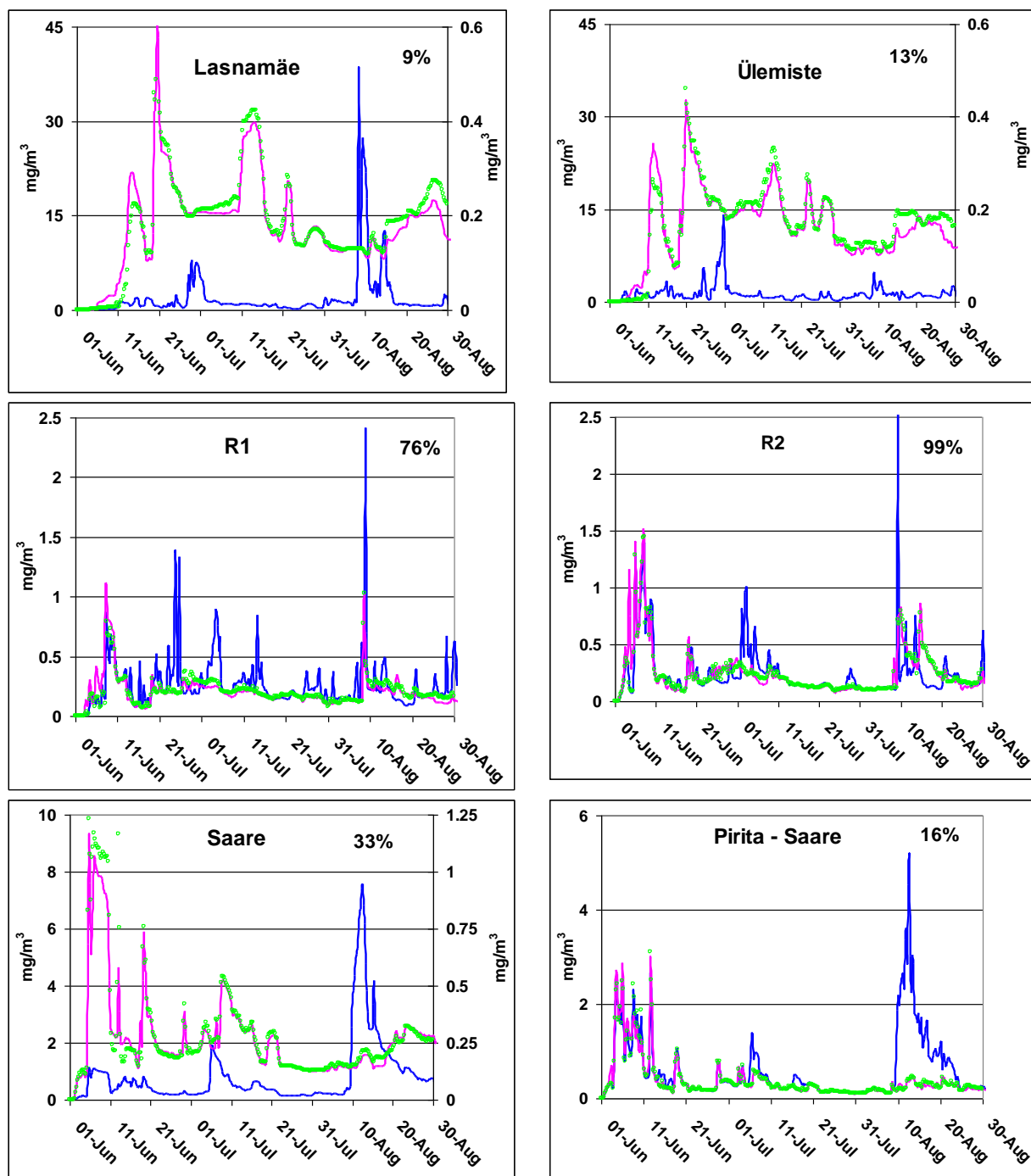
Avamerejaamas R2 erilisi muutusi ei toimu, vaid 25. juuni ja 21. augusti maksimumid kaovad ära.

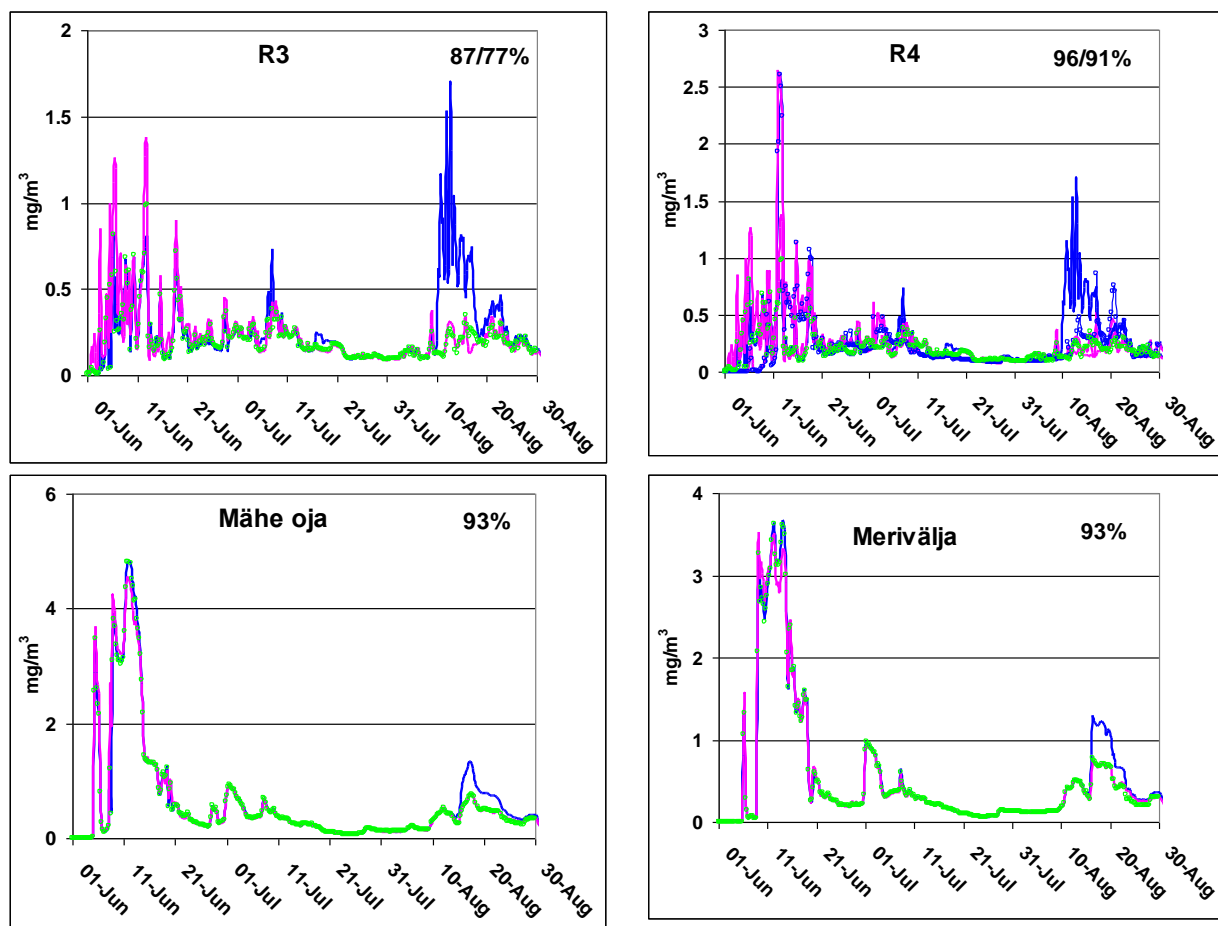
Üllatav on, et isegi Saare nurgas leiavad aset olulised muutused – kaovad ära või muutuvad lühiajalisemaks mitmed maksimumid, kogukoormus väheneb 52%.

Saare nurgast kaugemal, Pirita läänemuuli läheduses (sügavus 4 m) olevas Pirita-Saare jaamas ei leia samuti aset suuri muutusi, kogukoormus väheneb ~19%, üldpilt on sarnane Saare jaamaga, s.t. mõlemad on oluliselt mõjutatud Pirita jõest. Sama võib öelda ka avamerejaama R3 kohta (koormuse vähenemine 6%).

Pirita rand (jaam Mähe oja) ja Merivälja nurk (Merivälja) meetmest mõjutatud ei ole.

Järgnevalt esitame modelleerimistulemused fosfaatide sisalduse muutumise kohta 2013. aasta suvel (joonis 33). Analüüsitud on kolme olukorda: reaalset (a), kui Lasnamäe, Kadrioru ja Ülemiste väljalasud on juhitud süvamerre ning Saare väljalask suletud (b) ja kui lisaks on suletud ka Merivälja väljalask (c).





**Joonis 33.** Modelleeritud fosfaatide kontsentratsioonid merejaamades 2013. aasta suvekuudel. Sinine kõver – olemasolev olukord, roosa – kui juhtida Lasnamäe, Kadrioru ja Ülemiste väljalasud kaugemale merre ning sulgeda Saare väljalask, roheline kõver – lisaks eelnevale on suletud ka Merivälja väljalask. Jooniste ülemises vasakus nurgas on nitraatide koormuse osa, mis jääb alles peale kõigi meetmete kasutusele võtmist.

Lasnamäe väljalasu läheduses väheneb meetme (b) rakendamisel fosfaatide koormus enam kui kümme korda, järelejääv koormus ( $0.2 - 0.6 \text{ mg/m}^3$ ) on oluliselt madalam avamerelt saabuvast koormusest ( $2 - 10 \text{ mg/m}^3$ ). Sama kehtib ka Ülemiste testjaam kohta, tõsi, efekt on tänu fosfaatide madalamale lähtekontsentratsioonile väiksem - 85% Lasnamäe 91% vastu.

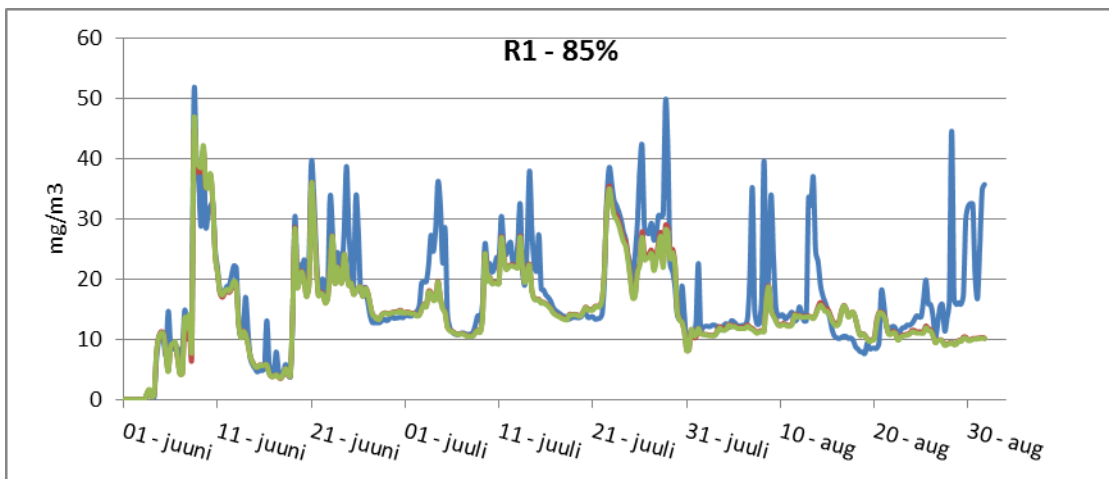
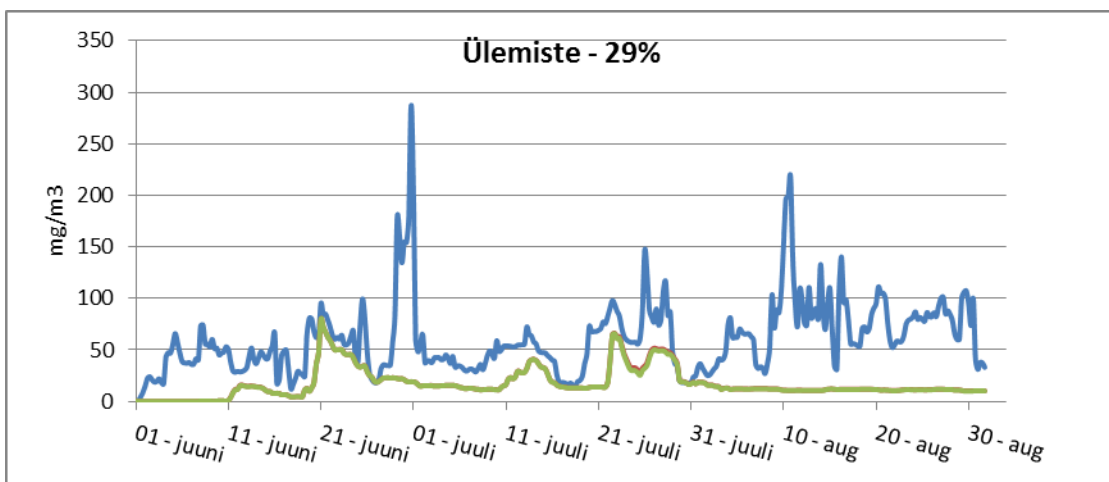
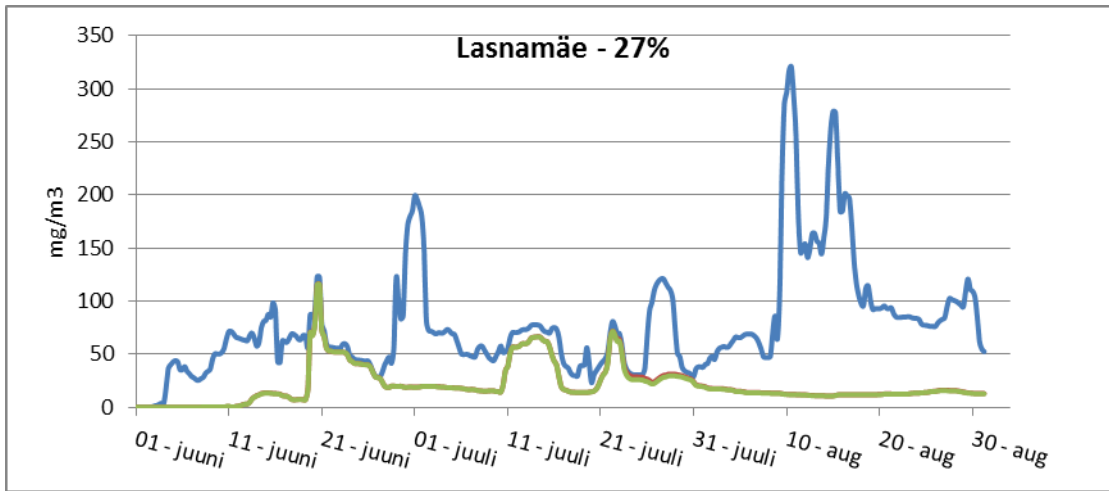
Avamerejaamades R1 (koguefekt 24%) ja R2 (1%) kaovad ära tetavad maksimumid, s.t. ei esine enam ebanormaalset kõrge fosfaadikoormusega perioode, kuigi neid ei esine seal üldse, kuna lisakoormus on niigi suurusjärg madalam avamere omakoormusest.

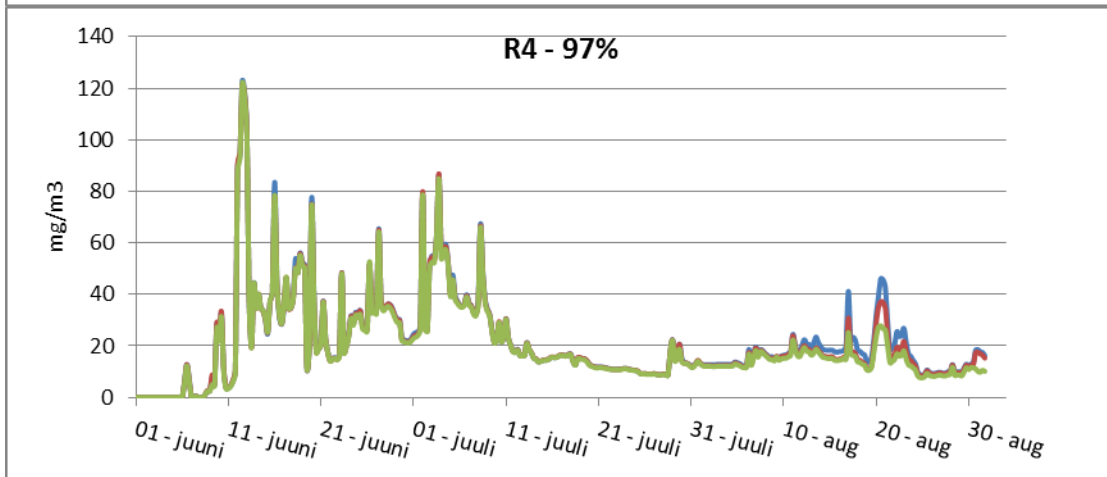
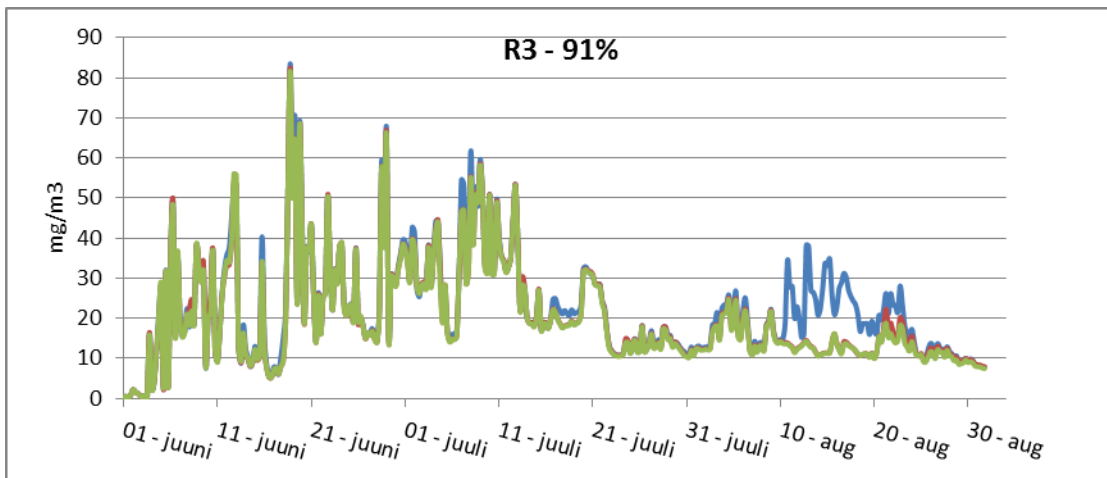
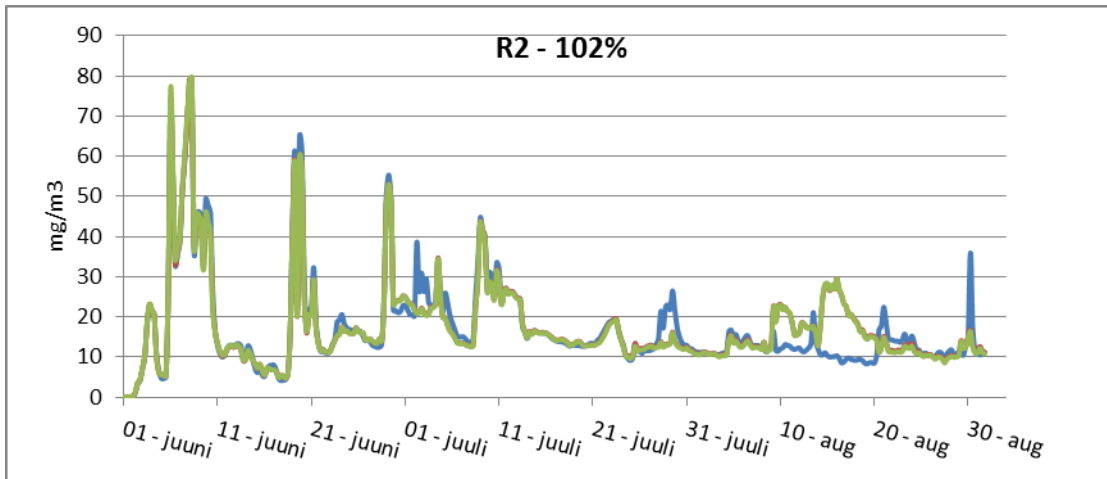
Saare ja ka Pirita-Saare testjaamas vähenes (kadus) eelkõige 12. augusti maksimum, üldkoormus vähenes Saares 67% ja Pirita - Saares 84 %.

Avamerejaamades R3 ja R4 oli koormus juba algselt tühine – vastavalt 13 ja 4%, meetmed kaotasid samuti 12. augusti maksimumi.

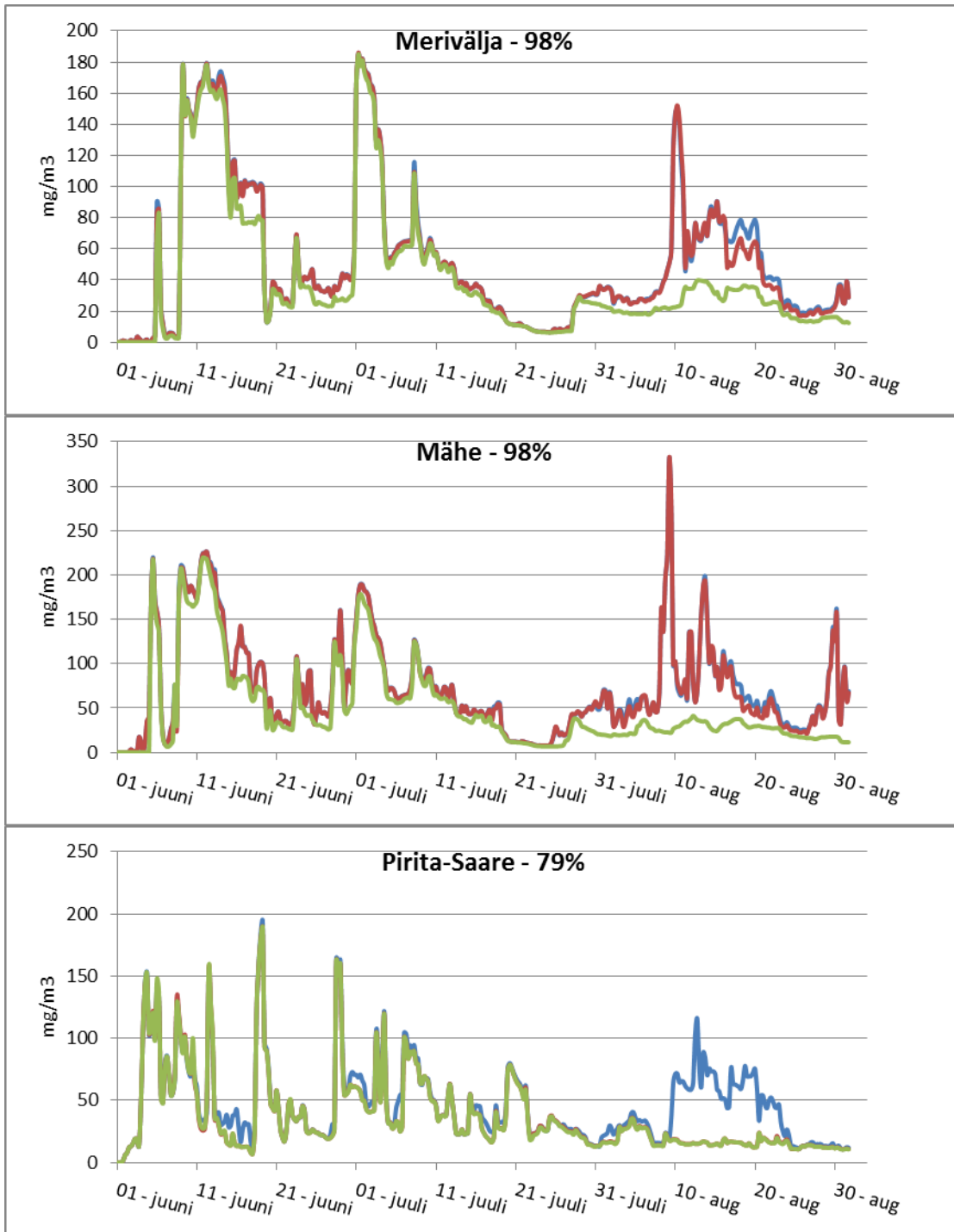
Pirita rannale ja Merivälja nurgale mõjusid meetmed vähe (7%) – eelkõige vähenes jällegi 12. augusti maksimum.

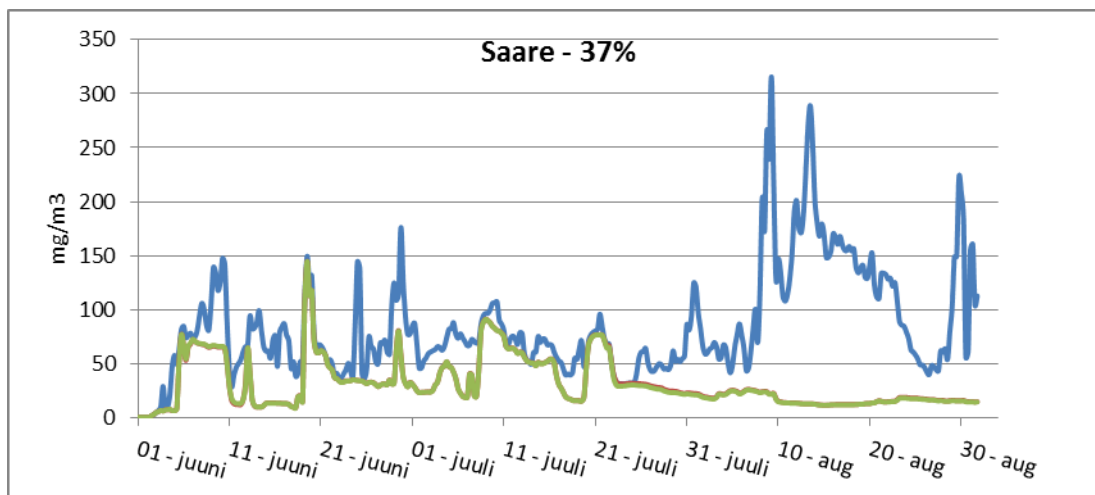
Nitraatide ja nitritite modelleerimise tulemused 2013. aasta suve jaoks on allpool (joonis 34).











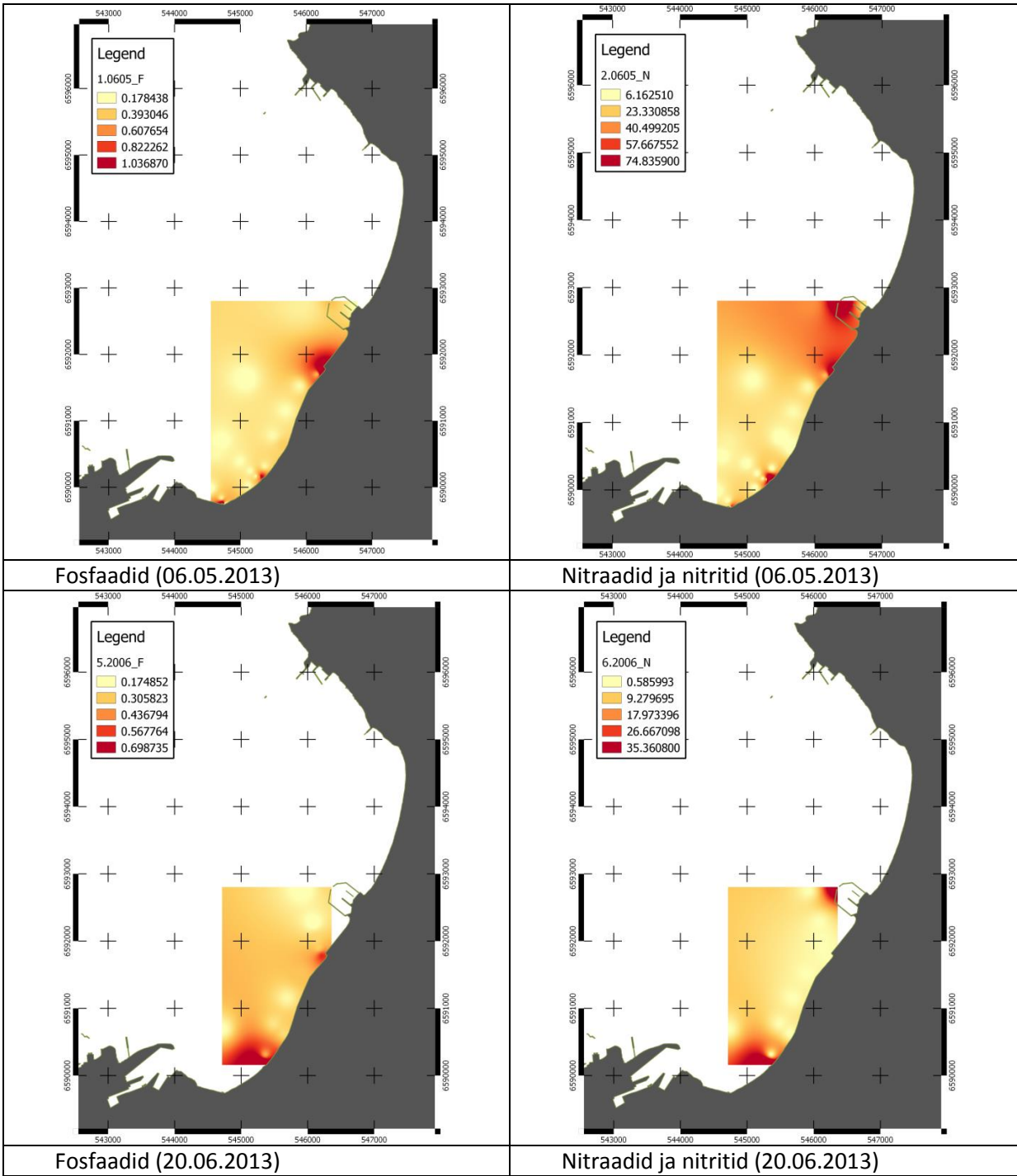
**Joonis 34.** Modelleeritud nitraatide ja nitritite kontsentratsioon merejaamades 2013. a. suvel. Sinine – olemasolev olukord; pruun – Ülemiste, Kadrioru ja Lasnamäe väljalasud viidud rannast eemale, Saare väljalask suletud; lisaks suletud ka Mähe oja ja Merivälja väljalask.

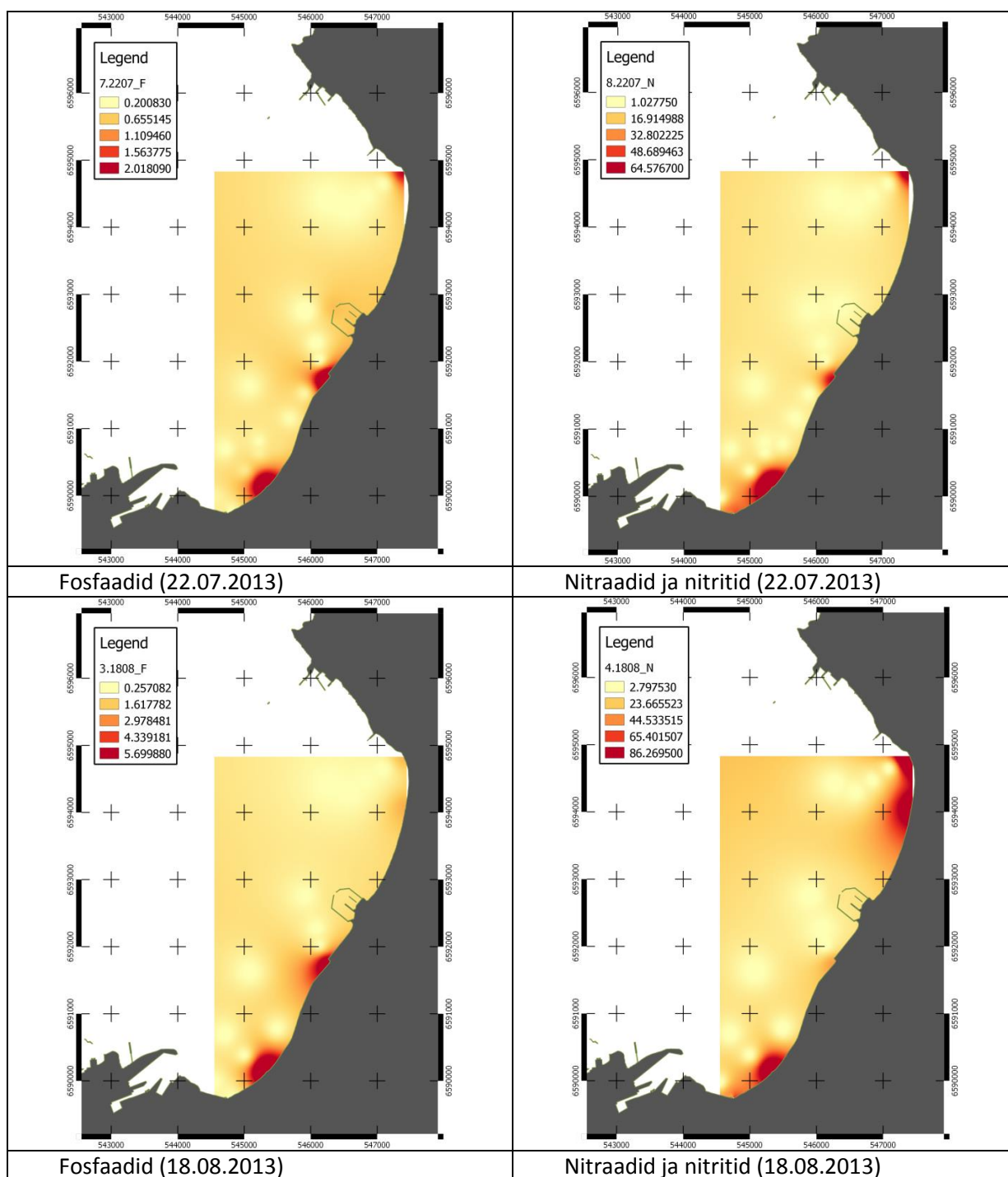
Meetmete rakendamisel on võimalik vähendada Lauluväljaku (jaam Lasnamäe) ja Russalka (jaam Ülemiste) rannas nitraatide ja nitritite kontsentratsioonimaksimume terve suurusjärgu ja üldist koormust ~70%. Merejaamas R1 on vähenemine samuti arvestatav (15%), eriti juulis ja augustis 2013. Samuti jäi olukord samaks Pirita rannas (Mähe oja) ja Merivälja sopis (Merivälja).

Saare nurga (Saare) seisukord paraneks märgatavalt (43%), Saare – Pirita jaamas on muutused tagasihoidlikumad (21%).

### 3.6. Mõõdetud toiteainete tase rannalähedases meres

Pirita - Russalka uuringualalt võeti mitmel korral ka merevee proove (22. juulil ja 8. augustil 2013 ka Merivälja uuringualal) ning analüüsiti neis nitraatide ja fosfaatide kontsentratsioone. Sellisel viisil saadi ka reaalsed (mudelile sarnased) toitainete jaotused uuringualal (joonis 35). Ka nendel reaalsete andmete alusel tehtud graafikutel joonistuvad selgelt välja nii sadevete väljalaskude kui Pirita jõe mõjuala.





**Joonis 35.** Fosfaatide (vasakul) ja nitraatide (paremal) reaalse jaotumine uuringualal; kontsentratsioonid on  $\text{mmol/m}^3$ .

Vast ehk kõige näitlikum on joonis 35b, millel on veenvalt näha, kuidas Pirita jõe mõju ulatub ka realselt nurga taha Saare soppi. Üldiselt on mõõdetud kontsentratsioonid ca suurusjärgu võrra madalamad modelleeritud kontsentratsioonidest, põhjuseks võib olla, et mudel ei võta arvesse laevalainetest tingitud segunemist.

Modelleerimise etapi kokkuvõtteks võib öelda, et kõige olulisem ja tõhusam on Lasnamäe, Kadrioru ja Ülemiste väljalaskude juhtimine süvamerre, ülejäänud meetmed mõjutavad olukorda väga vähesel määral. Samuti ei muutu meetme rakendamisel halvemaks avamere olukord, pigem hoopis paremaks – põhjuseks on põhiliselt põhjabatümeetria ja valdavate tuulte

koosmõjust tingitud põhjahoovuse püsiv suund rannast eemale (NNE) suuremate sügavuste poole (vt. joonis 45).

Alternatiivsed variandid oleksid sadevete juhtimine reovee kanalisatsiooni või nende eelnev puhastamine.

Esimene alternatiiv ei tule ilmselt kõne alla:

- on vastuolus kogu kehtiva veemajanduse strateegiaga;
- reovee kanalisatsioon ei võta nii suurt veekogust vastu;
- mere poolt vaadatuna jõuab sadevesi ikkagi muutumatuna merre, ainult läbi Paljassaare jaama;
- tekib juurde täiendav merereostuse oht, tänu võimalikkudele reovee ülejooksudele vihmaperioodidel.

Teine alternatiiv on võimalik, kuid tehnoloogiliselt keerukas ja kallis:

- veepuhastustehnoloogia on üldiselt väga kallis;
- vesi, mis väljalaskudest tuleb, on ilmselt reoveepuhastite jaoks liiga puhas (vastab väljundile) – Tallinna Veepuhustusjaam toodab samasugusest veest joogivett;
- sisendmahud on väga muutlikud;
- muutlik vooluhulk on probleem ka süvaveepumpla ehitamisel - arvestades et maksimaalne vooluhulk võib küündida kuni 800 L/s, minimaalne on ca 10 korda väiksem;
- lahenduseks on vahetiigi rajamine ja väiksema võimsusega pumpla ning peenema survetoru kasutamine, mis võimaldaks pumbal stabiilselt optimaalses režiimis toimida.

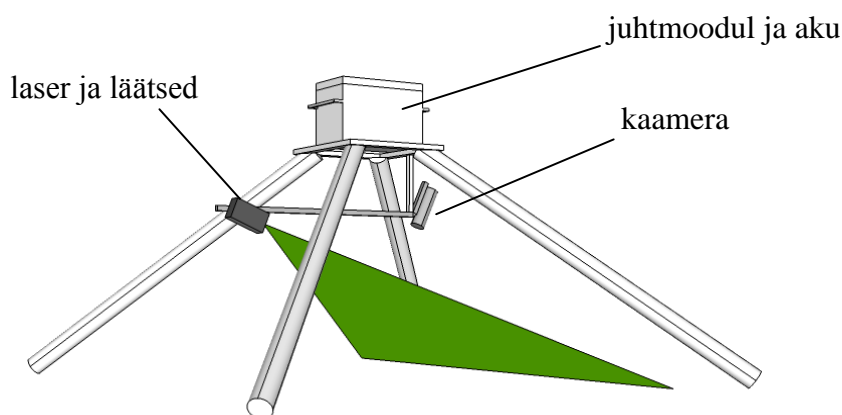
### **3.7. Veealune videosond ja vetikate edasikanne.**

#### **3.7.1. PIV-sondi ehitamine**

Käesoleva projekti käigus ehitati Tallinna Tehnikaülikooli Meresüsteemide Instituudi ja Biorobootika keskuse vahelises koostöös veealune kaamera (inglise keeles – Particle Image Velocimeter, “PIV”), mille abil on võimalik mõõta samaaegselt põhjalähedase veekihi suunatud liikumist, keeriseid ja hinnata settetransporti. Tegemist on mitte-intrusivse meetodiga, mis annab erinevalt teistest mõõteseadmetest rikkumatu ja täieliku pildi veekeskkonna dünaamikast. Tegemist on edasiarendusega 2010. aastal ehitatud autonoomsest veealusest videokaamerast, mille puhul on võetud arvesse esimeses versioonis esilekerkinud vigu.

Kaamera võimaldab jälgida liikumisi kahemõõtmelises tasapinnas, 0,8 m \* 0,8 m vaateväljas. Veega kaasaliikuvate hõljuvas olekus olevate setteosakeste valgustamiseks kasutatakse roheline valguskiirega laserit, mis on optiliste läätsedega muudetud lehvikuks tasapinnaks. Rohelise värvusega valguskiirus (532 nm) on eelnevate katsetuste põhjal määratud (2010. aastal ehitatud kaamera testimised) rannikumeres kõige efektiivsemini levivaks valguskiirguseks (erinevalt katsetatud punasest lainepikkusega 635 nm ja sinisest lainepikkusega 405 nm laserist, kõik võimsusega 10 mW), mille kiirgusallikat on võimalik tavatingimustel kaubandusest hankida. Kaamera on suunatud otse laserlehvikule ja selle kaugus lehvikust on järgvalt fikseeritud.

Videosond koosneb roostevabast terasest valmistatud kastist, mille sees asetsevad toiteaku, juhtseade ning salvesti. Kasti alla on kinnitatud terastala, mille ühes otsas paikneb videokaamera ja teises laserid, mis omakorda on ühendatud juhtseadmega läbi spetsiaalse merenduses kasutatava signaalkaabliga. Kogu süsteem paikneb neljal terasest tugijalal, mis asetsevad kasti suhtes nurga all suunaga kastist eemale. Videosondi kõrgus on 146 cm, külgede pikkus 190 cm ja kaal 60 kg. Seadme skeem on toodud alljärgneval joonisel (joonis 36) ja seadme olulisemad parameetrid tabelis 6.



**Joonis 36.** Veealuse videosondi skeem.

**Tabel 6.** Videosondi olulisemad parameetrid.

Parameeter	Väärtus
Kaamera maksimaalne resolutsioon	1280 * 1024 pikslit (SXGA, muudetav)
Kaadrisedus maksimaalse resolutsiooni korral	60 kaadrit sekundis (muudetav, sõltub kaamera resolutsioonist)
Aku mahutavus ja pinge	100 Ah, 12V
Fookuskaugus	30 cm kuni lõpmatus (reguleeritav)
Laser	Roheline (532 nm, 10 mW)

Videosondi eesmärk on salvestada põhjalähedases veekihis veega kaasa liikuvaid hõljuvaid osakesi, mida valgustatakse peene laserlehvikuga. Salvestatud videod lahutatakse üksikuteks kaadriteks ja iga järjestikune kaader jagatakse väikesteks osadeks (ingl. k. interrogation area), mille järel signaalitötluse, auto-korrelatsiooni või ristkorrelatsiooni abil arvutatakse igas väikeses jaotusalal detekteeritud osakeste asukoha muutusest keskmine nihe. Nihkevektoritest on võimalik arvutada kiirused ja leida muid vee liikumisega seotud parameetreid (keeriselisus, resultantkiiruste üksikud komponendid jt).

Videosondi salvestiste kvaliteet sõltub ümbritsevast valgusväljast, osakeste kontsentratsioonist, nende suuruselt ja samuti osakeste liikumiskiirusest, mille detekteerimine on limiteeritud videokaamera kaadrisagedusega. Samuti on oluline kaamerasüsteemi paigutus – jälgitavate osakeste liikumissuund peab olema paralleelne laserlehvikuga. Ristsuunas läbivaid osakesi ei ole võimalik analüüsida. Tegemist on täielikult autonoomse seadmega, mida on võimalik seadistada töötama nii kellaajaliselt (näiteks laevalainete uurimisel) kui ka teatud sagedusega. Sõltuvalt mõõtmisperioodi pikkusest võib videosond säilitada oma autonoomsuse kuni 1 kuu.

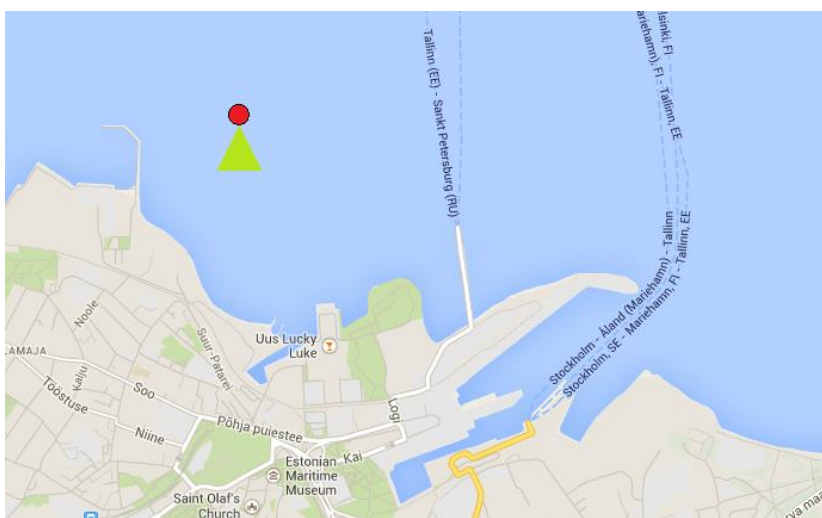
Sondi on võimalik mõõtmispunkti paigutada nii uurimislaevas oleva kraana abil kui ka käsitsi kummipaadist. Videosondi külge kinnitatakse köis, mille küljes asetseb lainetuse mõõtmiseks lainesond (Wave Recorder LM2, PTR Grupp), veealune poi ja lõpuks veepealne poi (joonis 37). Lainesond on vajalik võrdlusmaterjali olemasoluks ehk selle abil on võimalik identifitseerida laine tüüp (laevalaine, tormilaine jne).



**Joonis 37.** Mõõtmiseks ettevalmistatud videosond.

### 3.7.2. PIV tulemused.

Väljaarendamise järgus oleva veealuse kaameraga tehti mitmeid mõõtmisi, millest enamik õnnestusid (01 - 02.07.2013, 04.07.2013, 31.07 - 01.08.2013, 08.10.2013, 20 - 21.09.2013, 08 - 09.01.2014). Järgnevalt on toodud üks näide õnnestunud katsetusest, mis toimus ajavahemikul 31.07 - 01.08.2013 Lennusadama lähedasel merealal (joonis 38).



**Joonis 38.** Kaamera asukoht Lennusadama lähedal ja laserlehviku suund ( $59^{\circ}27'30.66''N$ ,  $24^{\circ}47'59.39''E$ , sügavus 9 m).

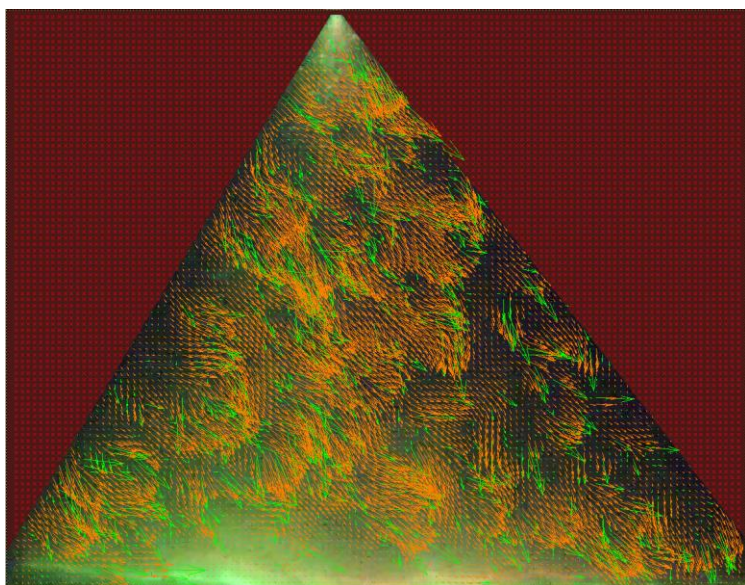


Salvestatud videotest oli väga hästi eristatavad erineva kiirusega liikumised. Samuti olid hea võimalus näha, kuidas setted teatud kiiruse juures põhjast lahti rebitakse ja veesambasse tõstetakse. Järgnevalt on toodud üks kaader salvestatud videost (joonis 39).



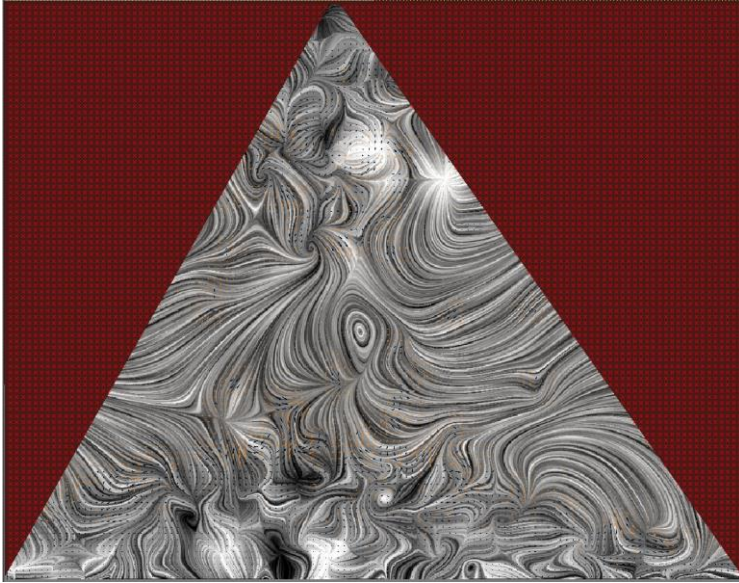
**Joonis 39.** Kaader videost (01.08.2013 kell 05:19:34).

Salvestatud videod jagati spetsiaalse programmi abil üksikuteks kaadriteks ja arvutati iga järjestikulise kaadri põhjal kiirusvektorid (joonis 40). Kuna alati ei ole veesambas piisavalt osakesi, siis selleks, et leida kogu määratava ala vee liikumised, tuletatakse olemasolevatest vektoritest (sõltuvalt nende suunast ja suuruselisest väärtusest) puuduolevad vektorid.



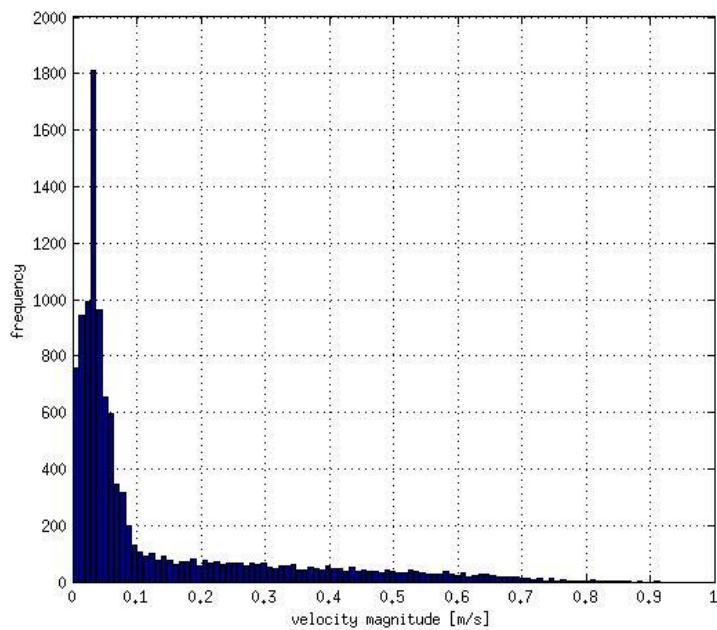
**Joonis 40.** Kahe kaadri põhjal leitud kiirusvektorid. Rohelised on detekteeritud, oranžid on tuletatud (integreeritud) vektorid.

Vee liikumistrajektoorie paremaks visualiseerimiseks on kiirusvektorite abil võimalik koostada spetsiaalne kaart (Line integral convolution) (joonis 41).

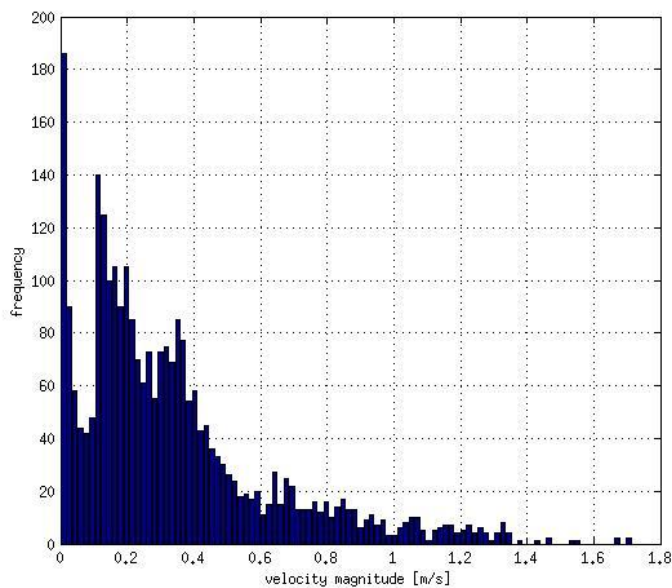


**Joonis 41.** Vee liikumistrajektooride visualiseerimine (Line integral convolution map).

Saadud kiirusvektorite kohta statistilist analüüsi tehes võib välja tuua kiiruste sagedusjaotused erinevate veekiiruste korral. Kiiruste vektoreid vaadeldakse resultantkiirustena, sest kahemõõtmelises ruumis (kaamera vaateväli) on vektoril 2 komponenti (x-telje ja y-telje suunaline komponent), resultantkiirus on nende vektoriaalne summa. Joonisel 42 on toodud resultantkiiruste sagedusjaotus rahulikul perioodil, kus lainetus on väike. Joonisel 43 on toodud näide laevalaine korral olevast resultantkiiruste jaotusest.

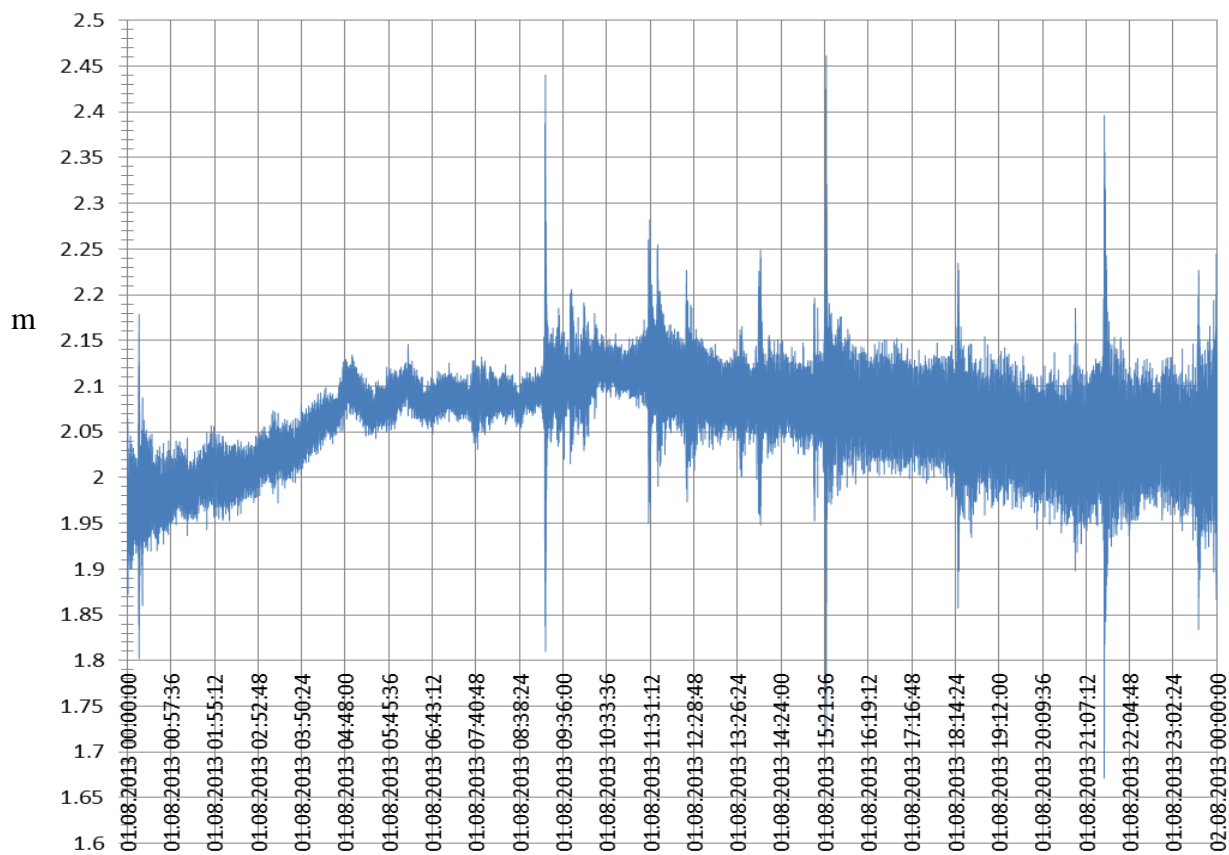


**Joonis 42.** Resultantkiiruste sagedusjaotuse tulpdiagramm rahulikul perioodil (01.08.2013 05:19:34).



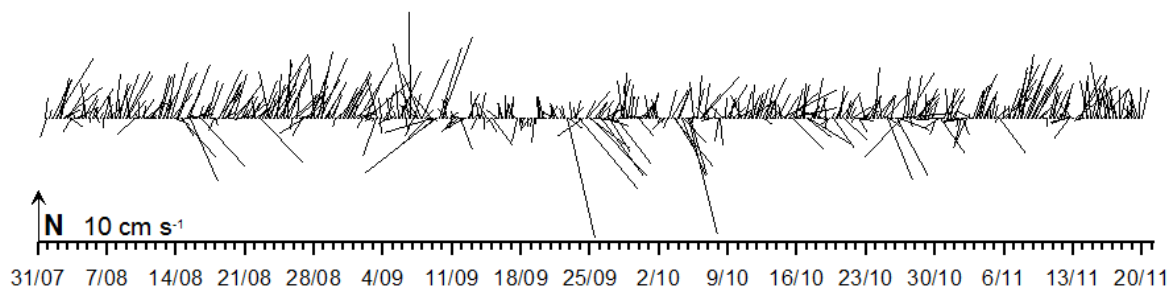
**Joonis 43.** Resultantkiiruste väärtuste sagedusjaotus laevalaine korral (01.08.2013 09:12:11).

Järgnevalt on toodud samaaegselt videosondiga lainepoi mõõtmistulemused (joonis 44). Noolega on märgitud kohad, mis vastavad eelnevatele kiiruste sagedusjaotustele (joonised 42 ja 43).



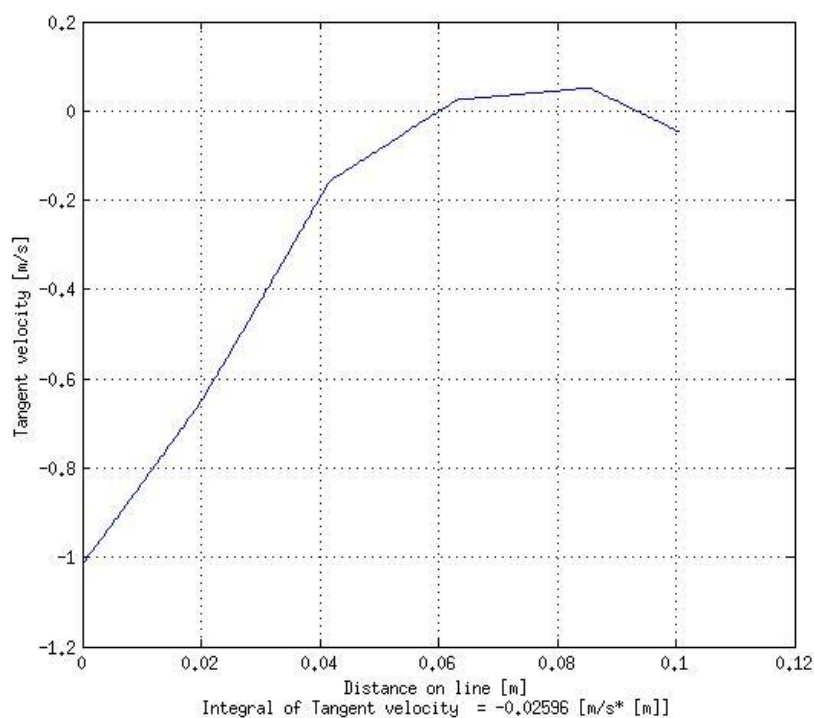
**Joonis 44.** Lainepoi mõõtmistulemuste graafik.

Võrreldes 2012. aasta suvel tehtud mõõtmistega, kui Pirita lähedasel alal mõõdeti akustilise Doppleri hoovuste profileerijaga veesamba kiirusi, kus maksimaalsed vee liikumise kiirused ulatusid 40 cm/s (joonis 45), võib järeldada, et käesoleva videosondiga mõõdetud tulemused on võrreldavad ja samas suurusjärgus eelnevate mõõtmistega.



**Joonis 45.** 2012.a. Pirita lähedasel alal mõõdetud põhjalähedased hoovuse kiirused (2 m põhjast).

Allpool näide üksikust detekteeritud keerisest (joonis 46), kust on näha, et mida kaugemale me keerisest läheme, seda suurem on tangentsiaalkiirus. Negatiivne kiirus tähendab keerise vastupäeva liikumist. X-teljel algab keerise välimisest äärest ja lõpeb keerise keskpunktiga.



**Joonis 46.** Keerise läbilõike tangentsiaalkiiruste graafik (puutuja suunaline kiiruskomponent).

Erinevate katsetuste käigus saadud tulemuste põhjal otsustades täitis videosond oma eesmärgi. Antud videosondiga on võimalik määrata põhjalähedases veekihi detekteeritud osakeste kiirusvektoreid, mille abil on võimalik iseloomustada põhjalähedaste liikumiste kiirust ja suunda antud punktis. Peab märkima, et tegemist on ühe kaameraga süsteemiga, mis on mõeldud ainult ühest kindlast suunast liikumiste detekteerimiseks. Katsetustega tuleb jätkata ja kalibreerimiseks kasutada paralleelselt mõnda teist juba kalibreeritud veekiiruste mõõtjat (näiteks akustilist Doppleri punktkiirusmõõtjat). Sarnased seadmed on maailmas levinud, kuid Soome lahes ja üldse Läänemeres on taolisi



mõõtesüsteeme vähe kasutatud (kirjandusallikate põhjal otsustades). Enamikel juhtudel kasutatakse sarnaseid vees olevate osakeste kiiruste määramiseks mõeldud kaameraid ainult laboratoorses tingimustes. Seda eelkõige seadme paigaldamise ja ehituse keerukusest tingituna. Esialgu on kasutatav videote analüüsimeetod aeganõudev, mistõttu on võimalik uurida ainult huvipakkuvaid kaadreid, mitte aga kogu videoklippi.

### 3.7.3. Vetikate edasikanne

Vetikamatid (joonis 47) – kohati küllaltki paksud - tekivad väljalaskude juurde, nad ei ole eriti ulatuslikud - vaid mõnisada ruutmeetrit.



**Joonis 47.** Vetikad merepõhjas (a) Lasnamäe väljalasus juures ja (b) Ülemiste väljalasus juures 26. septembril 2012.

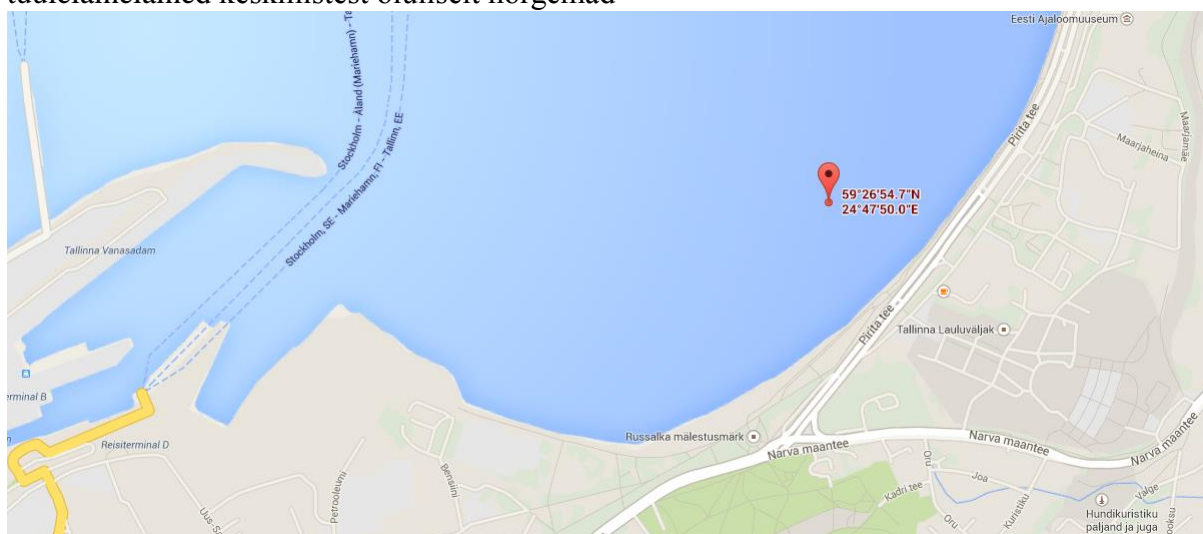
Väljalaskude juures koguneb neid massilisemalt ning eriti Ülemiste väljalasus vahetus läheduses (sügavusel ~0.5 m), kus merepõhi on kruusane on neil võimalus kinnituda ka mereüõhjale ning seetõttu kujuneb seal põhja paks vetikamatt, mis siis tormiga ka kaldale uhutakse (joonis 48). Halvem on olukord Saare väljalasus juures (joonis 49), kuhu, nagu ülalkirjeldatud mudelid ja allpool toodud videod tõestavad, koguneb kogu rannaala „toodang. Samuti uhutakse vetikad tänu laevalaineteja tuulehoovuste koosmõjule piki kogu randa Lasnamäe väljalasust kuni Pirita muulini.



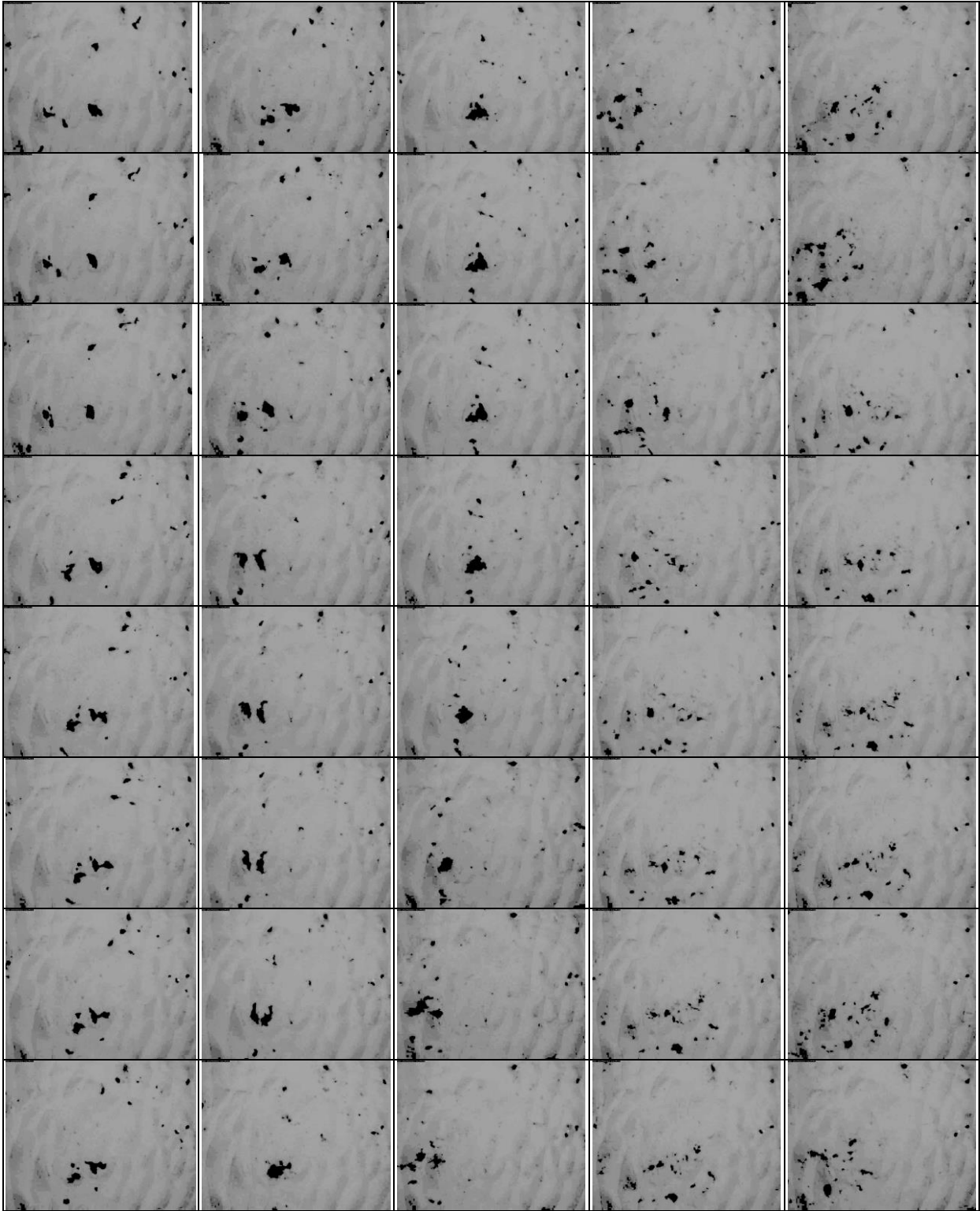
**Joonis 48.** Kaldale uhutud vetikad Ülemiste väljalasus juures.

**Joonis 49.** Vetikad Saare nurgas.

Vetikate liikumise visualiseerimiseks kasutati eelpoolkirjeldatud PIV-sondi tavalisest erineva seadistusega. Sond paigutati madalasse (murdlainetusega) merre (sügavus 1.7 m) ja kaamera suunati otse põhja peale (kaamera kõrgus põhjast 85 cm, kaadri mõõdud 50\*40 cm<sup>2</sup>) ja salvestati põhjas toimuvaid protsesse. Ilm oli üsna vaikne (2.5 m edelatuul) nii, et ilma laevalainete toimeta erilist liikumist põhjas märgata ei olnud. Vikung XPRS saabumisel sadamasse saabusid pinnal vaevumärgatavad kiilulained, mis põhjas siiski tekitasid küllatki tugeva tsirkulatsiooni – kuni 10 cm/s. Need lained kergitasid vetikatutid liivapõhja küljest lahti ning loksutasid neid (näiliselt) edasi-tagasi. Lähem analüüs kaaderhaaval (joonis51) osutas siiski ka suunatud nihkele – vetikakogum(id) nihkusid kaadri keskosast kaadri alumisse paremasse nurka, mis kaamera orientatsiooni arvestades tähendas nihkumist nii ranna kui Pirita suunas. See resultantnihe (ca 20 cm 40s jooksul) oli küll mere mastaapides tühine, aga kui arvestada see nt. keskmiseks kiiruseks (0.5 cm/s), siis võivad lahtised vetikad ka sellistes tingimustes mõne tunniga kaldale jõuda. Reaalselt olid antud katse ajal nii laeva- kui tuulelainelained keskmistest oluliselt nõrgemad



**Joonis 50.** Videosondi asukoht (kaugus laevateest 0,5 meremiili).

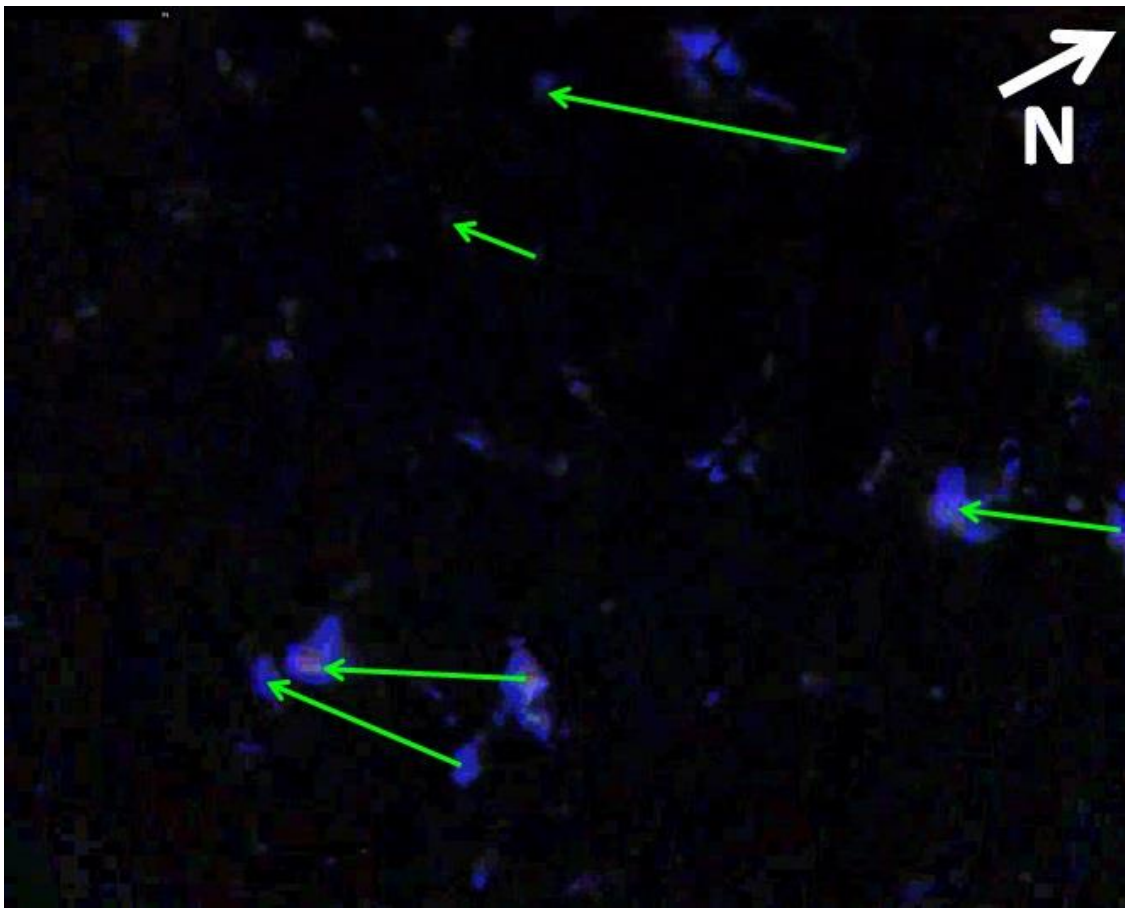


**Joonis 51.** Videosondiga salvestatud järjestikused kaadrid põhjakihis toimuvatest liikumistest (kaadri mõõtmed vastavalt 0,4 ja 0,6 meetrit, rand on vasakul). Kaadrid iga sekundi järel ülevalt alla ja siis vasakult paremale.





**Joonis 52.** Lainegeneraator - Tallinna Sadamasse suunduv parvlaev “Viking Line.”



**Joonis 53.** Veealuse videosondiga salvestatud parvlaeva “Viking Line” esimese käigulaine poolt põhjustatud põhjalähedane setteosakeste nihe, kus osakeste arvutuslikuks kiiruseks 1,7 meetri sügavusel oli 10,2 cm/s (ranna suunas). Valge nool osutab põhja suunda.

Laevalainete põhiline mõju avaldub vetikate ja setteosakeste lahtirebimises merepõhjast ja veesambasse paiskamises. Transport ja kuhjumine on põhjustatud pigem rannalähedastest hoovustest ja tuulelainetest.

Mõõdeti ka resuspendeeritud settevoogusid horisontaalse settepüüdjaga (joonis...). Voogudeks saadi ranna suunas  $0.075 \text{ g m}^{-2}\text{h}^{-1}$ , mere suunas  $0,055 \text{ g m}^{-2}\text{h}^{-1}$ , Pirita suunas  $0.41 \text{ g m}^{-2}\text{h}^{-1}$  ja vanasadama suunas  $0.6 \text{ g m}^{-2}\text{h}^{-1}$ , seega Pirita suunaline transport oli ca suurusjärgu suurem, kui ülejäänud suundades.



**Joonis 54.** Horisontalne settepüüdja tööolukorras.

Reaalselt olid antud katse ajal nii laeva- kui tuulelainelained keskmistest oluliselt nõrgemad. Kokkuvõtteks, lahtiste ja põhjast lahti rebitavate vetikate transport toimub ranna suunas ning valdavate (läänekaare) tuultega ka Pirita suunas, kusjuures põhiline vetikate produktsioon toimub just rannikuala Vana-Sadama poolses otsas (Ülemiste ja Lasnamäe väljalasud), s.t., et igasuguste vee liikumist takistavate rajatiste ehitamine merre, tekitab uue kontsentreerumisala, nagu seda on tekitanud ka olemasolev Pirita sadama kaid ja muulid. Pigem võib kaaluda vetikate kokkukogumist seal kus nad põhiliselt tekivad (Ülemiste ja Lasnamäe väljalasud) või kuhu nad kogumnevad (Saare nurk) – need alad on sileda, põhiliselt liivapõhjaga, suuri kive esineb vaid Saare nurgas, kuid mitte väga tihedalt.

## 4. Järeldused

1. Vetikamatid – kohati küllaltki paksud - tekivad väljalaskude juurde, nad ei ole eriti ulatuslikud - vaid mõnisada ruutmeetrit-, aga nad ei ole kuigi tugevalt merepõhja külge kinnitunud ja viiakse sealt lainetega edasi piki randa.
2. Vetikate vohamise üheks põhjuseks on sadevete väljalaskudest ja Pirita jõest tulev toiteaineterikas vesi.
3. Toiteainete kontsentratsioonid avalahe põhjalähedases veekihis ei ole suuremad, kui pealolevas veesambas.
4. Jääkreostust, milline võiks põhjustada vetikate vohamist või haisu, põhjasetetes ei avastatud.
5. Toiteainete vood sõltuvad oluliselt sademetest – kontsentratsioonid sadevetes jäävad sademetega samaks (fosfaadid) või kasvavad oluliselt (nitraadid).
6. Vesi on rannas (tänu laevalainetele?) hästi segunenud – toiteainete kontsentratsioonid ühtlustuvad väljalasust eemaldudes kiirelt avamere tasemeni.
7. Mudelarvutused näitavad, et
  - Pirita-Russalka lõigu olukord paraneks oluliselt, kui seal oleval väljalasud sulgeda või juhtida sügavamale merre;
  - Merivälja väljalasud sulgemine ilmselt probleemi ei lahendaks, kuna sinna pöördub nii lääne- kui lõunatuulega Pirita jõe (95% kogukoormusest) keel;
  - Merivälja väljalasud vooluhulk ja sellega kaasnevad toiteainete vood on tühised võrreldes nii jõega, kui ka Lasnamäe ja Ülemiste väljalaskudega; kaugemale merre juhtimisel väheneb toiteainete sisaldus rannalähedases meres (kuni 2 m sügavust) kuni suurusjärgu;
  - meres, kaugusel kuhu sadeveed juhitaks (~1 km rannast) olulist lisakoormust ei tekiks.
8. Optimaalseks lahenduseks on Lasnamäe ja Ülemiste väljalaskude ühendamine ja pumpamine sügavamale merre – see peaks olema oluliselt odavam, kui suhteliselt puhta (Ülemiste järveveele sarnase) vee täiendav puhastamine.
9. kaaluda võib ka vetikamattide mehaanilist eemaldamist vahetult väljalaskude ümbrusest ja Saare nurgast.
10. Saare väljalasud (väga väikese vooluhulgaga) võiks suunata reovee kanalisatsiooni või Pirita jõkke, sõltuvalt sellest kumb variant odavam on.
11. Käesolevas töös kasutatud vooluhulgad on arvutuslikud ja võivad tegelikest oluliselt erineda, seetõttu on enne reaalse projekteerimise ja ehitamise alustamist hädavajalik mõõta vooluhulkasid ning täpsustada arvutusmeetodikat.

**Lisa 1. Veeproovide analüüsitulemused.**

Kuupäev	Proovivõtu koht	nitraat, µg N/l	nitraat, µmol N/l	fosfaat, µg P/l	fosfaat, µmol P/l	Üldlämm, µg N/l	üldlämm, µmolN/l	üldfosfor/ µg P/l	üldfosfor, µmol P/l
06/05/2013	12	31.0	2.21	5.75	0.19				
22/07/2013	48	<LoD	0.00	5.77	0.19				
22/07/2013	49	<LoD	0.00	9.67	0.31				
26/09/2012	52	40.96	2.93	10.53	0.34	158.3	11.31	7.85	0.25
26/09/2012	64	19.65	1.40	8.67	0.28	166.6	11.90	25.88	0.83
03/10/2012	201	83.80	5.99	8.23	0.27	421.9	30.13	9.41	0.30
22/07/2013	213	<LoD	0.00	4.53	0.15				
18/08/2013	213	9.36	0.67	5.11	0.16				
22/07/2013	215	<LoD	0.00	5.23	0.17				
18/08/2013	215	9.96	0.71	6.75	0.22				
22/07/2013	217	<LoD	0.00	5.92	0.19				
18/08/2013	217	3.14	0.22	5.61	0.18				
03/10/2012	218	108.5	7.75	10.77	0.35	484.0	34.57	24.54	0.79
03/10/2012	230	140.6	10.04	12.80	0.41	409.4	29.24	21.01	0.68
03/10/2012	232	158.5	11.32	12.59	0.41	301.0	21.50	15.62	0.50
08/11/2012	J1 pind	353.7	25.26	25.62	0.83				
08/11/2012	J1 põhi	127.9	9.14	20.77	0.67				
07/02/2013	J1/1	75.73	5.41	17.14	0.55	-	-	-	-
07/02/2013	J1/2	64.52	4.61	15.54	0.50	-	-	-	-
07/02/2013	J1/3	118.65	8.48	48.98	1.58	-	-	-	-
08/11/2012	J1_3	78.10	5.58	15.15	0.49				
08/11/2012	J1_7	104.2	7.44	49.84	1.61				
07/02/2013	J1_pind	80.40	5.74	15.40	0.50				
08/11/2012	J1-2_3	99.66	7.12	18.16	0.59				
08/11/2012	J1-3_3	98.64	7.05	17.83	0.58				
08/11/2012	J1-3_4-6	123.2	8.80	62.43	2.01				
08/11/2012	J2 pind	275.7	19.69	22.84	0.74				
08/11/2012	J2 põhi	73.77	5.27	16.95	0.55				
08/11/2012	J2-1_3	90.48	6.46	23.24	0.75				
08/11/2012	J2-1_4-5	170.7	12.19	85.02	2.74				
08/11/2012	J2-2_3	87.57	6.25	23.71	0.76				
16/09/2012	J25 B	7.08	0.51	5.47	0.18				
16/09/2012	J25 pind	8.88	0.63	4.88	0.16				
16/09/2012	J27	12.84	0.92	5.89	0.19				
16/09/2012	J28	8.32	0.59	4.61	0.15				
08/11/2012	J3 pind	528.5	37.75	29.28	0.94				
08/11/2012	J3 põhi	61.50	4.39	14.37	0.46				
16/09/2012	J30	6.64	0.47	4.28	0.14				
16/09/2012	J31	13.70	0.98	7.18	0.23				
08/11/2012	J3-1_3	71.07	5.08	15.30	0.49				
08/11/2012	J3-2_3	70.39	5.03	17.80	0.57				
08/11/2012	J3-2_4-6	159.2	11.37	113.3	3.66				
08/11/2012	J3-3_3	80.71	5.77	16.55	0.53				
08/11/2012	J4 pind	52.50	3.75	18.08	0.58				
08/11/2012	J4 põhi	40.81	2.91	13.18	0.43				
08/11/2012	J4-1_3	70.92	5.07	16.10	0.52				
08/11/2012	J4-1_4	72.17	5.15	82.27	2.65				
08/11/2012	J4-2_3	32.83	2.35	8.26	0.27				

08/11/2012	J5 pind	50.18	3.58	14.46	0.47				
08/11/2012	J5 põhi	77.34	5.52	16.58	0.53				
08/11/2012	J5-1_3	53.89	3.85	22.46	0.72				
04/09/2012	JR1 pind	95.60	6.83	10.29	0.33				
04/09/2012	JR1 põhi	8.03	0.57	4.56	0.15				
04/09/2012	JR2 pind	18.19	1.30	5.77	0.19				
04/09/2012	JR2 põhi	8.17	0.58	4.61	0.15				
04/09/2012	JR3 pind	41.96	3.00	6.08	0.20				
04/09/2012	JR3 põhi	18.38	1.31	6.28	0.20				
04/09/2012	JR4 pind	3.90	0.28	3.51	0.11				
04/09/2012	JR4 põhi	7.00	0.50	4.18	0.13				
06/05/2013	Kadriorg	922.9	65.92	2.18	0.07	1520	108.6	12.95	0.42
11/06/2013	Kadriorg	611.6	43.68	10.53	0.34	755.3	53.95	26.53	0.86
25/06/2013	Kadriorg	360.4	25.74	26.77	0.86	807.7	57.69	90.54	2.92
03/07/2013	Kadriorg	656.1	46.86	4.70	0.15	1150	82.14	10.47	0.34
11/07/2013	Kadriorg	584.8	41.77	3.26	0.11	969.0	69.2	9.78	0.32
22/07/2013	Kadriorg	635.5	45.39	2.48	0.08	1080	77.1	8.18	0.26
09/08/2013	Kadriorg	831.2	59.37	16.66	0.54	1490	106.4	31.53	1.02
18/08/2013	Kadriorg	970.0	69.29	2.88	0.09	1810	129.3	13.97	0.45
06/05/2013	L1_0,3m	354.2	25.30	13.66	0.44				
06/05/2013	L10	298.1	21.30	15.13	0.49				
06/05/2013	L11	16.8	1.20	5.42	0.17				
06/05/2013	L13	36.3	2.59	6.26	0.20				
22/07/2013	L14	<LoD	0.00	8.60	0.28				
18/08/2013	L14	3.22	0.23	5.48	0.18				
06/05/2013	L14_2,2m	11.1	0.79	3.78	0.12				
18/08/2013	L15	51.65	3.69	10.23	0.33				
20/06/2013	L2	5.59	0.40	9.88	0.32	-	-	-	-
22/07/2013	L2	<LoD	0.00	8.45	0.27				
06/05/2013	L2_0,9m	106.5	7.61	7.17	0.23				
06/05/2013	L2_0,9m	105.6	7.55	5.76	0.19				
20/06/2013	L3	4.02	0.29	6.04	0.19	-	-	-	-
22/07/2013	L3	<LoD	0.00	6.46	0.21				
06/05/2013	L3_1,1m	97.5	6.97	5.27	0.17				
20/06/2013	L4	6.43	0.46	7.33	0.24	-	-	-	-
18/08/2013	L4	3.86	0.28	6.31	0.20				
06/05/2013	L4_0,6m	7.0	0.50	5.79	0.19				
22/07/2013	L4_1,1m	<LoD	0.00	13.73	0.44				
20/06/2013	L5	0.70	0.05	7.91	0.26	343.9	24.56	15.53	0.50
06/05/2013	L5_0,8m	21.7	1.55	11.79	0.38				
06/05/2013	L6	20.4	1.46	6.28	0.20				
20/06/2013	L6-1	0.54	0.04	11.53	0.37	170.1	12.15	18.38	0.59
22/07/2013	L7	<LoD	0.00	11.84	0.38				
18/08/2013	L7	11.71	0.84	6.54	0.21				
06/05/2013	L7_3,6m	17.2	1.23	4.97	0.16				
22/07/2013	L71	<LoD	0.00	10.41	0.34				
18/08/2013	L71	4.10	0.29	5.93	0.19				
18/08/2013	L72	3.29	0.23	5.07	0.16				
22/07/2013	L78	<LoD	0.00	6.32	0.20				
06/05/2013	L8_?	17.4	1.24	4.79	0.15				
06/05/2013	L9	30.8	2.20	5.86	0.19				
06/05/2013	Lauluväljak	2840	202.86	35.94	1.16	4330	309.3	66.40	2.14
20/06/2013	Lasnamäe	1893	135.2	63.96	2.06	-	-	-	-
26/06/2013	Lauluväljak	958.3	68.45	1228	39.62	16828	1202	1571	50.68
03/07/2013	Lasnamäe	1670.0	119.29	309.20	9.97	6850	489.3	414.7	13.38
11/07/2013	Lasnamäe	1940	138.57	111.9	3.61	3250	232.1	193.3	6.23
22/07/2013	Lasnamäe	2400	171.4	115.43	3.72	4420	315.7	133.0	4.29
09/08/2013	Lasnamäe	2250	160.7	769.66	24.83	16400	1171	964.2	31.10
18/08/2013	Lasnamäe	1950	139.29	346.1	11.17	2850	203.6	758.0	24.45

16/09/2013	Lasnamäe	2260	161.4	149.5	4.82	-	-	-	-
11/06/2013	Lasnamäe meri	61.72	4.41	25.45	0.82	664.7	47.48	44.30	1.43
08/11/2012	Lauluv meri	1650	117.9	45.70	1.47	1800	128.6	41.75	1.35
23/11/2012	Lauluv_I	2630	187.9	13.90	0.45	3060	218.6	20.96	0.68
23/11/2012	Lauluv_II	2530	180.7	10.57	0.34	3170	226.4	21.89	0.71
23/11/2012	Lauluv_III	2740	195.7	14.19	0.46	2520	180.0	15.46	0.50
27/09/2012	Lauluväljaku sissejooks	2170	155.0	119.0	3.84	2630	187.9	123.1	3.97
26/09/2012	Lauluväljaku sissejooks (kolmiktoru)	3210	229.3	57.55	1.86	4070	290.7	64.70	2.09
28/09/2012	Lillepi sissejooks	2360	168.6	88.80	2.86	2690	192.1	132.0	4.26
10/05/2013	Mähe	1780	127.1	85.17	2.75	2420	172.9	129.0	4.16
03/07/2013	Mähe	1100.0	78.57	108.28	3.49	1750	125.0	171.6	5.53
09/08/2013	Mähe	1340	95.71	72.83	2.35	2130	152.1	120.1	3.87
11/06/2013	Mähe oja	1061	75.75	10.81	0.35	1774	126.7	85.60	2.76
25/06/2013	Mähe oja	870.8	62.20	86.84	2.80	1615	115.4	132.3	4.27
18/08/2013	Mähe oja	1660	118.6	68.36	2.21	2160	154.3	105.9	3.42
23/11/2012	Meriv	1520	108.6	14.21	0.46	2940	210.0	21.06	0.68
08/11/2012	Meriv sisse	3490	249.3	40.64	1.31	3990	285.0	45.29	1.46
10/05/2013	Merivälja	3500	250	44.83	1.45	3790	270.7	76.35	2.46
11/06/2013	Merivälja	2396	171.1	27.83	0.90	2821	201.5	47.61	1.54
25/06/2013	Merivälja	1890	135.0	87.75	2.83	2640	188.6	118.2	3.81
03/07/2013	Merivälja	1720.0	122.86	76.56	2.47	1880	134.3	94.13	3.04
11/07/2013	Merivälja	1110	79.29	69.28	2.23	1420	101.4	82.62	2.67
22/07/2013	Merivälja	1140	81.43	63.34	2.04	1240	88.6	94.44	3.05
09/08/2013	Merivälja	2880	205.7	38.73	1.25	3190	227.9	73.48	2.37
18/08/2013	Merivälja	3110	222.1	61.80	1.99	3010	215.0	102.3	3.30
16/09/2013	Merivälja	1120	80.00	69.44	2.24	-	-	-	-
12/07/2012	Merivälja muul	2.37	0.17	7.78	0.25	258.4	18.45	10.72	0.35
31/07/2012	Merivälja sissejooks	2780	198.6	75.84	2.45	3340	238.6	111.0	3.58
27/08/2012	Merivälja sissejooks	3320	237.1	79.89	2.58	3810	272.1	150.5	4.85
05/09/2012	Merivälja sissejooks	4240	302.9	41.34	1.33	4390	313.6	76.86	2.48
28/09/2012	Merivälja sissejooks	3980	284.3	80.21	2.59	4680	334.3	150.7	4.86
06/05/2013	P. kai nurk	175.0	12.50	5.33	0.17	421.8	30.13	8.38	0.27
22/07/2013	Pirita	<LoD	0.00	22.56	0.73	322.9	23.1	35.47	1.14
06/05/2013	Pirita jõgi	2100	150.0	13.30	0.43	-	-	-	-
11/06/2013	Pirita jõgi	713.3	50.95	61.25	1.98	1164	83.13	27.17	0.88
20/06/2013	Pirita jõgi	770.3	55.02	8.38	0.27	-	-	-	-
24/06/2013	Pirita jõgi	825.7	58.98	9.07	0.29	1589	113.5	27.02	0.87
25/06/2012	Pirita jõgi	1370	97.86	41.37	1.33	1950	139.3	67.73	2.18
06/07/2012	Pirita jõgi	854.7	61.05	38.60	1.25	1850	132.1	62.93	2.03
03/07/2013	Pirita	651.7	46.55	14.42	0.47	1090	77.86	29.33	0.95
12/07/2012	Pirita jõgi	726.3	51.88	32.36	1.04	1040	74.29	48.51	1.56
15/07/2012	Pirita jõgi	789.0	56.36	37.22	1.20	1410	100.7	59.67	1.92
18/07/2012	Pirita jõgi	998.7	71.34	34.73	1.12	1860	132.9	53.42	1.72
24/07/2012	Pirita jõgi	1040	74.29	33.51	1.08	2220	158.6	62.93	2.03
18/08/2013	Pirita jõgi	175.7	12.55	28.04	0.90	639.3	45.7	31.49	1.02
09/08/2013	Pirita	1.61	0.11	26.44	0.85	675.3	48.2	53.17	1.72
08/11/2012	Pirita j	2440	174.3	30.13	0.97	3310	236.4	50.41	1.63
31/07/2012	Pirita jõgi	791.7	56.55	33.67	1.09	1550	110.7	60.84	1.96
05/09/2012	Pirita jõgi	1110	79.29	35.41	1.14	2050	146.4	54.26	1.75
28/09/2012	Pirita jõgi	1630	116.4	32.46	1.05	2470	176.4	54.54	1.76

12/07/2012	Pirita muul	7.60	0.54	9.77	0.32	422.6	30.19	14.10	0.45
06/05/2013	R1	139.6	9.97	3.76	0.12				
20/06/2013	R1	0.98	0.07	4.99	0.16	232.6	16.62	9.57	0.31
01/07/2013	R1	3.5	0.25	6.13	0.20				
22/07/2013	R1	<LoD	0.00	5.40	0.17				
18/08/2013	R1	1.84	0.13	3.50	0.11				
05/07/2012	R1 1m	0.89	0.06	3.20	0.10				
18/07/2012	R1 1m	1.49	0.11	6.16	0.20				
31/07/2012	R1 2m	2.78	0.20	5.07	0.16				
31/07/2012	R1 6m	4.18	0.30	6.90	0.22				
05/07/2012	R1 7m	0.84	0.06	2.91	0.09				
18/07/2012	R1 7m	0.83	0.06	3.51	0.11				
01/07/2013	R1_1m	3.6	0.25	7.94	0.26				
01/07/2013	R1_2m	1.5	0.11	6.24	0.20				
01/07/2013	R1_3,8m	0.0	0.00	5.01	0.16				
01/07/2013	R1_5m	1.2	0.09	4.29	0.14				
01/07/2013	R1_8m	2.2	0.16	9.77	0.32				
22/07/2013	R2	<LoD	0.00	5.95	0.19				
18/08/2013	R2	2.75	0.20	4.91	0.16				
18/07/2012	R2 1 m	0.96	0.07	7.85	0.25				
05/07/2012	R2 12m	1.07	0.08	4.94	0.16				
05/07/2012	R2 1m	0.87	0.06	3.22	0.10				
31/07/2012	R2 2m	2.18	0.16	7.59	0.24				
18/07/2012	R2 8m	0.84	0.06	4.89	0.16				
06/05/2013	R2_17m	59.6	4.26	3.33	0.11				
20/06/2013	R3	2.68	0.19	4.46	0.14	-	-		-
22/07/2013	R3	<LoD	0.00	3.60	0.12				
18/08/2013	R3	4.17	0.30	5.98	0.19				
31/07/2012	R3 ?m	1.80	0.13	6.95	0.22				
31/07/2012	R3 ?m	2.30	0.16	6.22	0.20				
18/07/2012	R3 12m	3.53	0.25	5.40	0.17				
31/07/2012	R3 13,5m	2.31	0.16	10.45	0.34				
05/07/2012	R3 13m	0.79	0.06	2.81	0.09				
05/07/2012	R3 1m	38.24	2.73	5.28	0.17				
18/07/2012	R3 1m	2.21	0.16	10.96	0.35				
31/07/2012	R3 2m	2.43	0.17	5.75	0.19				
06/05/2013	R3_10m	1710	122.1	10.18	0.33				
20/06/2013	R31	0.68	0.05	4.09	0.13	-	-		-
22/07/2013	R31	<LoD	0.00	3.71	0.12				
18/08/2013	R31	5.47	0.39	3.80	0.12				
06/05/2013	R3-1	106.2	7.58	3.00	0.10				
20/06/2013	R32	4.57	0.33	8.39	0.27	-	-		-
22/07/2013	R32	<LoD	0.00	4.43	0.14				
18/08/2013	R32	17.87	1.28	7.65	0.25				
06/05/2013	R3-2_2,2m	357.2	25.52	4.79	0.15				
20/06/2013	R33	2.90	0.21	9.05	0.29	87.44	6.25	6.86	0.22
06/05/2013	R3-3_1,2m	224.5	16.03	6.11	0.20				
20/06/2013	R34	4.26	0.30	19.01	0.61	-	-		-
06/05/2013	R3-4_0,3m	370.0	26.43	12.33	0.40				
22/07/2013	R4	<LoD	0.00	4.80	0.15				
18/08/2013	R4	2.66	0.19	5.69	0.18				
12/07/2012	Russalka meri	2.54	0.18	6.26	0.20	500.5	35.75	20.26	0.65
15/07/2012	Russalka meri	91.31	6.52	31.40	1.01	461.6	32.97	60.31	1.95
18/07/2012	Russalka meri	56.29	4.02	24.88	0.80	461.2	32.94	52.84	1.70
31/07/2012	Russalka meri	10.48	0.75	19.88	0.64	219.8	15.70	23.74	0.77
08/11/2012	Russalka meri	702.5	50.18	21.63	0.70	1150	82.14	25.71	0.83
08/11/2012	Russalka sisse	759.5	54.25	13.16	0.42	1590	113.6	35.89	1.16
14/05/2012	Russalka suur sissejooks	3460	247.1	11.92	0.38	5240	374.3	48.03	1.55



25/06/2012	Russalka suur sissejooks	1730	123.6	16.79	0.54	2930	209.3	57.11	1.84
06/07/2012	Russalka suur sissejooks	754.7	53.91	12.88	0.42	6570	469.3	44.02	1.42
12/07/2012	Russalka suur sissejooks	548.2	39.16	23.71	0.76	1750	125.0	91.31	2.95
15/07/2012	Russalka suur sissejooks					570.5	40.75	50.60	1.63
18/07/2012	Russalka suur sissejooks	2310	165.0	8.37	0.27	4770	340.7	41.32	1.33
24/07/2012	Russalka suur sissejooks	1010	72.14	19.27	0.62	1860	132.9	59.44	1.92
31/07/2012	Russalka suur sissejooks	944.8	67.49	31.73	1.02	2520	180.0	64.47	2.08
27/08/2012	Russalka suur sissejooks	325.0	23.21	26	0.84	898.8	64.20	73.05	2.36
04/09/2012	Russalka suur sissejooks	744.8	53.20	29.21	0.94	1510	107.9	67.16	2.17
27/09/2012	Russalka suur sissejooks	1030	73.57	40.97	1.32	1770	126.4	83.57	2.70
28/09/2012	Russalka suur sissejooks	1360	97.14	41.14	1.33	2110	150.7	70.64	2.28
25/06/2012	Russalka väike sissejooks	77.26	5.52	37.91	1.22	992.2	70.87	145.4	4.69
11/06/2013	Saare	1106	78.98	50.17	1.62	1821	130.1	82.48	2.66
25/06/2013	Saare	1440	102.8	134.7	4.34	2341	167.2	215.9	6.97
03/07/2013	Saare	1180.0	84.29	122.57	3.95	1800	128.6	138.0	4.45
11/07/2013	Saare	1020	72.86	113.6	3.66	1960	140.0	165.3	5.33
22/07/2013	Saare	912.8	65.20	125.51	4.05	1640	117.1	176.4	5.69
09/08/2013	Saare	5120	365.7	189.82	6.12	6770	483.6	209.1	6.75
18/08/2013	Saare	541.5	38.68	249.2	8.04	2520	180.0	231.3	7.46
16/09/2013	Saare	758.3	54.16	352.4	11.37	-	-	-	-
23/11/2012	Saare	1680	120.0	45.61	1.47	2270	162.1	84.02	2.71
31/07/2012	Saare nurk	4.05	0.29	205.5	6.63	796.3	56.88	322.0	10.39
06/05/2013	Saare nurk	1630	116.4	67.47	2.18	2760	197.1	110.7	3.57
08/11/2012	Saare sisse	2090	149.3	77.97	2.52	3030	216.4	149.4	4.82
06/05/2013	Russalka	149.7	10.69	54.07	1.74	9670	690.7	162.3	5.24
11/06/2013	Ülemiste	336.4	24.03	13.96	0.45	1452	103.7	40.67	1.31
25/06/2013	Ülemiste	502.5	35.89	85.10	2.75	2351	167.9	122.5	3.95
03/07/2013	Ülemiste	464.9	33.21	14.79	0.48	1440	102.9	32.16	1.04
11/07/2013	Ülemiste	394.2	28.16	27.16	0.88	1380	98.6	99.78	3.22
22/07/2013	Ülemiste	507.2	36.23	12.77	0.41	1240	88.6	29.00	0.94
09/08/2013	Ülemiste	1530	109.3	18.77	0.61	2880	205.7	62.30	2.01
18/08/2013	Ülemiste	463.5	33.11	15.07	0.49	1080	77.1	44.77	1.44
16/09/2013	Ülemiste	445.4	31.82	16.54	0.53	-	-	-	-

## Lisa 2. Setteproovide analüüsitulemused.

Jaam	Laiuskraad	Pikkuskraad	Sügavus (m)	Settetüüp	D50 (µm)
1	59.44589966	24.77886058	3.8	Peen liiv	93.07
2	59.44725664	24.77888701	5.4	Saviliiv	82.23
3	59.44861357	24.77888701	11.5	Muda, savi	83.71
4	59.44860014	24.78153002	7.9	Saviliiv	85.33
5	59.44724321	24.78150359	5.6	Peen liiv	86.93
6	59.44589966	24.78147716	3.8	Peen liiv	92.98
7	59.44588622	24.78409373	1.6	Liiv	100.65

8	59.44452918	24.78409373	3.0	Liiv, mustad tükid	97.62
9	59.44729695	24.78409373	4.8	Liiv	88.77
10	59.44865388	24.78412016	6.9	Peen liiv	86.81
11	59.44999732	24.78412016	9.9	Muda	80.65
12	59.44998388	24.78678960	10.0	Liiv, muda	78.59
13	59.45134070	24.78678960	8.8	Saviliiv	79.00
14	59.44864044	24.78673674	6.1	Muda, liiv, karbid	84.93
15	59.44720290	24.78673674	4.1	Peen liiv	93.61
16	59.44585935	24.78673674	2.7	Puhas liiv	98.19
17	59.44448887	24.78671031	1.2	Hallikas liiv (hele, must)	109.33
18	59.44448887	24.78935331	1.5	Hallikas liiv (hele, must)	106.34
19	59.44583248	24.78935331	1.8	Puhas liiv	106.86
20	59.44718946	24.78935331	3.2	Puhas liiv	96.91
21	59.44853296	24.78935331	4.9	Liiv	92.55
22	59.44994358	24.78937974	7.6	Saviliiv	83.62
23	59.45130040	24.78937974	9.3	Saviliiv	76.52
24	59.45265717	24.78937974	11.0	Saviliiv	76.50
25	59.45265717	24.79202275	10.9	Muda	81.40
26	59.45313670	24.79270330	9.5	Muda	79.88
27	59.45128697	24.79202275	6.8	Liiv, mustad tükid	394.84
28	59.44993015	24.79199632	5.4	Peen liiv	94.22
29	59.44858670	24.79199632	4.5	Peen liiv	95.67
30	59.44722977	24.79199632	7.7	Peen liiv	97.06
31	59.44588622	24.79196989	1.6	Liiv	104.01
32	59.44722977	24.79199632	2.2	Liiv	98.70
33	59.44722977	24.79461289	3.3	Liiv	100.16
34	59.44857327	24.79461289	4.4	Liiv	100.08
35	59.44993015	24.79461289	5.5	Liiv	104.15
36	59.45128697	24.79461289	7.0	Jäme liiv, mustad täpid	690.22
37	59.45264374	24.79463932	7.3	Peen liiv	93.21
38	59.45400045	24.79466575	9.5	(kivine põhi)	89.47
39	59.45535711	24.79466575	9.7	Peenliiv	71.32
40	59.45671372	24.79469218	15.8	Beež savi	93.37
41	59.46119330	24.79771500	8.8	Peen liiv	91.76
42	59.45936830	24.79697330	8.4	Peen liiv	93.45
43	59.45830170	24.79739670	7.6	Peen liiv	x
44	59.46076978	24.79730876	6.5	Liiv	93.76
45	59.45667342	24.79728233	6.1	Peen liiv	92.91
46	59.45531682	24.79728233	5.7	Liiv	95.49
46a	59.45261670	24.79725670	4.7	Liiv	x
47	59.45397359	24.79728233	4.0	Liiv	97.20
48	59.45261687	24.79725590	3.1	Liiv	98.54
49	59.45127353	24.79725590	2.3	Liiv	117.38
49_mob	59.44717830	24.79720330	0.9	Liiv, muda	x
50	59.44993015	24.79722947	x	(kivine põhi)	212.74
50_mob_hambad	59.44684330	24.79871670	x	Jämeliiv, vetikad	x
51	59.44857327	24.79720304	x	(kivine põhi)	x

52	59.44855983	24.79984604	1.4	Liiv, mustad tükid	112.30
53	59.44991671	24.79984604	2.7	Liiv	103.29
54	59.45127353	24.79987247	3.9	Savi	80.51
55	59.45263030	24.79989890	3.6	Liiv	98.53
56	59.45397359	24.79989890	4.0	Liiv	95.87
57	59.45531682	24.79989890	4.3	Liivakivi	x
58	59.45665273	24.80000079	4.2	Liivakivi	x
59	59.45801654	24.79989890	4.8	Liivakivi	x
60	59.45937304	24.79992533	4.7	(kivine põhi)	x
61	59.46072949	24.79995176	5.0	(kivine põhi)	x
62	59.46208588	24.79997819	7.6	Liiv, kivid	95.06
63	59.46344221	24.79997819	7.8	Liiv	95.38
64	59.46479849	24.79997819	15.4	Savi	75.45
65	59.46477164	24.80275335	5.8	Liivsavi	82.14
66	59.46612787	24.80277978	8.3	(kivine põhi)	95.60
67	59.46338850	24.80270049	6.0	Liiv	96.51
68	59.46204559	24.80267406	3.4	(kivine põhi)	x
69	59.46068920	24.80267406	2.7	Sinisavi	x
70	59.45934618	24.80264763	2.7	(kivine põhi)	x
71	59.45933275	24.80531707	1.6	Vetikad	x
72	59.46068920	24.80531707	1.6	Sinisavi, kivid	x
73	59.46203216	24.80534350	1.3	Liivakivi	x
74	59.46338850	24.80536993	1.7	Sinisavi, vetikad	x
75	59.46474478	24.80539636	1.7	Sinisavi	x
76	59.46608758	24.80542279	1.3	Sinisavi, kivid	x
77	59.46743033	24.80544922	1.7	Liiv, vetikad	x
78	59.46743033	24.80809222	1.7	Liivakivi, vetikad	x
79	59.46608758	24.80809222	1.0	Savi	x
80	59.46474478	24.80806579	3.6	Savi	x
81	59.46338850	24.80803936	3.7	Liivakivi	x
82	59.46203216	24.80803936	7.4	Peen liiv	94.60
83	59.46338850	24.80803936	9.7	Liiv	86.72
84	59.46337507	24.81070880	12.6	Sinisavi	86.72
85	59.46471792	24.81073523	10.3	Jäme liiv	898.16
86	59.46607415	24.81076166	7.7	Jäme liiv	591.15
87	59.46743033	24.81078809	5.5	Sinisavi	x
88	59.46878645	24.81081452	3.3	Sinisavi	x
89	59.46877302	24.81345752	2.2	Sinisavi	x
90	59.46743033	24.81345752	x	(kivine põhi)	x
91	59.46608758	24.81343109	1.4	Kivid	x
92	59.46474478	24.81343109	2.9	Sinisavi	x
93	59.46340193	24.81343109	5.2	Väga jäme liiv	1408.62
94	59.46474478	24.81343109	6.6	Peen liiv	95.07
95	59.46474478	24.81610053	8.0	Väga jäme liiv	1267.96
96	59.46608758	24.81610053	11.6	Peen liiv	87.70
97	59.46743033	24.81612696	16.0	Saviliiv	63.88
98	59.46877302	24.81612696	12.1	Peen liiv	81.03

98a	59.47331330	24.81346500	12.6	Saviliiv	x
99	59.47012909	24.81612696	12.2	Saviliiv	84.20
Russalka sissejooks	59.44334830	24.78806330	x	Vetikad	582.34
Lillepi peatus	59.46138670	24.81511830	0.5	(kivine põhi)	118.84
100	59.47148510	24.81615339	9.7	Peen liiv	89.17
101	59.47282764	24.81617982	6.4	Peen liiv	94.45
102	59.47282764	24.81351038	5.1	Peen liiv	122.42
103	59.47148510	24.81348395	4.7	Peen liiv	97.09
104	59.47014252	24.81348395	3.7	Peen liiv	100.39
105	59.46743033	24.81345752	2.2	Liivakivi	x
106	59.46743033	24.81612696	0.5	Kivid	x
107	59.46741690	24.81884925	1.5	Hall liiv	100.01
108	59.46606073	24.81882282	2.4	Peen liiv	98.87
109	59.46475766	24.81877934	3.2	Peen liiv	103.80
110	59.46474478	24.81610053	3.9	Peen liiv	103.47
111	59.46341481	24.81613633	4.3	Peen liiv	97.03
112	59.46340193	24.81343109	5.4	Peen liiv	92.89
113	59.46337507	24.81340466	6.7	Peen liiv	93.25
114	59.46201873	24.81337823	8.0	Peen liiv	91.79
115	59.46201873	24.81073523	x	(kivine põhi)	96.28
116	59.46203216	24.80803936	1.2	Peen liiv, must kiht	102.20
201_mob	59.48200300	24.82465700	5.5	Peen liiv	x
202	59.48222193	24.82693747	4.9	Peen liiv	x
203	59.48299319	24.82911565	4.3	Peen liiv, must sade	x
204	59.48375847	24.83130561	3.5	Peen liiv	x
205	59.48451774	24.83350735	2.0	Peen liiv must kiht	x
206	59.48527700	24.83570908	1.3	Peen liiv, must sade	x
207	59.48644874	24.83439040	1.8	Peen liiv	x
208	59.48569548	24.83218866	3.1	Peen liiv	x
209	59.48493026	24.82999870	4.0	Peen liiv	x
210	59.48416501	24.82780874	4.7	Peen liiv, karbid	x
211	59.48339377	24.82561878	5.5	Peen liiv	x
212	59.48263447	24.82341705	5.5	Peen liiv, mustad tükid	x
213	59.48381227	24.82214546	6.4	Peen liiv	x
214	59.48458351	24.82432364	5.6	Peen liiv, karbid	x
215	59.48534874	24.82651360	5.1	Peen liiv	x
216	59.48611396	24.82870356	4.8	Peen liiv	x
217	59.48686721	24.83086998	3.4	Jäme liiv	x
218	59.48762043	24.83307171	1.8	Vetikad	x
218_mob	59.48805500	24.83378700	0.9	Kivine põhi	x
219	59.48879209	24.83175302	2.2	Liivakivi	x
220	59.48804487	24.82957484	4.0	Peen liiv	x
221	59.48728567	24.82738488	4.6	Jäme liiv	x
222	59.48652048	24.82519492	5.2	Peen liiv	x
223	59.48574929	24.82301673	6.4	Peen liiv	x
224	59.48498406	24.82082677	7.0	Peen liiv, palju karpe	x
225	59.48617374	24.81949631	7.0	Väga jäme liiv	x

226	59.48693297	24.82168627	6.4	Peen liiv, palju karpe	x
227	59.48769217	24.82387623	5.6	Jäme liiv	x
228	59.48845734	24.82606619	5.5	x	x
229	59.48921651	24.82825615	4.1	x	x
230	59.48997566	24.83045789	2.6	Peen liiv	x
231_mob	59.48287300	24.81871800	6.4	Peen liiv	x
232_mob	59.48201300	24.81406800	10.7	Peen liiv	x