

LISA 9
MUUGA PUMP-HÜDROAKUMULATSIOONIJAMA
KESKKONNAMÕJU MUUGA LAHE HOOVUSTELE JA
RANNAPROTSESSIDELE



TTÜ MERESÜSTEEMIDE INSTITUUT
Akadeemia tee 15a, 12618 Tallinn
telefon: 620 4300 , faks: +372 620 4301
e-post: msi@msi.ttu.ee

Muuga pump-hüdroakumulatsioonijaama keskkonnamõju Muuga lahe hoovustele ja rannaprotsessidele

**Tallinn
2012**

Sisukord

Sissejuhatus	3
Mõõtmised	4
Mõõdistuste kirjeldus	4
Metoodika	7
Temperatuur ja soolsus	7
Secchi ketta sügavused	10
Hapnik	12
Klorofüll a fluorestsents	13
Lahustunud orgaaniline aine	15
Heljum	17
Klorofüll a	19
Hajumise spektrid	21
Biogeenid	22
Mõõdetud tuuled ja hoovused	25
Kokkuvõte	31
Modelleerimine	32
Mudeli kirjeldus	32
Mudeli seaded	32
Soolsus ja temperatuur	32
Hoovused	33
Kokkuvõte	34
Muuga pump-hüdroakumulatsioonijaama keskkonnamõju hinnang	41
0 Alternatiivi mõju	41
Ehitusaegne mõju	41
Käitamisaegne mõju	44
Ekspertarvamuse koondhinnang	51

Sissejuhatus

Töö eesmärgiks on hinnata Muuga pump-hüdroakumulatsioonijaama (PHAJ) detailplaneeringu keskkonnamõju Muuga lahe hoovustele ja rannaprotsessidele PHAJ rajamise ja käitamise ajal. Samuti on töös analüüsitud ja antud hinnang heljumi tekkele ja levikule ning vee füüsikaliste ja valitud veekvaliteedi parameetrite võimalikele muutustele.

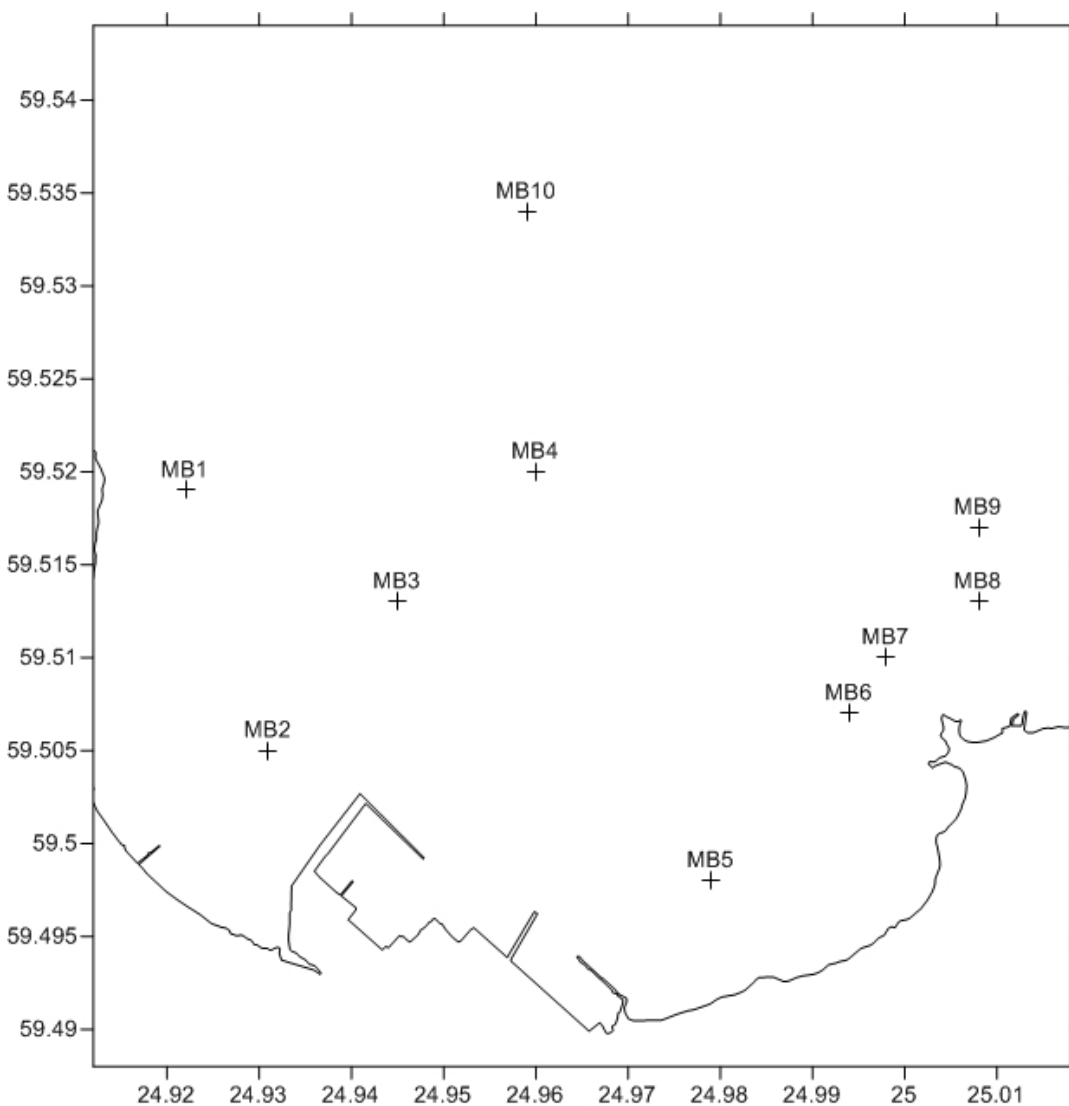
Mõju hinnang põhineb Muuga lahe hüdrodünaamika, lainetuse ja heljumi leviku numbrilise modelleerimise tulemustel, mis simuleerib PHAJ rajamise ja käitamisaegset võimaliku olukoda, võrreldes olemasoleva keskkonnaseisundiga. Olemasoleva seisundi kirjeldamiseks on kasutatud töö käigus kogutud mõõtmisandmeid Muuga lahelt ja hüdrodünaamika mudeli tulemusi. Samuti on kasutatud mõõtmisandmeid numbrilise mudeli verifitseerimiseks.

Keskkonnamõju hinnang on esitatud Muuga PHAJ erinevate alternatiivide korral.

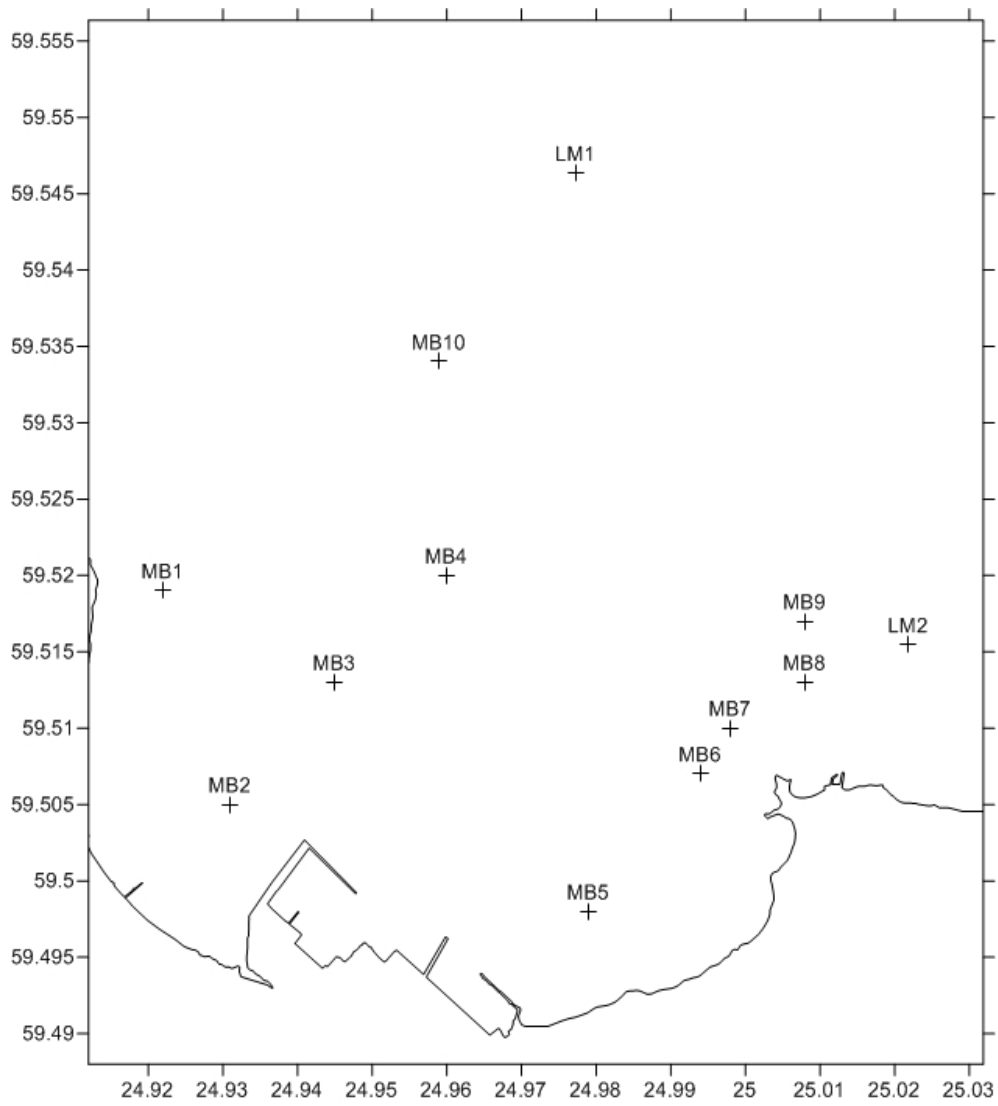
Mõõtmised

Mõõdistuste kirjeldus

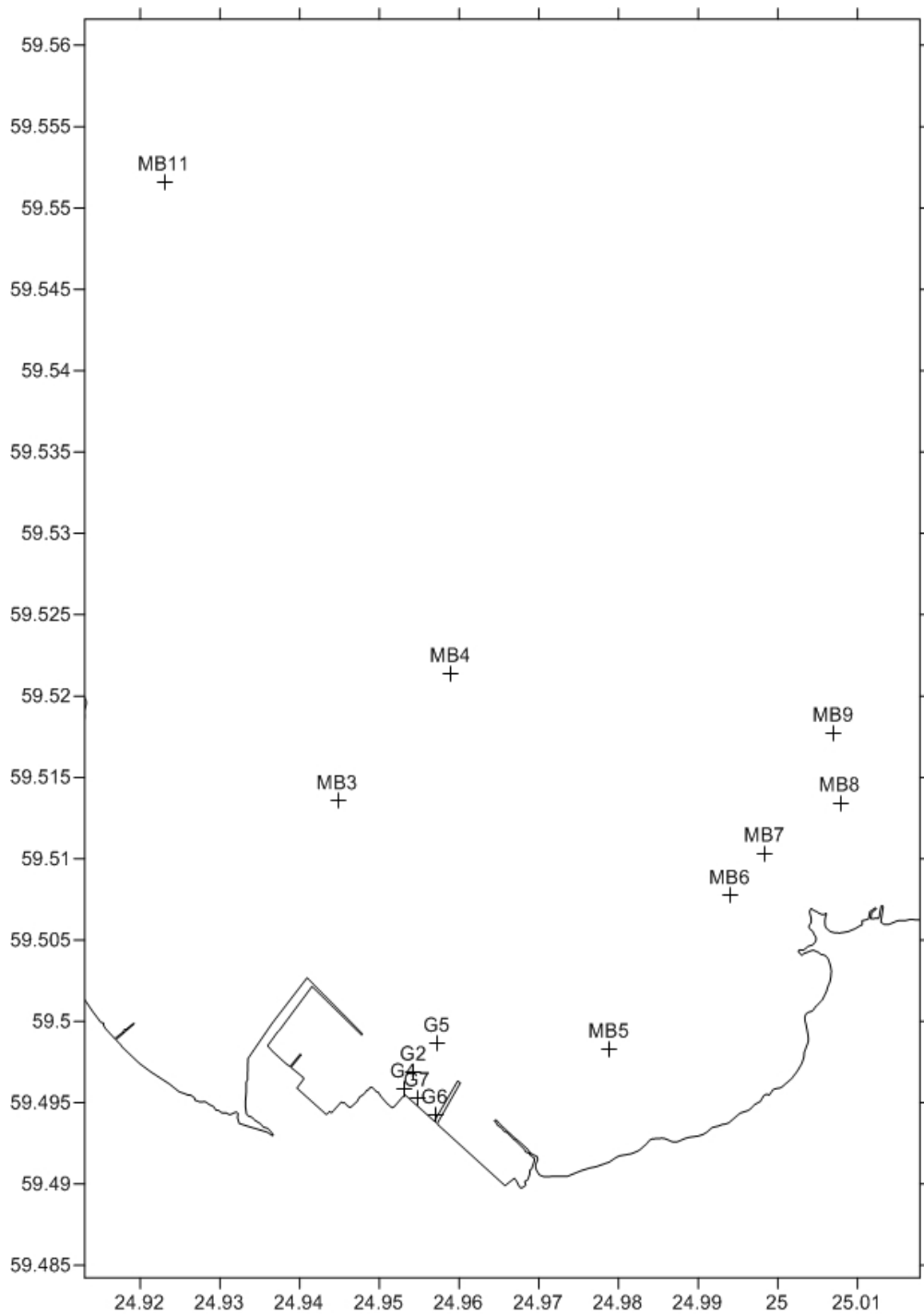
Vee karakteristikute mõõtmine Muuga lahele planeeritava PHAJ keskkonna mõjude hindamiseks viidi läbi 16.05.2011, 18.07.2011 ja 07.11.2011 Tallinna Tehnikaülikooli Meresüsteemide Instituudi uurimislavaga SALME. Mõõdistamise päeval 16.05.2011 puhus lahel edelatuul kiirusega 2-3 m/s, õhutemperatuur oli 14 °C ja lainetus 0.1-0.2 m. 18.07.2011 puhus lahel kagutuul kiirusega 6 m/s, õhutemperatuur oli 25 °C ja lainetus 0.3 m. 07.11.2011 puhus lahel lõunatuul kiirusega 5 m/s, õhutemperatuur oli 6.5 °C ja lainetus 0.2 m. Mõõtmisjaamade asukohad on näidatud Joonistel 1-3.



Joonis 1. Jaamade asukohad Muuga lahes 16.05.2011.



Joonis 2. Jaamade asukohad Muuga lahes 18.07.2011.



Joonis 3. Jaamade asukohad Muuga lahes 07.11.2011.

Metoodika

In situ vee neeldumis- (a) ja nõrgenemiskoeffitsient (c) (m^{-1}) valgusspektri vahemikus 402-730 nm, mõõdeti spektromeetriga AC-spectra. Mõõtmistulemustest arutati vee hajumiskoeffitsient (b), vastavalt valemile $b(\lambda)=c(\lambda)-a(\lambda)$. Vee neeldumiskoeffitsient lainepikkusel 402 nm iseloomustab lahustunud orgaanilise aine hulka vees. Vee neeldumiskoeffitsiendi (lainepikkusel 664 nm) ja klorofüll *a* kontsentratsiooni vahel leiti iga mõõdistuse jaoks regressioonseos, mida kasutati klorofüll *a* kontsentratsiooni profiilide arvutamiseks. Vee hajumiskoeffitsiendi (lainepikkusel 550 nm) ja heljumi kontsentratsiooni vahel leiti samuti iga mõõdistuse jaoks regressioonseos, mida kasutati heljumi kontsentratsiooni profiilide arvutamiseks. Hajumiskoeffitsiendi spektri kuju võimaldab samuti hinnata vees olevate osakeste tüüpi ja suurust.

Temperatuur, soolsus, fluorestsents ja hapniku kontsentratsioon vees mõõdeti sondiga Idronaut Ocean Seven 316.

Vee läbipaistvust (m) hinnati 40 cm läbimõõduga Secchi ketta abil, mis lastakse laeva pardalt vette ja määratakse sügavus, millest alates ketast enam visuaalselt näha ei ole.

Heljumi kontsentratsiooni (mg/L) määramiseks filtreeriti võimalikult suur ja hästi segunenud veeproov läbi eelnevalt kaalutud Millipore'i filtri (põori suurus 0.45 μm). Seejärel kuivatati filter fikseeritud temperatuuril (90-100 °C) konstantse kaaluni. Filtri kaalu suurenemine näitab heljumi kontsentratsiooni veeproovis.

Klorofüll *a* kontsentratsioon (mg/m^3) iseloomustab fütoplanktoni hulka (biomassi) vees ja määrati spektrofotomeetriliselt. Klorofüll *a* kontsentratsiooni mõõtmiseks filtreeritakse veeproov läbi Whatman GF/C klaas-mikrofiiberfiltri (põori suurus 1.2 μm), ekstraheeritakse pigmendid etanooliga (96%) ning mõõdetakse kiirguse neeldumine lainepikkustel 664 nm ja 750 nm. Klorofüll *a* kontsentratsioon arvutatakse Jeffery & Humprey (1975) valemi järgi:

$$chl = \frac{11.9(a_{664} - a_{750}) \times e}{V \times z}$$

kus *e* on etanooli kogus (ml), *V* on filtreeritud vee kogus (L) ja *z* on küveti pikkus (cm).

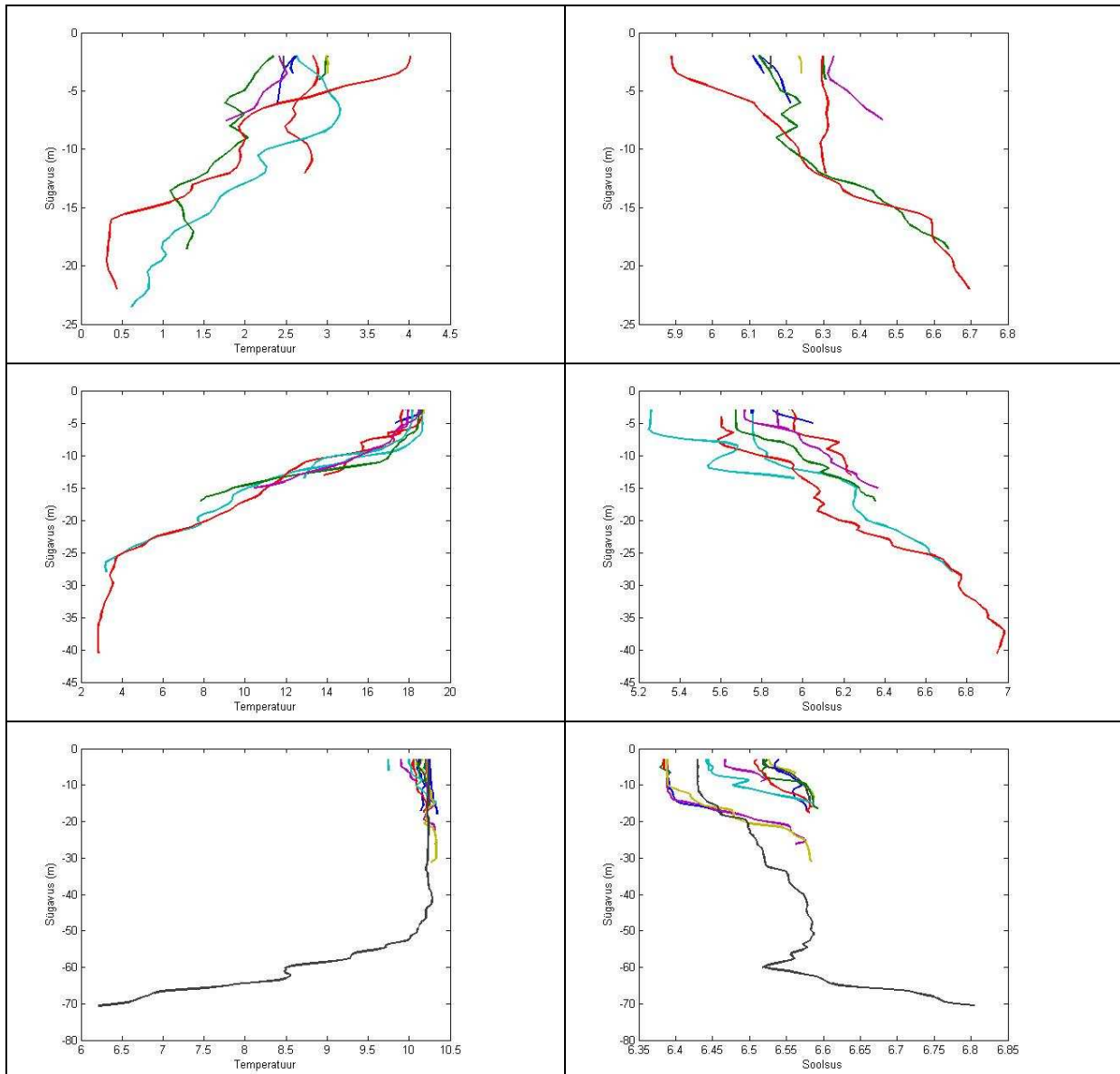
Temperatuur ja soolsus

Kevadine temperatuuri vertikaalne jaotus oli iseloomulik veekihi soojenemisele (Joonis 4). Pinnakihi temperatuurid muutusid vahemikus 2-4 °C. Sügavuse suurenedes temperatuur vähenes väärtuseni 0.5 °C sügavuste vahemikus 15-23 m. Soolsuse väärtused muutusid pinnakihis vahemikus 5.9-6.3 ning suurenesid väärtuseni 6.7 ligikaudu 23 m sügavusel.

Suvise mõõdistuse ajal oli vee pinnakiht soojenenud 18 °C. Ülemine läbisegunenud kihi sügavus oli 5 meetrit. Suvine termokliin paiknes 5 ja 25 m vahel. Termokliini aluse veekihi temperatuur oli ligikaudu 3 °C. Arvestatavaid horisontaalseid temperatuuri erinevusi kogu mõõtmispiirkonna ulatuses ei olnud. Soolsuse vertikaalsed profiilid näitasid soolsuse ühtlast suurenemist sügavusega. Pinnakihis jäi soolsus vahemikku 5.6-6, väljaarvatud jaam LM1, kus magedam vesi soolsusega 5.2 oli ülemises 6-m kihis. Sügavusel 15 m muutus soolsus vahemikus 6-6.4 ja suurenes 40 m sügavusel väärtuseni 7.

Sügisel oli Muuga laht temperatuuri järgi läbi segunenud kuni 55 meetri sügavuseni. Läbisegunenud veekihi temperatuur oli 10 °C. Lahe sügavas piirkonnas oli permanentne termokliin, kus temperatuur vähenes kuni 6 °C 70 m sügavusel. See termokliin langes kokku halokliiniga, kus soolsus kasvas väärtuseni 6.9. Soolsuse järgi oli Muuga laht vertikaalselt stratifitseeritud. Pinnakihi soolsus muutus vahemikus 6.4-6.55. Soolasem vesi (S=6.55) oli tunginud Muuga lahte ning ulatus rannikulähedasse piirkonda.

Temperatuuri käik näitab selget sesoonset tsüklit. Soolsuse vertikaalsest jaotusest on näha, et pinnakihis toimub suvel mõningane magenemine võrreldes kevadise ja sügisese olukorraga. Olulisi ruumilisi erinevusi Muuga lahe temperatuuri ja soolsuse horisontaalses jaotuses ei esine, mis on iseloomulik kuna tegemist on geograafiliselt suhteliselt piiratud alaga.



Joonis 4. Temperatuuri ja soolsuse vertikaalsed profiilid Muuga lahes 16. mail (ülemised paneelid), 18. juulil (keskmise paneelid) ja 7. novembril 2011 (alumised paneelid).

Secchi ketta sügavused

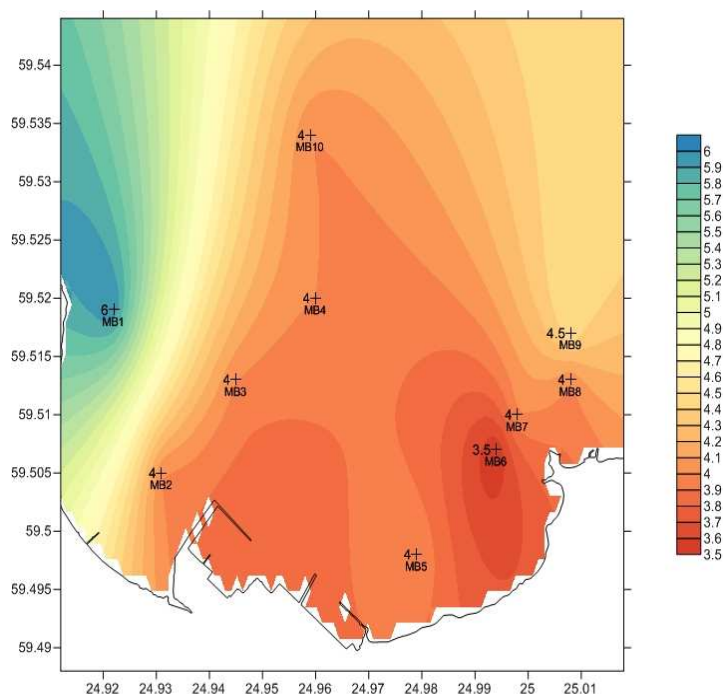
Vee läbipaistvust hinnati Secchi ketta sügavuse järgi, mis näitab kui sügavale päikese valgus veesambas tungib, määraes ära nn. valguse tsooni paksuse. Valguse tsoonis toimub fotosüntees, st enamus veekogu primaarproduksioonist.

Kevadel jäid Muuga lahe Secchi ketta sügavused vahemikku 3.5-6 m (Joonis 5). Kõige suurema läbipaistvusega oli vesi jaamas MB1, kus Secchi ketta sügavuseks mõõdeti 6 m. Minimaalne läbipaistvus oli jaamas MB6, kus Secchi ketta sügavuseks mõõdeti 3.5 m. Sellise väärtusega läbipaistvus vastab rahuldavale veekvaliteedile, vastavalt IV rannikumere klassi tüübi-spetsiifilistele väärtustele. Üldiselt oli läbipaistvus stabiilselt 4 m kogu lahe ulatuses.

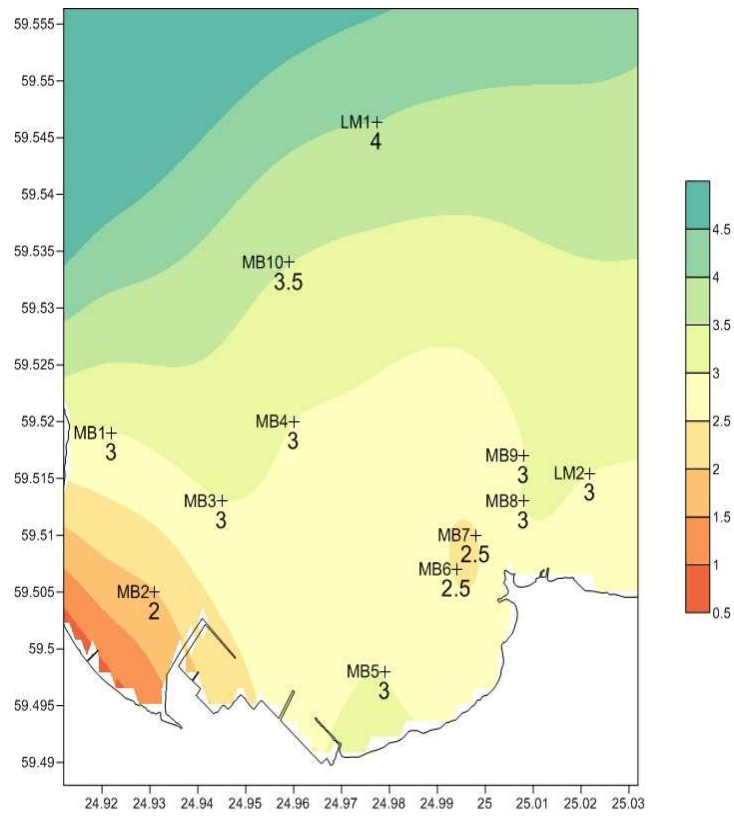
Suvised mõõdistuse ajal jäid Secchi ketta sügavused vahemikku 2-4 m (Joonis 6). Vee läbipaistvus oli väiksem Muuga sadama piirkonnas ning suurim lahe avaosas. Võrreldes kevadise vee läbipaistvusega oli suvel Secchi ketta sügavus väiksem, keskmiselt 3 m.

Sügisel jäi vee läbipaistvus vahemikku 5.5-6.5 m (Joonis 7).

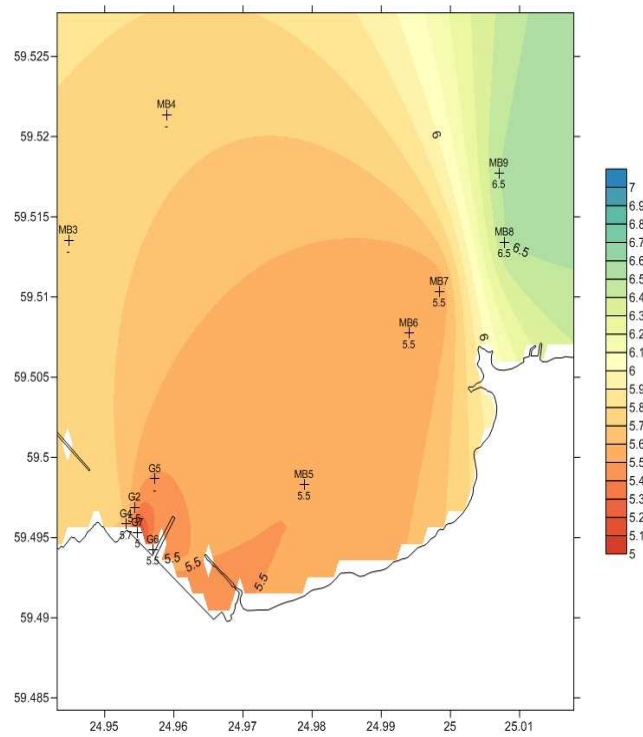
Vee läbipaistvuse muutused on iseloomulikud looduslikele muutustele.



Joonis 5: Secchi ketta sügavused jaamades 16.05.2011.



Joonis 6. Secchi ketta sügavused jaamades 18.07.2011.

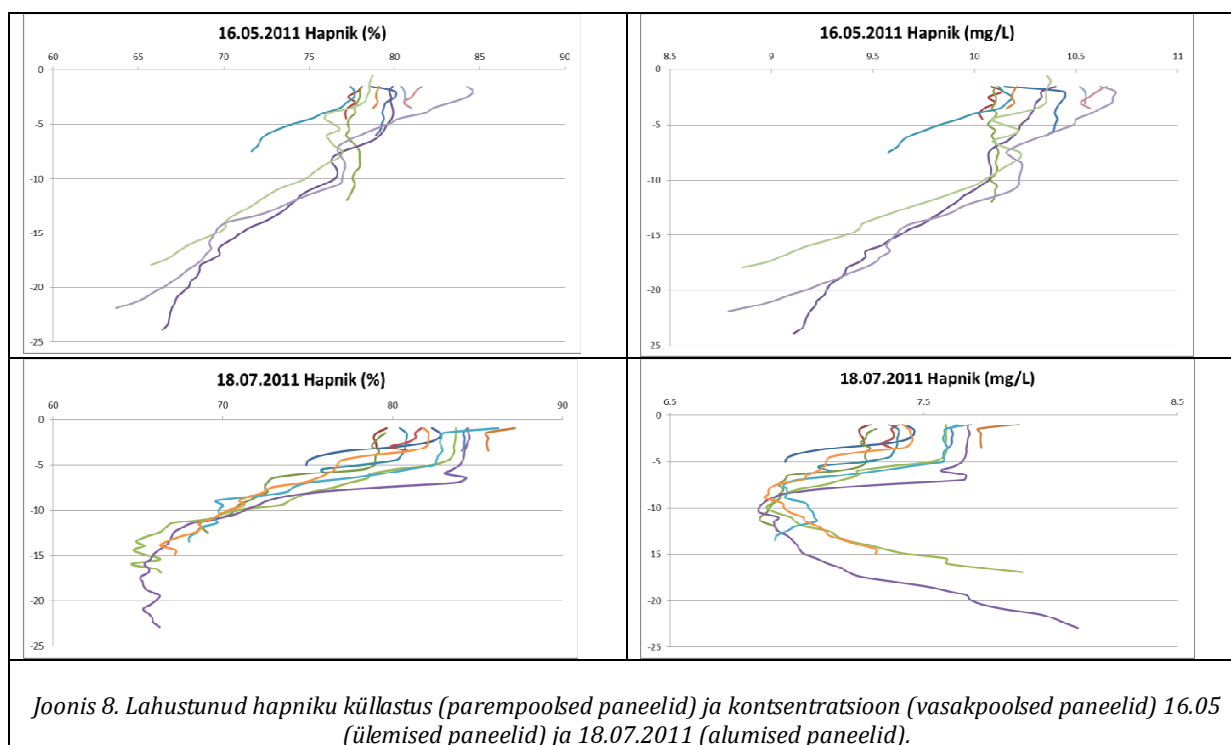


Joonis 7. Secchi ketta sügavused jaamades 07.11.2011.

Hapnik

Mõõdetud hapniku kontsentratsioonid Muuga lahes kevadel ja suvel on toodud Joonisel 8. Kuna külmas vees on hapniku kontsentratsioonid suuremad kui soojas vees, siis kevadisel ekspeditsioonil mõõdetud hapniku kontsentratsioonid olid suuremad kui suvisel ekspeditsioonil mõõdetud kontsentratsioonid. Hapniku kontsentratsiooni vees mõõdetakse kas mg/L või suhtarvuna protsentides.

Kevadel olid pinnakihi hapniku kontsentratsioonid vahemikus 10-10.6 mg/L. Suvel olid hapniku kontsentratsioonid vahemikus 7.3-8.0 mg/L. Kevadel sügavuse suurenedes hapniku kontsentratsioon vähenes, langedes 9 mg/L sügavuste vahemikus 15-25 m. Suvel vähenesid hapniku kontsentratsioonid ülemises 15-m paksuses kihis. Sügavamal hakkas hapniku kontsentratsioon jälle suurenema kuna vee temperatuur vähenes ning merevesi sisaldas rohkem lahustunud hapnikku. Hapniku protsentuaalne kogus kevadel näitas ühtlast kahanemist, keskmiselt 80% pinnal ja 65% sügavuste vahemikus 20-25 m. Suvel oli hapniku kogus pinnakihis veidi suurem kui kevadel, mis on seletatav hapniku produktsiooniga fotosünteesi käigus fütoplanktoni poolt. Sesoonse termokliini peal (5-10 m) toimus hapniku kiire vähenemine. Alates 15 m sügavuselt oli hapniku kontsentratsioon 65%, mis vastab kevadisele väärtusele. Horisontaalses hapniku jaotuses olulisi erinevuse uurimisala piires ei olnud.

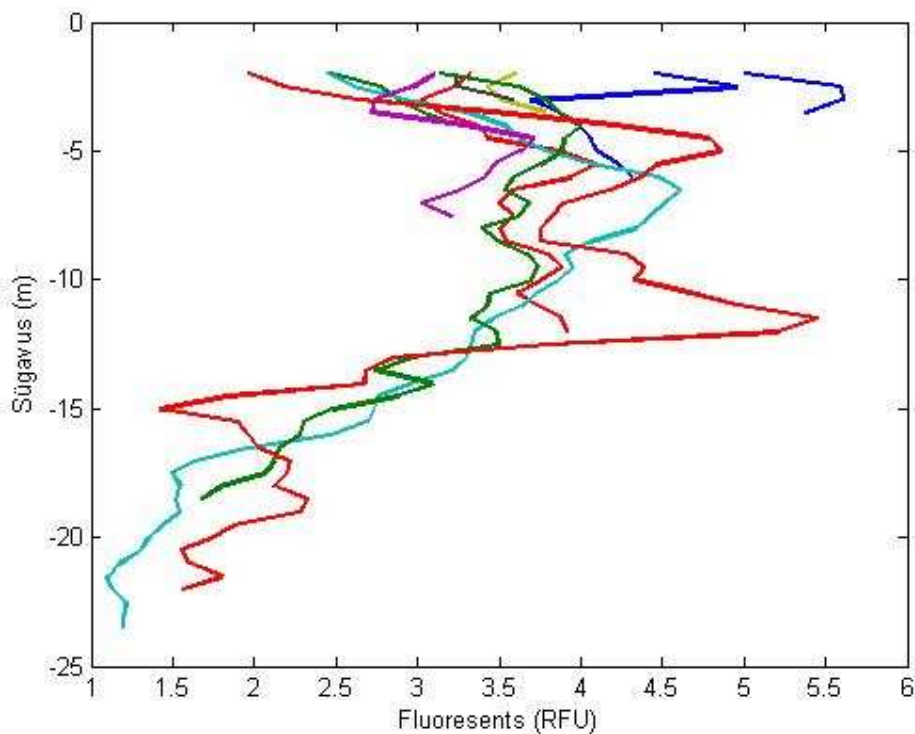


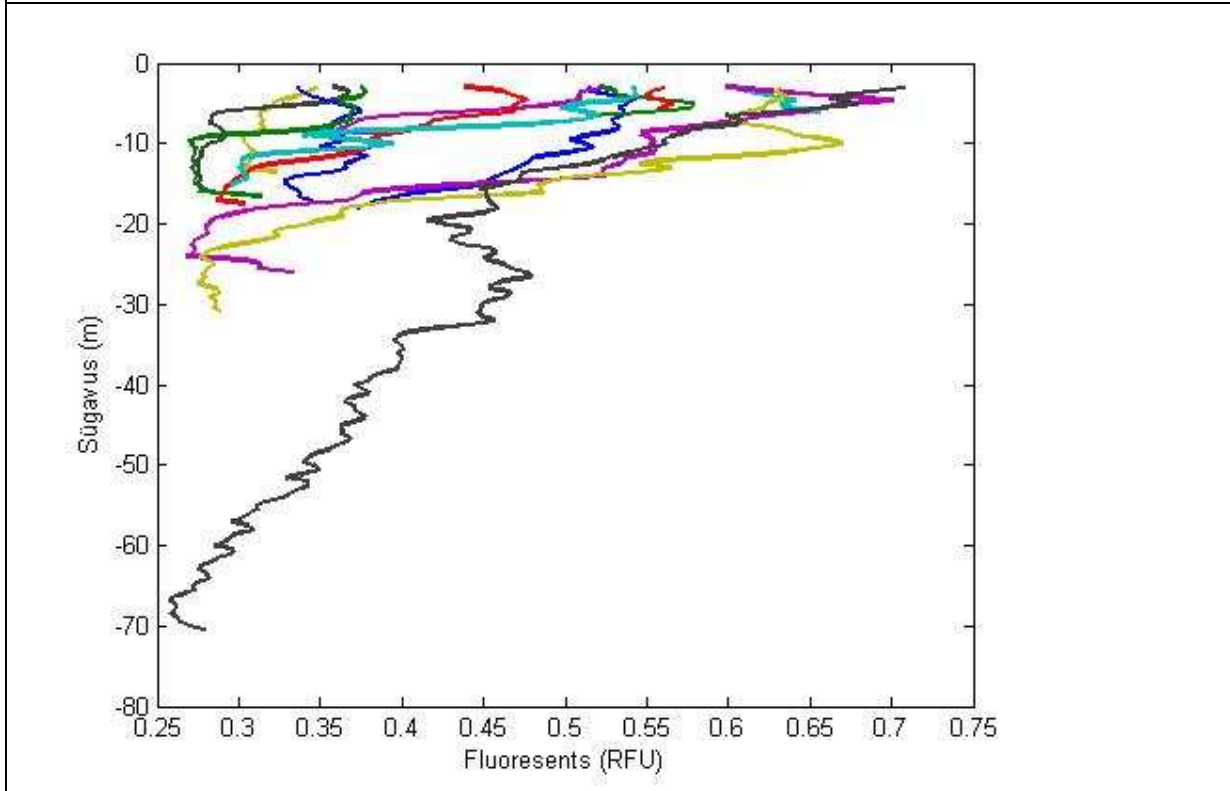
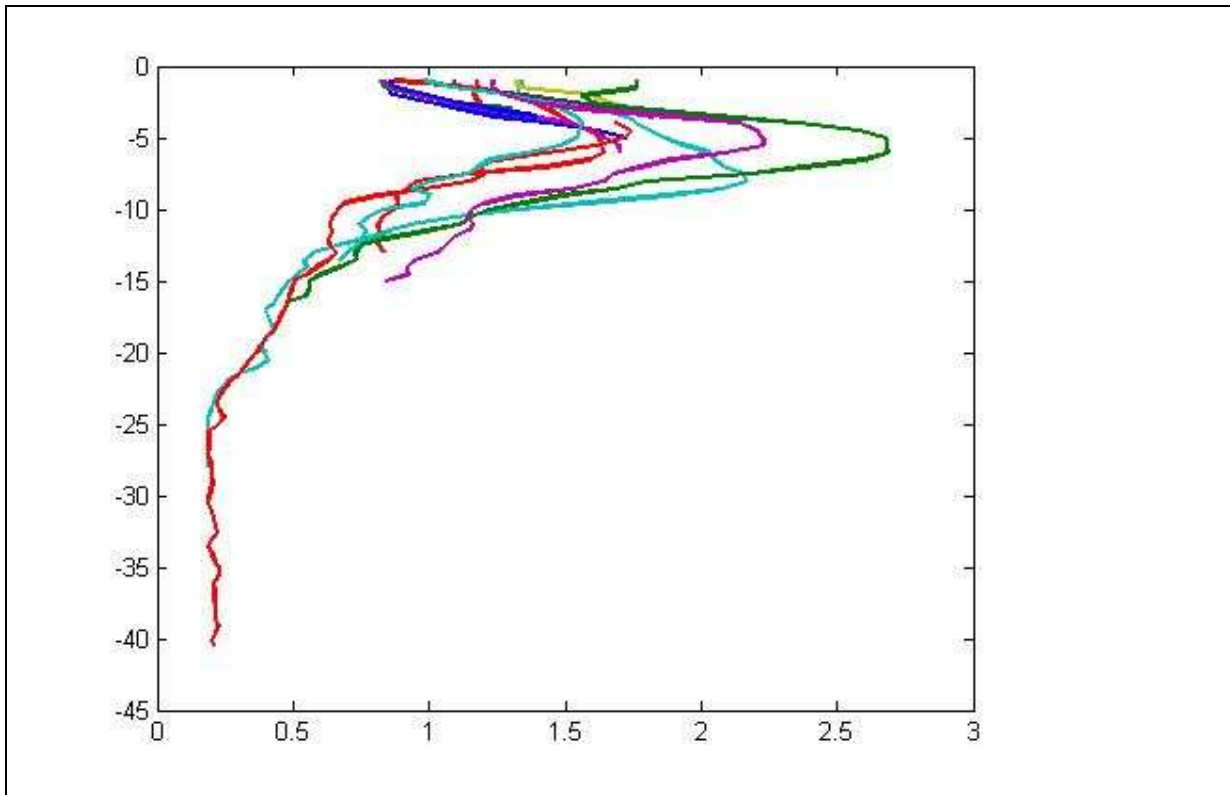
Klorofüll a fluorestsents

Klorofüll *a* fluorestsentsi mõõtmisi kasutatakse aktiivse fütoplanktoni biomassi ja ka klorofüll *a* kontsentratsiooni indikaatorina. Klorofüll *a* fluorestsentsi väärtused olid sesoonselt kõige suuremad kevadel (Joonis 9), mis on iseloomulik kevadisele fütoplanktoni kasvu perioodile. Samuti oli täheldatav klorofüll *a* fluorestsentsi väärtuste küllaltki suur horisontaalne muutlikkus pinnakihis (2-5.5 RFU). Suuremad klorofüll *a* fluorestsentsi väärtused olid ülemises 14-m paksuses veekihis. Alates 15 m sügavusest, jäid klorofüll *a* fluorestsentsi väärtused vahemikku 1-2.5 RFU.

Suvel olid klorofüll *a* fluorestsentsi maksimaalsed väärtused pinnaaluses kihis (5-10 m) ning võrreldes kevadise perioodiga, olid väärtused väiksemad (1.5-2.5 RFU). Sügavamal kui 15 m olid klorofüll *a* fluorestsentsi väärtused alla 0.5 RFU.

Sügisel perioodil olid klorofüll *a* fluorestsentsi väärtused vahemikus 0.25-0.7 RFU.

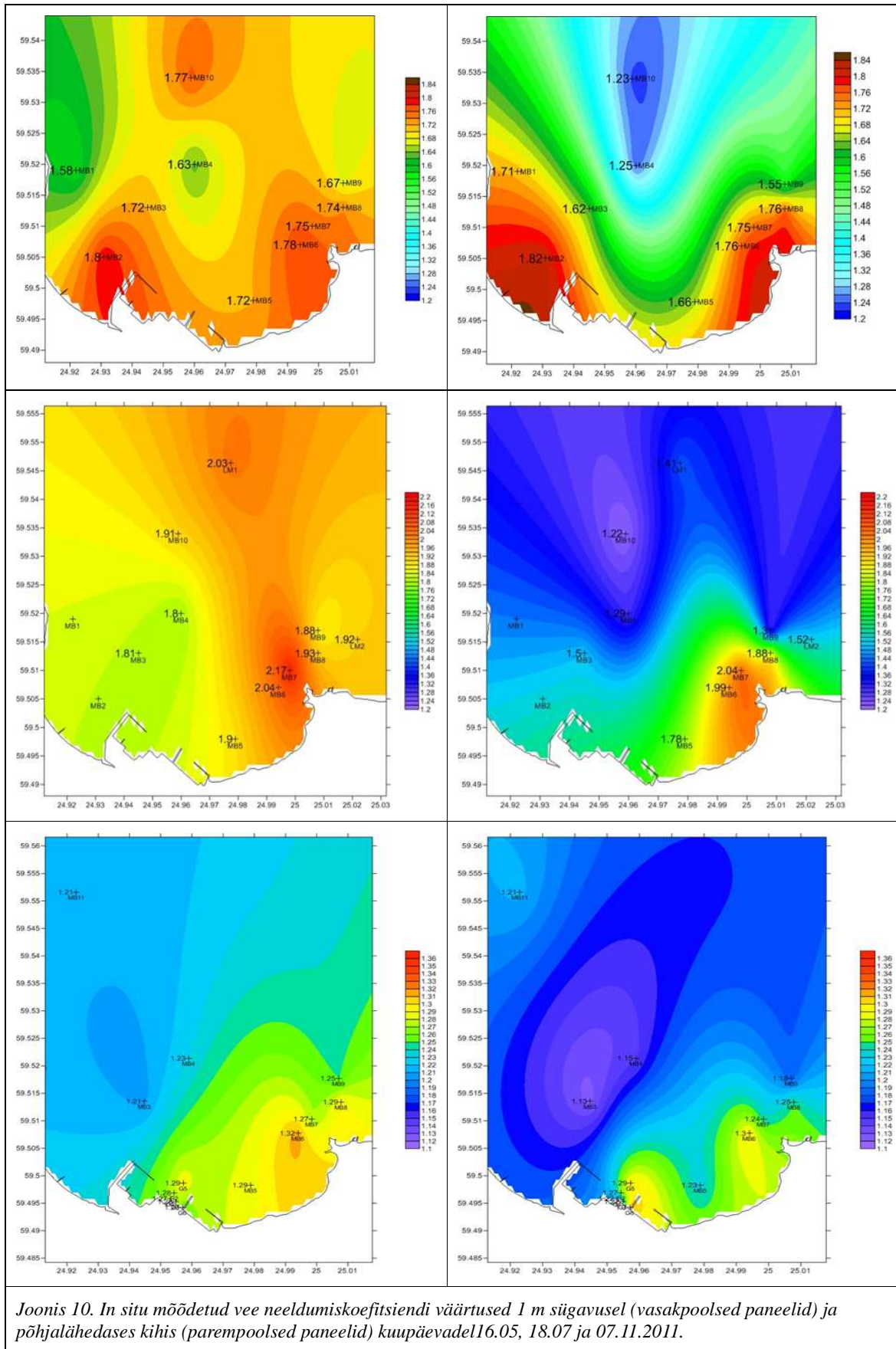




Joonis 9. Klorofüll a fluorestsentsi profiilid Muuga lahes 16.05 (ülemine paneel), 18.07 (keskmine paneel) ja 07.11.2011 (alumine paneel).

Lahustunud orgaaniline aine

Joonisel 10 on toodud *in situ* mõõdetud vee neeldumiskoeffitsiendi väärtused lainepikkusel 402 nm, mis iseloomustavad lahustunud orgaanilise aine (LOA) kogust vees. LOA koguse muutlikkus jääb loodusliku fooni tasemele. Üldiselt olid LOA kogused pinnal suuremad kui sügavamates kihtides. Samuti oli lahustunud orgaanilise aine kogus suurem kevadel ja suvel ning väiksem sügisel. Võrreldes üldise loodusliku fooniga, oli LOA kogus püsivalt mõnevõrra suurem planeeritava veehaarde asukohas (Muuga sadama idaosa).



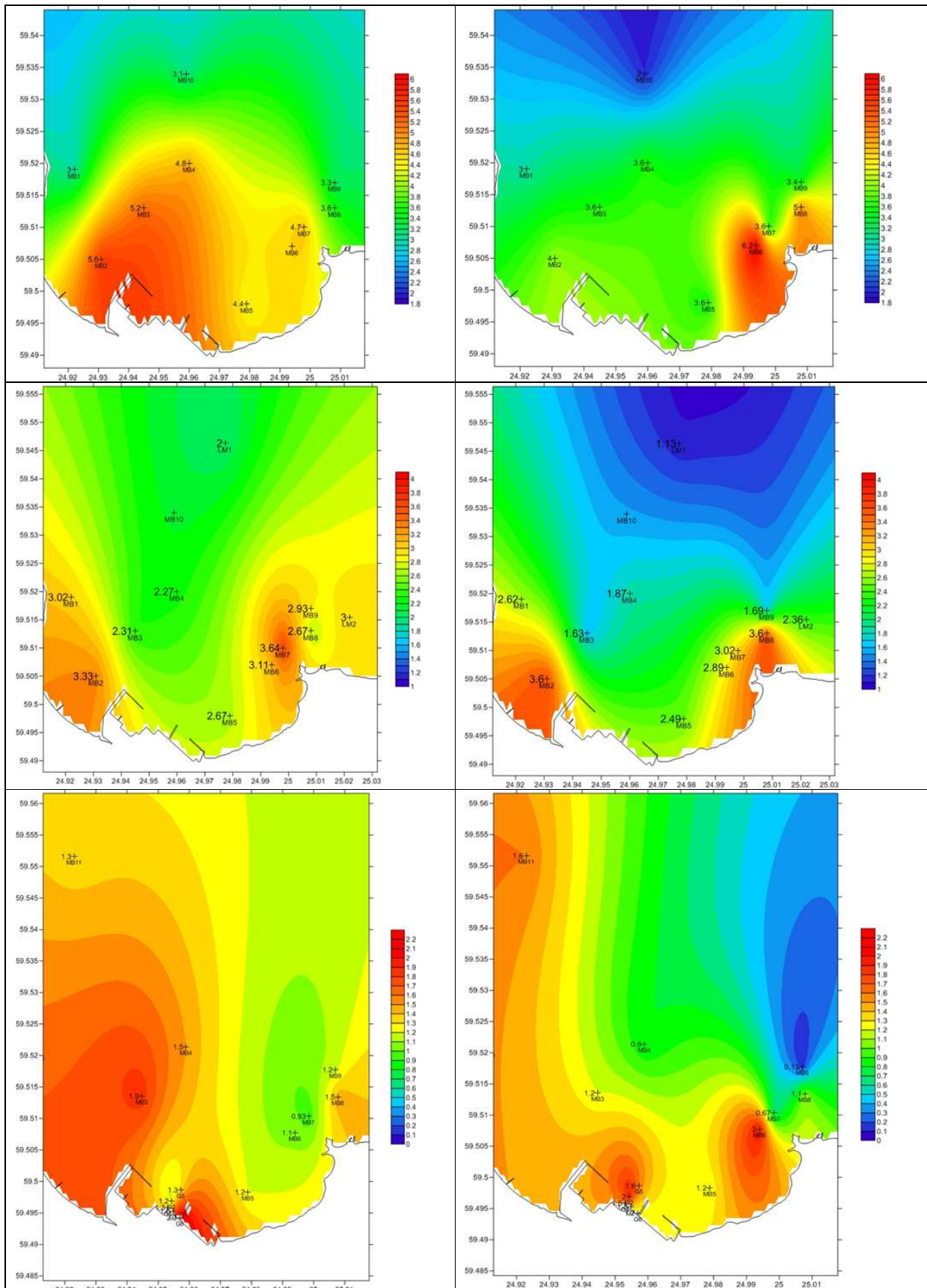
Joonis 10. In situ mõõdetud vee neeldumiskoeffitsiendi väärtused 1 m sügavusel (vasakpoolsed paneelid) ja põhjalähedases kihis (parempoolsed paneelid) kuupäevadel 16.05, 18.07 ja 07.11.2011.

Heljum

Heljum on merevees leiduvate mineraalsete ja bioloogiliste osakeste kuivmassi kaal. Üldiselt on Secchi ketta sügavus ja heljumi kontsentratsioon veesambas omavahel seotud, suurem heljumi kontsentratsioon vees vähendab ka veesamba läbipaistvust.

Heljumi kontsentratsioonid olid Muuga lahes kõige suuremad (3.0-5.6 mg/L) kevadel ja kõige väiksemad (0.9-1.9 mg/L) sügisel (Joonis 11). Suvel jäid väärtused vahemikku 2-3.6 mg/L. Selline heljumi ajaline käik vastab fütoplanktoni arvukuse (biomassi) ajalisele muutumisele. Sarnane heljumi ajaline käik oli iseloomulik ka lahe põhjakihile. Erandlik oli heljumi kontsentratsioon Muuga lahe idaosas, planeeritava veehaarde asukoha lähedal, kus põhjalähedases kihis olid püsivalt kõrgemad heljumi kontsentratsioonid. Kõrgemad heljumi kontsentratsioonid võivad olla tingitud põhjasetete resuspensioonist.

Vee hajumiskoeffitsiendi väärtus lainepikkusel 550 nm iseloomustab heljumi hulka vees. Hajumiskoeffitsiendi horisontaalne jaotus pinnakihis oli sarnane heljumi horisontaalsele jaotusele. Vee hajumiskoeffitsiendi väärtuse ja laboris leitud heljumi kontsentratsiooni vahel leiti iga mõõdistuse jaoks regressioonseos, mida kasutati heljumi kontsentratsiooni vertikaalsete profiilide arvutamiseks. Kevadel ja suvel olid kõrgemad heljumi väärtused ülemises 12-m ja 7-m paksuses veekihis. Sügisese mõõdistuse ajal olid heljumi profiilid ühtlased. Seega võib järeldada, et heljumi moodustavad peamiselt bioloogilise päritoluga osakesed.



Joonis 11. Heljumi kontsentratsioon 1 m sügavusel (vasakpoolsed paneelid) ja põhjalähedases kihis (parempoolsed paneelid) kuupäevadel 16.05, 18.07 ja 07.11.2011.

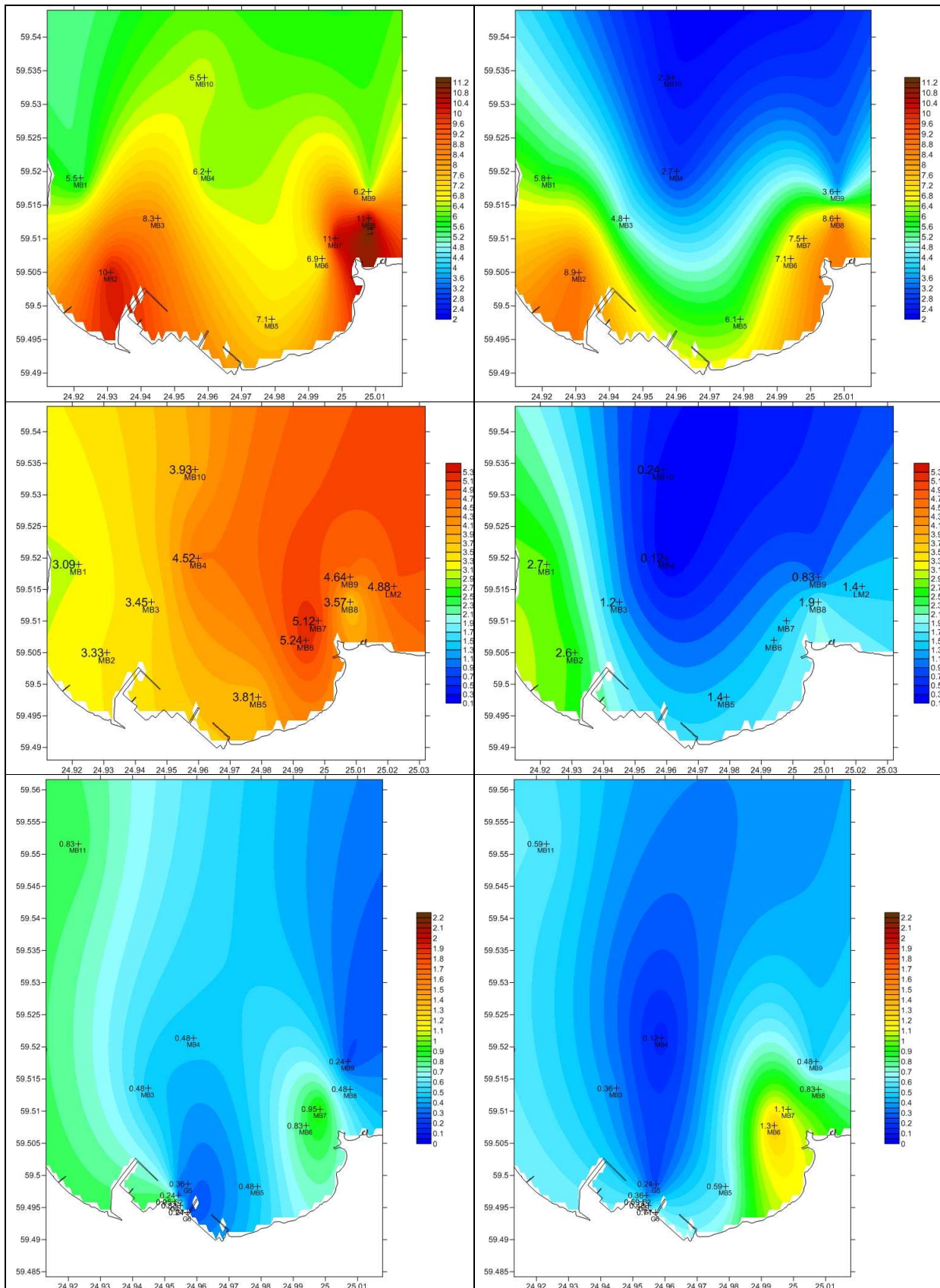
Klorofüll a

Klorofüll *a* jaotused pinnakihis ja põhjalähedases kihis on toodud Joonisel 12. Klorofüll *a* väärtused pinnakihis näitasid selget sesoonset käiku. Kevadel olid klorofüll *a* väärtused kõige suuremad. Jaamades MB2, MB7 ja MB8 oli klorofüll *a* kontsentratsioon kõrge, suurem kui 10 mg/m³. Enamuses jaamades jäid klorofüll *a* kontsentratsioonid siiski alla 7 mg/m³. Madalates rannikujaamades olid klorofüll *a* kontsentratsioonid kõrgemad ka põhjalähedases kihis.

Suvised klorofüll *a* kontsentratsioonid pinnakihis olid vahemikus 3.3-5.2 mg/m³. Klorofüll *a* fluorestsentsi vertikaalsed profiilid näitasid, et klorofüll *a* maksimaalsed väärtused olid pinnaaluses kihis.

Sügised klorofüll *a* kontsentratsioonid olid nii pinna kui ka põhjalähedases kihis alla 1 mg/m³, mis näitab fütoplanktoni vähest biomassi.

Vee neeldumiskoeffitsiendi väärtused lainepikkusel 664 nm iseloomustavad klorofüll *a* kontsentratsiooni vees. Biooptilistest mõõtmistest saadi, et vee neeldumiskoeffitsiendi horisontaalne jaotust pinnakihis oli sarnane laboris määratud klorofüll *a* kontsentratsiooni ruumilise jaotusega.

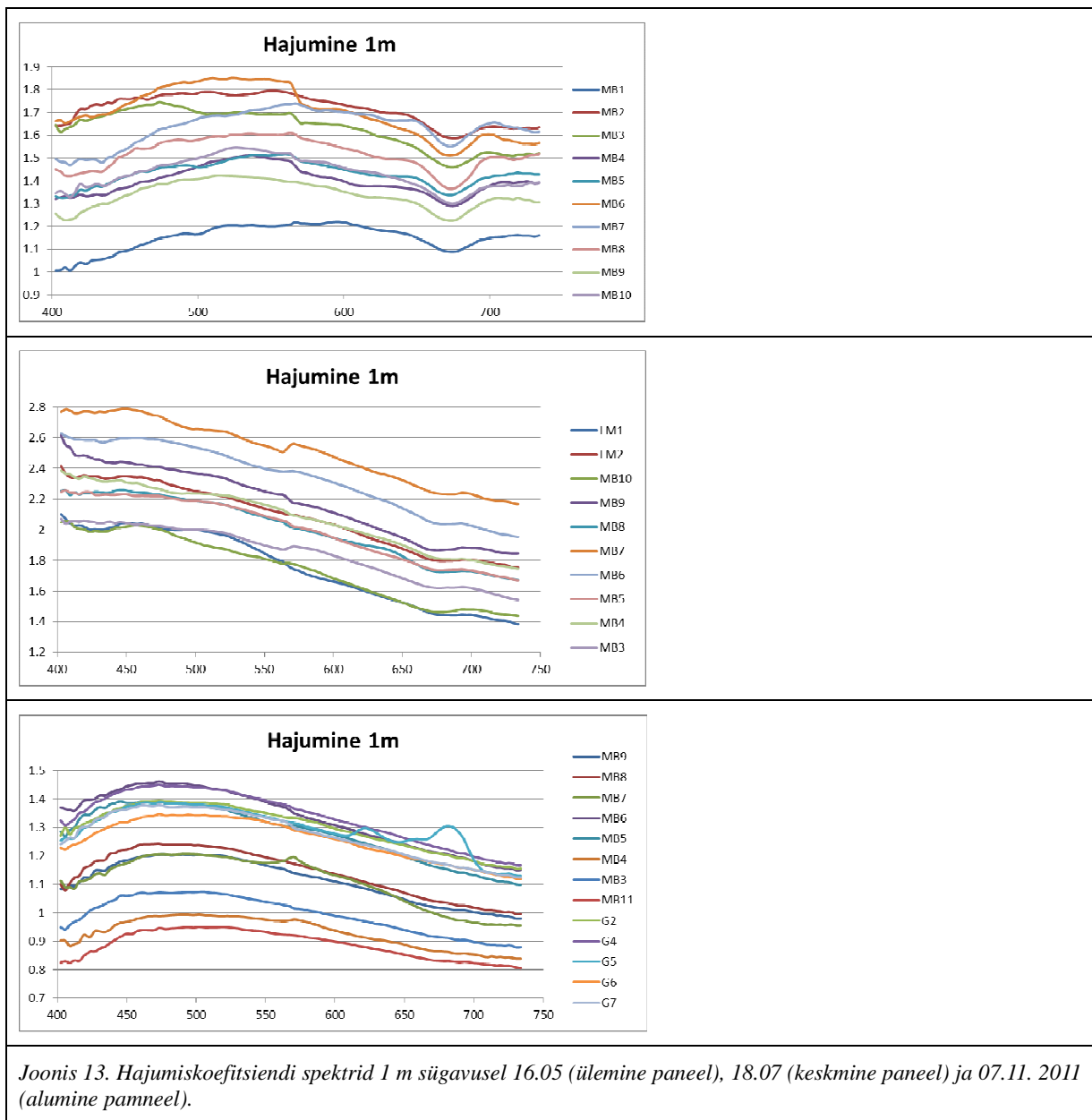


Joonis 12. Klorofüll a kontsentratsioon 1 m sügavusel (vasakpoolsed paneelid) ja põhjalähedases kihis (parempoolsed paneelid) kuupäevadel 16.05, 18.07 ja 07.11.2011.

Hajumise spektrid

Joonisel 13 on näidatud hajumiskoeffitsiendi spektrid 1 m sügavusel. Kevadise mõõdistuse spektritel on näha klorofüll *a* neeldumispik lainepikkuse 660 nm juures, mis on iseloomulik fütoplanktoni hajumisspektrile. Suvise mõõdistuse spektritel oli neeldumispik oluliselt väiksem, aga siiski märgatav. Sügise mõõdistuse spektritel neeldumispik puudus.

Seega võib mõõdetud hajumisspektrite kuju järgi öelda, et eriti kevadel ja ka suvel, moodustasid olulise osa heljumist fütoplanktoni osakesed. Sügisel kui fütoplanktoni kontsentratsioon oli väike, oli ka heljumi tase vees madal.



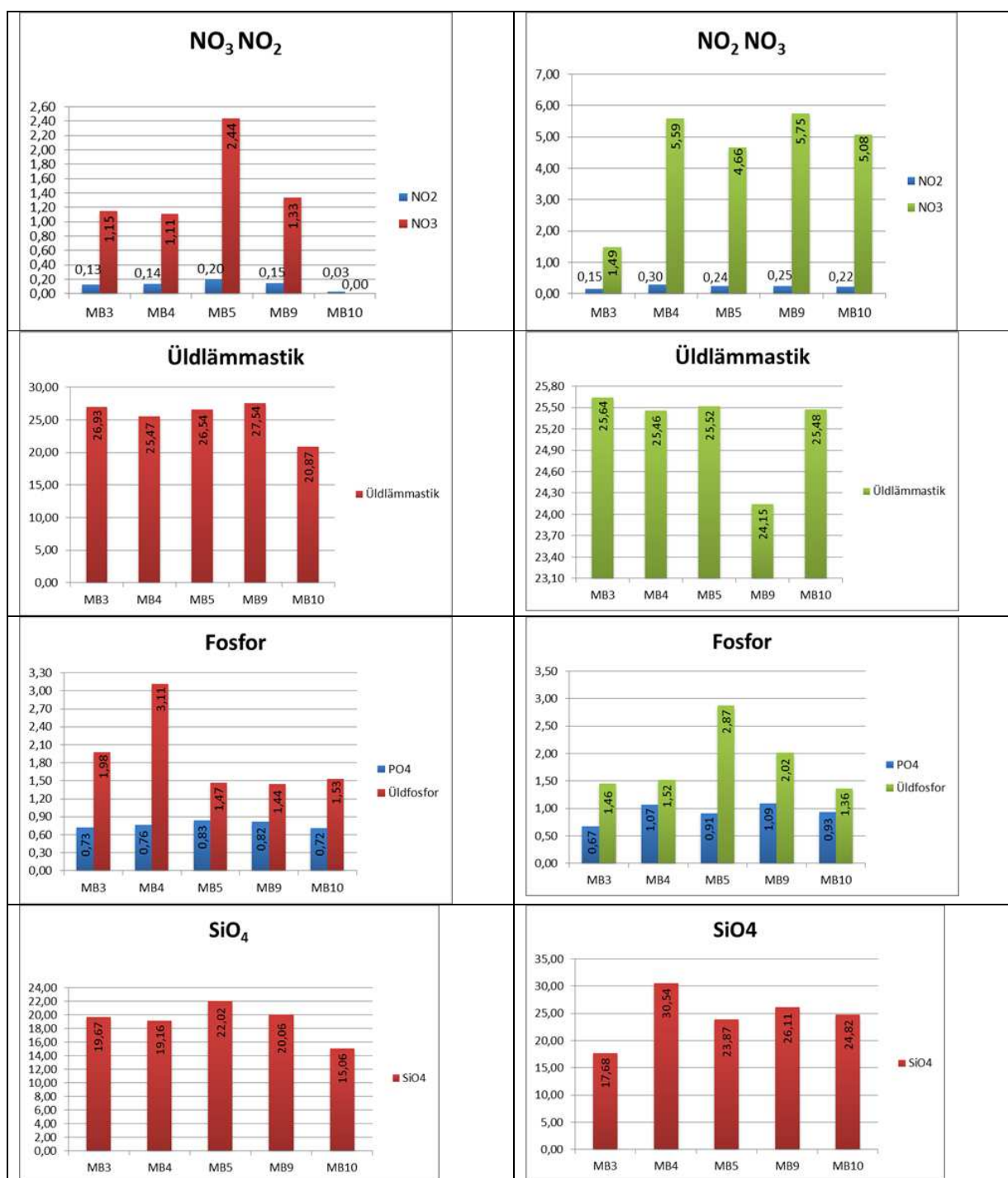
Joonis 13. Hajumiskoeffitsiendi spektrid 1 m sügavusel 16.05 (ülemine paneel), 18.07 (keskmine paneel) ja 07.11. 2011 (alumine panneel).

Biogeenid

Liigne toitainete rikkus veekogudes põhjustab eutrofeerumist ja fütoplanktoni vohamist. Enamasti satuvad toitained merre põllumajandusest, läbi jõgedesse ja ojadesse sattunud lämmastiku ja fosfori. Samuti võivad toitainete allikaks sageli olla ka tööstused. Järgnevalt on analüüsitud kevadisi anorgaaniliste toitainete NO_2 , NO_3 ja PO_4 ning üldlämmastiku ja üldfosfori kontsentratsioone ja nende jaotust Muuga lahe piirkonnas. Joonisel 14 on toodud jaamad, millede võeti toitainete määramiseks veeproove.



Joonis 14. Veeproovide võtmise asukohad Muuga lahes.



Joonis 15. Toitainete jaotused pinnakihis (parempoolsed paneelid) ja põhjakihis (vasakpoolsed paneelid) 16.05.2011.

NO₂ kontsentratsioonid olid kõrgemad Tahkumäe neemest lääne poole jääva Kroodi oja suublas (MB5) (Joonis 15). NO₂ kontsentratsioon selle jaama pinnakihis oli 0,20 µM/L. Jaamades MB3, MB4 ja MB9 jäid NO₂ kontsentratsioonid vahemikku 0,13-0,15 µM/L. Jaamas MB10, mis asub lahe keskosas, oli NO₂ kontsentratsioon vaid 0,03 µM/L. Põhjakihis jäi enamus NO₂ kontsentratsioone vahemikku 0,24-0,3 µM/L.

Kõrgemad NO_3 kontsentratsioonid pinnakihis mõõdeti samuti Kroodi oja suubla lähedal. NO_3 kontsentratsioon jaamas MB5 oli 2.44 $\mu\text{M/L}$, ülejäänud jaamades jäid NO_3 kontsentratsioonid vahemikku 1.11-1.33 $\mu\text{M/L}$. Põhjakihis oli NO_3 kontsentratsioon madal jaamas MB3 (1.49 $\mu\text{M/L}$). Teistes jaamades varieerusid NO_3 kontsentratsioonid vahemikus 4.66-5.75 $\mu\text{M/L}$.

Pinnakihis mõõdetud PO_4 kontsentratsioonid muutusid vahemikus 0.72-0.83 $\mu\text{M/L}$. Kõrgemad PO_4 kontsentratsioonid olid Tahkumäe neeme lähedal, jaamades MB9 ja MB5, vastavalt 0.82 ja 0.83 $\mu\text{M/L}$. Põhjakihis olid PO_4 kontsentratsioonid vahemikus 0.91-1.09 $\mu\text{M/L}$. Jaamas MB3 oli teiste jaamadega võrreldes suhteliselt madal kontsentratsioon, 0.67 $\mu\text{M/L}$.

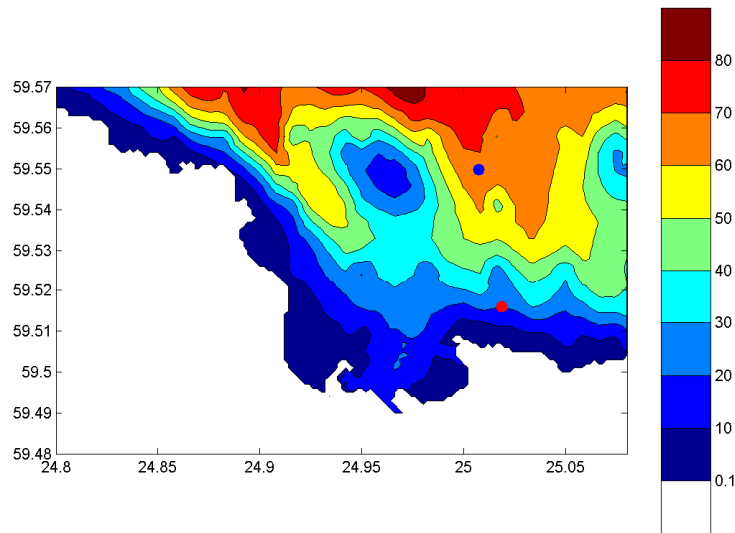
Pinnakihis muutusid üldfosfori kontsentratsioonid vahemikus 1.44-3.11 $\mu\text{M/L}$. Kõrgemad üldfosfori kontsentratsioonid olid jaamades MB3 ja MB4, vastavalt 1.98 ja 3.11 $\mu\text{M/L}$. Põhjakihis mõõdeti suurim üldfosfori kontsentratsioon jaamas MB5 (2.87 $\mu\text{M/L}$). Kõrgem oli ka jaamas MB9 mõõdetud üldfosfori kontsentratsioon, 2.02 $\mu\text{M/L}$. Teistes jaamades mõõdetud põhjakihi üldfosfori kontsentratsioonid jäid vahemikku 1.36-1.52 $\mu\text{M/L}$. Põhjakihi suuremad üldfosfori kontsentratsioonid olid Kroodi oja suublas, mis on aja jooksul olnud kõrge tööstusreostuse surve all.

Räni (SiO_4) on oluline toitaineline merekeskkonnas. Enamus räni transporditakse merre jõgede kaudu. Pindmises kihis muutus SiO_4 kontsentratsioon vahemikus 15.06-22.02 $\mu\text{M/L}$, kusjuures suurim räni kontsentratsioon oli Kroodi oja suublas (MB5). Suhteliselt kõrgeid SiO_4 kontsentratsioonid oli ka põhjakihis, muutudes vahemikus 17.68-30.54 $\mu\text{M/L}$. Kõrgeim kontsentratsioon mõõdeti jaamas MB4 ja madalaim jaamas MB3.

Mõõdetud tuuled ja hoovused

Mõõteriistad ja andmestik

Hoovuse kiirusi mõõdeti akustilise mõõteriista e ADCP-ga (Acoustic Doppler Current Profiler), mis võimaldab hoovuse kiiruse vertikaalseid profileid praktiliselt üle kogu veesamba ning seda väga hea vertikaalse lahutusega. Antud mõõtmistes kasutati kahte firma RD Instruments enimlevinud mudelit *Workhorse Sentinel* töösagedusega 307.2 kHz, mis olid paigaldatud traalimiskindlatele merepõhja platvormidele Barnacle 60P. Hoovuste read saadi kahest mõõtmisjaamast: Muuga lahe idaosas (59°31.0'N; 25°01.1'E) ~1 km kaugusel kaldast ja Muuga lahe kirdeosas (59°33.0'N; 25°00.5'E) ehk ~4 km eelmisest põhja pool (Joonis 16). Esimese jaama sügavus oli ~22.5 m ning seal teostati mõõtmisi kahes järjestikus ajavahemikus 18.07.–07.09.2011 (suveperiood) ning 09.09.–07.11.2011 (sügisperiood). Edaspidi nii tekstis kui ka joonistel on kasutatud jaama tähistena vastavalt ADCP1_1 ja ADCP1_2. Teine jaam (edaspidi ADCP2) asus ~68 m sügavusel ning hoovuste ridu mõõdeti ainult eelpooltoodud teises ajavahemikus.



Joonis 16. Muuga lahe ja selle lähimere batümeetriline kaart. Punane ring tähistab ADCP1 ja sinine ring ADCP2 asukohti. Sügavuste skaala on meetrites.

Mõlemad ADCP-d olid seadistatud mõõtma hoovuse kiiruse komponente keskmistatuna üle 1-meetriste sügavusvahemike st mõõtesügavuseks loetakse iga vahemiku kesksügavust. Tulenevalt ADCP tööspetsiifikast ei saada andmeid vahetult mõõteriistast ülalpool asuvast nn 'pimedast tsoonist' ja merepinnalähedasest kihist, mille paksus sõltub omakorda ADCP paigalduskaldest ja -sügavusest. Seetõttu saadi hoovuse kiiruste read järgmistes sügavusvahemikes: ADCP1_1 3–19 m, ADCP1_2 5.5–18.5 m ja ADCP2 6–64 m. Mõõtmisintervalliks oli valitud 10 min ning iga intervalli jooksul profileeriti veesammast 50 korda, milliste keskmisena saadi tulemus igas sügavusvahemikus. Selliselt seadistatud ADCP andmete müra standardhälve on 1.9 cm/s.

ADCP andmete kvaliteedi kontrolliks kasutati nn 'siseparameetreid', milliste alusel selgitati välja vigased andmed ning asendati hiljem lineaarse interpolatsiooni meetodiga. Järgnevas analüüsis kasutatakse ainult madalsageduslikke andmeridasid, et välistada inertsvõnkumistest ja seiššidest tingitud ostsilleeruvad hoovused. Selleks siluti ridu 48-tunnise filtriga.

Tuule andmestik saadi Muuga sadama meteojaamast, millises tuule kiiruse ja suuna andurid (firma Aanderaa) paiknevad 12 m kõrgusel merepinnast. Mõõtmisintervalliks oli 5 min. Tuuleread filtreeriti analoogiliselt hoovuse kiiruse ridadega. Ainult kvantitatiivseteks hinnanguteks kasutati ka 1-tunniseid keskmisi andmeid. Siinjuures olgu lisatud, et mõõdetud tuule kiirused võivad olla mõnevõrra alla hinnatud maatuulte st lõunakaare tuulte puhul.

Tuuled

Tuuled Soome lahe kohal on üldiselt põhjustatud aktiivse (antud laiuskraadidel) atmosfääri tsükloonaalse tegevuse tõttu. Seetõttu on tuul tavaliselt suhteliselt muutlik nii kiiruselt kui ka suunalt, olles seejuures sesoonsete iseärasustega. Teatav sesoonne tuulemuster oli hästi jälgitav ka 2011 a. suvel ja sügisel. Suvise mõõteperioodi jooksul valdavalt mõõdukad tuuled puhusid kahest domineerivast suunast (Joonis 17, ülemine graafik). Selgelt eristusvad kaks umbes nädalase pikkusega tugevamate lõunatuulte episoodi alates 5. ja 24. augustil, millistes tuule kiirused jäid vahemikku 5–7 m/s. Samuti domineerisid idakaarte tuuled, mis olid kohati isegi tugevamad kiirustega kuni 10–11 m/s (näit 29. juulil, 13. ja 19. augustil). Ülejäänud vaatlusaja jooksul olid tuuled suhteliselt nõrgad (<4 m/s) ning ilma domineeriva suunata.

Sügisperioodi tuulte muster (Joonis 18, ülemine graafik) oli oluliselt erinev suvisest seda suurenenud tsükloonaalse aktiivsuse tõttu. Domineerisid S–SW tuuled, mille kiirused jäid põhiliselt vahemikku 5–9 m/s. Perioodi esimeses pooles (kuni 1. oktoobrini) on jälgitav teatud tuulte korduvus: 3–5 päevased lõunakaarte tuuleepisoodid vaheldusid umbes ühepäevase läänetuule perioodidega. Viimaseid iseloomustas seejuures suurem tuule kiirus, näit kuni 11 m/s 23. septembril. Tugevaimad tuuled mõõdeti oktoobri keskpaiku ning need olid seotud sügavamate madalrõhkkondadega. Neist põhjustatud lõunatuulte kiirused ulatusid kuni 12 m/s 18. oktoobril ja põhjatuulte kiirused kuni 14.5 m/s 12. oktoobril.

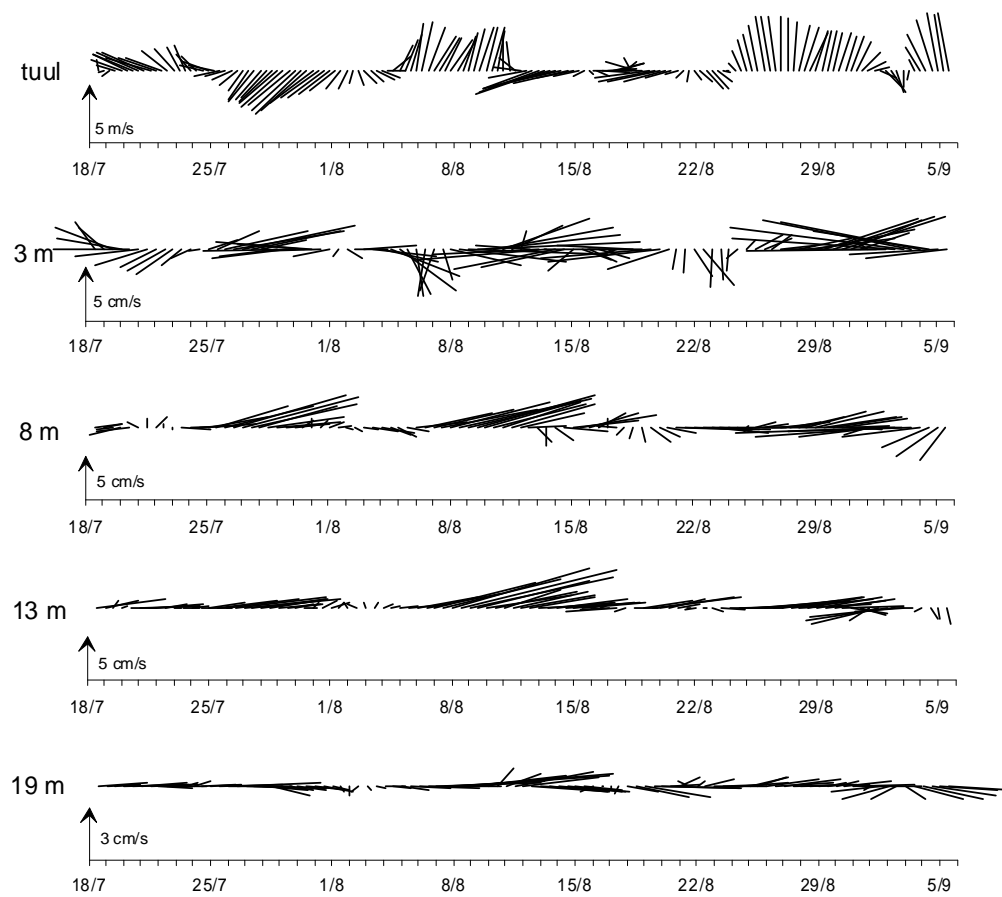
Hoovused

Kaldaäärne meri (ADCP1)

Madalsageduslikud hoovused kaldalähedases jaamas olid kogu mõõtmisperioodi jooksul valdavalt suunatud piki kallast (ida või lääne suunas) ning olid ligilähedaselt barotroopse iseloomuga st ilma oluliste muutusteta vertikaalis (Joonised 17 ja 18). Ainult hoovuse suuna muutumisel vastupidiseks esinesid paaripäevased perioodid, milliste jooksul hoovus oli kaldasuunaline (näit. 21.–23. august ja 17.–18. oktoober). Üldise tendentsina on jälgitav hoovuse kiiruste oluline vähenemine mere põhjalähedases kihis (vt alumisi graafikuid, kus on esitatud andmed maksimaalsel mõõtesügavusel ~4 m kaugusel põhjast), mis on seletatav merepõhja hõõrde mõjuga.

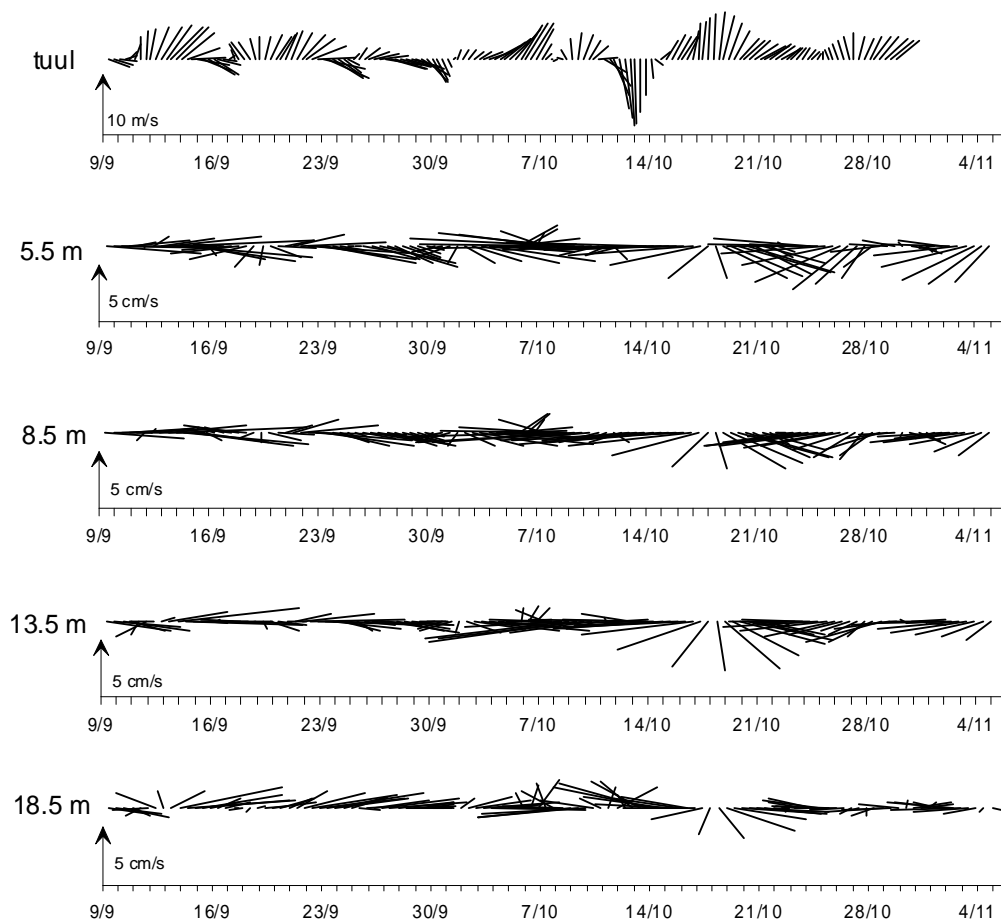
Seejuures torkab silma mõningane erinevus suve- ja sügisperioodi vahel (Joonis 19). Suveperioodil oli voolamine valdavalt suunatud itta kusjuures maksimaalseks kiiruseks mõõdeti 18 cm/s. Tavaliselt jäid idasuunalised kiirused vahemikku paar kuni 10 cm/s. Tugev läänesuunaline hoovus mõõdeti perioodi lõpuosas (Joonis 17), millal kiirused ulatusid kuni 17 cm/s. Ülejäänud läänesuunalised liikumised ei ületanud 5 cm/s. Sügisperioodil suurenes läänesuunaliste hoovuste osakaal (kuni 15 cm/s), samuti vähenesid idasuunalised maksimaalsed kiirused (kuni 12 cm/s). Olgu lisatud, et põhjalähedaste hoovuste keskkiirused olid vastavalt 2.6 ja 4.0 cm/s vastavalt suve- ja sügisperioodi jaoks ning maksimaalsed kiirused ulatusid kuni 9 cm/s.

ADCP1_1

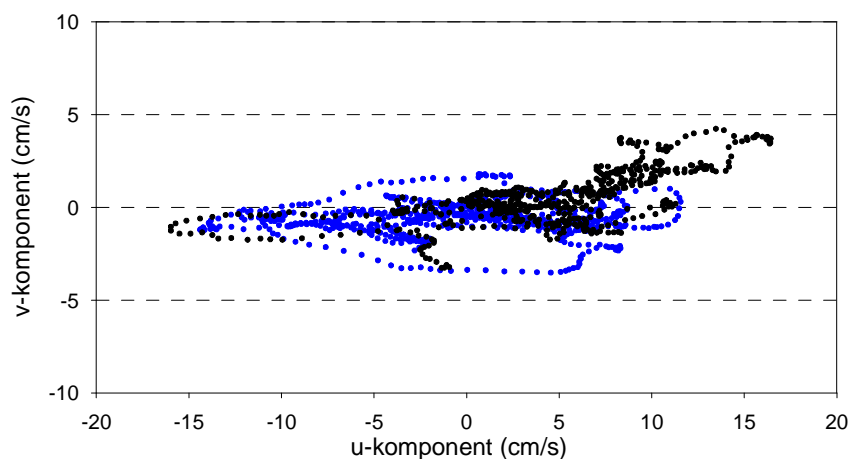


Joonis 17. Tuule ja hoovuse vektorite (erinevatel sügavustel) ajaline käik jaamas ADCP1_1. Nool iga graafiku vasakul otsal näitab vektorite põhjasuunda (N) ja noole pikkus varustatuna numbriga kiiruse mastaabi.

ADCP1_2



Joonis 18. Tuule ja hoovuse vektorite (erinevatel sügavustel) ajaline käik jaamas ADCP1_2. Nool iga graafiku vasakul otsal näitab vektorite põhjasuunda (N) ja noole pikkus varustatuna numbriga kiiruse mastaabi.



Joonis 19. Hoovuse kiiruse komponentide seos 10 m sügavusel kogu mõõtmisperioodi jooksul. ADCP1_1: mustad punktid, ADCP1_2: sinised punktid.

Suhteliselt suurte kiirustega madalsageduslike hoovuste esinemine kaldaalas (suunatuna piki isobaate) on üldiselt kooskõlas varasemate uuringutega erinevates meredes. Jaam ADCP1 asus suhteliselt ühtlase kaldega nõlva ülaosas ning jaama paarikilomeetrises ümbruses olid isobaadid

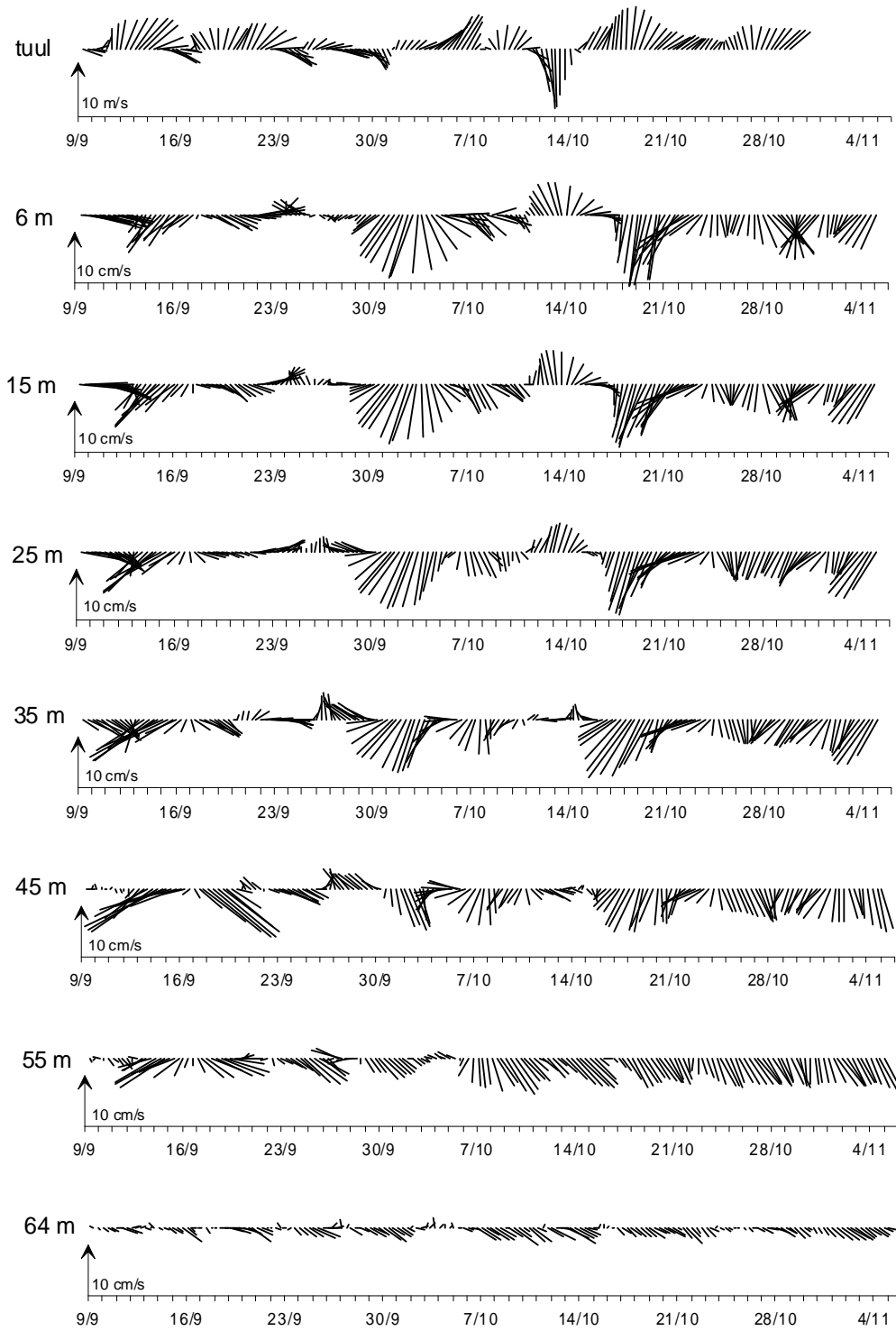
ida-läänesuunalised. Mere ülemises kihis domineerivad tavaliselt tuulehoovused, mis on suunatud tuule suunast paremale. Esitatud tuuleandmed siiski sellist hoovuse ajalist käiku ei seleta. Kaldaalas esinevad sõltuvalt soodsatest tuultest *upwellingud* ja *downwellingud*, millistega kaasnevad barokliinse iseloomuga joad põhiliselt mere ülemises kihis (antud juhul siiski välistatud liiga väikese kauguse tõttu kaldast). Samuti põhjustab tuul kaldaalas (eriti lahtede piirkonnas) suuremaid veepinna kaldeid ning seetõttu barotroopse hoovuse komponendi. Seetõttu, mõõdetud hoovuste barotroopne iseloom ja hoovuste suunamuutused olid suure tõenäosusega tingitud veetaseme muutustest, kusjuures hoovused ise olid tugevalt topograafiliselt tüüritud. Analüüs näitas, et kuus idasuunalist hoovuste episoodi toimusid eelneva vähemalt 3-päevase pikkusega püsivate lõunakaarte tuulte korral ja kestsid kuni sellise tuulerežiimi lõpuni (näit 28.–31. august, 20.–23. oktoober). Seevastu ainus kindlapiirilise tuuletaustaga läänesuunaline hoovuse episood esines 28.–31. juulil püsiva kirdetuule toel. Samas jääb selgusetuks, mis käivitas eelpooltoodud tugevaima läänesuunalise hoovuse suveperioodi lõpus. Seega vajab tulevikus põhjalikum uurimist kuidas need nn eelistuuled (kaudse hoovuse suunajana) kujundavad veetaseme horisontaalset jaotust Muuga lahes ja sellega külgnevas meres. Samuti vajaks uurimist ka võimalus, et mõõdetu (1 km kaugusel kaldast) kajastab kaldalähedasi vastuhoovusi, mis võivad olla üheks osaks keeruka kaldajoone ja põhjatopograafiaga Muuga lahe üldtsirkulatsiooni skeemis.

Sügav meri (ADCP2)

Madalsageduslike hoovuste ajaline käik jaamas ADCP2 näitas selgelt barotroopset iseloomu kuni umbes 50 m sügavuseni (Joonis 20). Mõneti üllatavalt olid hoovused valdavalt lõunasuunalised st vastupidised puhunud tuultele. Suurimad lõunasuunalised kiirused pinnalähedases kihis kuni 14 cm/s esinesid 2. ja 19. oktoobril ning põhjasuunalised kiirused kuni 7 cm/s 12. oktoobril. Kui 12. ja 19. oktoobri suuri kiirusi saab hästi seostada tugevaimate tuultega mõõtmisperioodil, siis 2. oktoobril jääb tuuletausta osa paraku selgusetuks. Alates 23. oktoobrist kuni vaatluste lõpuni oli hoovus praktiliselt statsionaarne. Põhjalähedases kihis (64 m) toimus kiiruste oluline vähenemine, mis väljendus keskkiiruses 2.2 cm/s (maksimaalne kiirus ~6 cm/s) ning hoovuse vektorite pöördumine vastu kellaosuti liikumist. Mõlemad näitajad on heas kooskõlas põhjakihhi Ekmani spiraaliga.

Domineerivad lõunasuunalised hoovused sobituvad suhteliselt hästi piirkonna isobaatide jaotusele kuna jaam ADCP2 asub temast idasse jääva Karbimadala nõlva jalamil (Joonis 16). Samas paikneb ta mandri ja Prangli/Aksi saarte süsteemi vahelise suhteliselt sügava kanali lõunaosas, kus varasemate uuringute kohaselt võib esineda intensiivseid voolamisi sõltuvalt veetaseme jaotusest Soome lahes. Et mõõtmisperioodil puhusid Soome lahe tsüklonaalset tsirkulatsiooni toetavad tuuled, siis võib eeldada et kanalis toimus põhiliselt idasuunaline voolamine. Mõõdetud hoovused kajastavad seega tõenäoliselt selle voolamise lõunaosa 'kohandumist' vastavalt põhjatopograafiale st eriti idapoolsele Karbimadalale. Kokkuvõtteks, kirjeldatud lõunasuunalised hoovused võivad osutada oluliseks veevahetuse seisukohalt Muuga lahe piirkonnas.

ADCP2



Joonis 20. Tuule ja hoovuse vektorite (erinevatel sügavustel) ajaline käik jaamas ADCP2.

Kokkuvõte

Kolmel ekspeditsioonil Muuga lahele kevadel, suvel ja sügisel mõõdeti erinevad veekvaliteedi karakteristikuid ning hoovuse kiirusi sõltuvalt tuuletingimustest. Mõõtmistulemused näitavad, et tegemist on looduslike protsessidega ning märgatavat antropogeenset mõju vähemalt mõõtmiste tegemise ajal ei täheldatud. Seega kirjeldavad antud mõõtmised looduslikku fooni, mille alusel saab edaspidi hinnata inimtegevuse keskkonnamõju Muuga lahele.

Modelleerimine

Mudeli kirjeldus

Kõik mudelarvutused on teostatud 3-mõõtmelise hüdrostaatilise tsirkulatsiooni mudeliga GETM (General Estuarine Transport Model, www.getm.eu). Mudelis arvutatakse hoovuse kiiruse ning temperatuuri ja soolsuse 3-mõõtmelised väljad. Vertikaalne mudeli võrk järgib batümeetriat andes sellega parema põhjalähedaste hoovuste ning aineleviku kirjelduse. Mudeli vertikaalsest lahutusest väiksema mastaabiga turbulentsne segunemine on parametrizeeritud kasutades k-epsilon skeemi, mis on saadud 1-mõõtmelisest turbulentsi mudelist GOTM (General Ocean Turbulence Model). Liikumishulga, soolsuse ja temperatuuri adveksiooni parametrizeerimiseks on GETM-is kasutatud kõrgemat järku adveksiooni skeemi TVD (total variation diminishing) koos suuna eristusega. Aineleviku uurimiseks on GETMi lisatud moodul, mis kirjeldab passiivsete osakeste levikut.

Mahuka arvutustöö tõttu on kasutatud TTÜ Meresüsteemide Instituudi kobararvutit, mis võimaldab paralleelarvutust.

Tsirkulatsiooni mudelit GETM on varasemalt edukalt rakendatud arvukates ranniku- ja avameremere simulatsioonides, kus on vaja kõrglahutusega mudelit, mis arvestaks lisaks hüdrodünaamikale ka ainelevikut. Näiteks on mudelit kasutatud Saksamaa rannikualade (Wadden, Elbe) setete dünaamika ja Taani väinade veevahetuse arvutamiseks.

Mudeli seaded

Seadistati kaks mudeli versiooni – kõrgema lahutusega (0.25 meremiili) mudel Muuga lahe piirkonnas (Joonis 21) ning madalama lahutusega (2 meremiili) mudel kogu Läänemere jaoks. Kõrgema lahutusega mudeli veetaseme, soolsuse ja temperatuuri rajatingimused on interpoleeritud madalama lahutusega mudeli võrgupunktidest. Mõlema mudeli vertikaalne lahutus on 25 sigma kihti, mis on tihendatud pinna ja põhja lähedal. Madalama lahutusega mudeli puhul on arvesse võetud ka Läänemere suuremad jõed. Muuga lahe simulatsioonides ühtegi sissevoolavat jõge ei ole arvestatud. Mõlema mudeli batümeetria on interpoleeritud IOW (Baltic Sea Research Institute in Warnemünde) 1-meremiilisest digitaalsest topograafiast ning on silutud üle ühe naaberpunkti. Suurema lahutusega mudeli batümeetriat täpsustati Eesti Veeteede Ameti merekaartide abil. Mudeli soolsuse ja temperatuuri algväljad on interpoleeritud talvistest keskmistest kliimaatilistest väljadest.

Meteoroloogilised mõjuväljad on saadud Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituudi hüdrostaatilise atmosfääri mudeli HIRLAM väljundist. GETM-is arvutatakse soojusvood kasutades pilvisuse, õhuniiskuse ja õhutemperatuuri andmeid. Tuulepinge arvutati tuulekiiruse komponentidest, arvestades ka atmosfääri stabiilsust.

Mudeli valideerimiseks on valitud periood 1. veebruar kuni 31. november 2011, mis katab Muuga lahes teostatud ekspeditsioonide perioodi.

Soolsus ja temperatuur

Muuga lahes teostati 16. mail, 18. juulil ja 7. novembril ekspeditsioonid, mille käigus mõõdeti temperatuuri ja soolsuse vertikaalsed profiilid (v.t. mõõdistuste aruannet). Joonisel 22 on toodud samadel päevadel mudelarvutusest saadud soolsuse ja temperatuuri vertikaalsed profiilid erinevatest

Muuga lahe piirkondadest.

Temperatuuri profiilid 16. mail on iseloomulikud kevadisele veesamba soojenemisele (Joonis 22, ülemine paneel). Pinnakihi temperatuur muutus vahemikus 2-4 °C, põhjakihi temperatuur oli madalam, muutudes vahemikus 2-2.5 °C. Modelleeritud pinnakihi soolsus muutus vahemikus 5.4-5.7, kasvades 20 m sügavusel kuni 6.

Suvistele temperatuuri profiilidele oli iseloomulik tugeva termokliini formeerumine (Joonis 22, keskmine paneel). Pinnakihis ulatusid temperatuurid kuni 21 °C, madalamatel aladel ning lahe avaosas oli temperatuur 19 °C. Läbisegunenud ülemise veekihi paksus oli 5-10 m. Temperatuuri järsk hüppekiht (termokliin) jäi vahemiku 10-20 m, kus temperatuur vähenes 10 °C. Arvestatavaid horisontaalseid erinevusi temperatuuri jaotused ei olnud. Soolsuse pinnakihi väärtused varieerusid vahemikus 4.9-5.8. Samasugust soolsuse varieeruvust Muuga lahe pinnakihis näitasid ka mõõtmised. Sügavuse suurenedes suurenes ka soolsus kõikjal Muuga lahes, olles 20 m sügavusel vahemikus 6-6.5 ja 40 m sügavusel vahemikus 6.9-7.1.

Sügisese soolsuse ja temperatuuri jaotused näitasid kogu veesamba läbisegunemist (Joonis 22, keskmine paneel). Kogu veesambas oli ühtlane temperatuur, muutudes vahemikus 9.5-10 °C. Vaid lahe sügavamates osades oli näha nõrka termokliini, mille sügavus (40-50 m) langes hästi kokku mõõtmisandmetega. Sarnased olid ka soolsuse vertikaalsed profiilid, kus läbisegunenud kihi paksus oli rannikualadel 20 m ja sügavamatel aladel ligi 40 m. Pinnasoolsus oli mudelis mõnevõrra alahinnatud, jäädes vahemikku 5-5.7.

Mudel reprodutseeris küllalt hästi temperatuuri sesoonse käigu. Nii ülemise segunenud kihi sügavus kui ka keskmised temperatuurid on hästi kooskõlas mõõtmisandmetega. Sügavamate veekihtide soolsused olid paremas kooskõlas mõõtmistega kui pinnakihi soolsused. Suuremad lahknemised mõõtmistest olid pinnakihi soolsus, kus erinevus oli vahemikus 0.5-1. Tõenäoliselt oli see tingitud keskmisest aktiivsema läänesuunalisest voolamisest, mis tõi Soome lahe idaosast rohkem magedamat vett.

Hoovused

Suvine periood

Suvisel perioodil mõõtmised näitasid, et ADCP1 asukohas oli keskmine hoovus kogu veesambas idasuunaline (Joonis 23, ülemine paneel). Mudel reprodutseeris samuti kogu veesambas peamiselt idasuunalise hoovuse kuid alahinnanud hoovuse kiirust. Muutlike tuulehoovuste tõttu oli modelleeritud keskmine hoovuse kiirus pinnakihis väiksem kui sügavamates kihtides, kus voolamine on stabiilsem. Põhjakihis olid keskmised hoovuse kiirused väiksemad põhjahõõrde tõttu. Vertikaalselt keskmestatud horisontaalsete kiiruste jaotus näitab, et suvisel perioodil olid Muuga lahe piirkonnas valdavalt idasuunalised hoovused. Suuremad hoovuse kiirused olid vaadeldava piirkonna avamerepoolses osas ning väiksemad ranniku lähedal (Joonis 24).

Sügisene periood

Sügisel perioodil horisontaalsete kiiruste jaotus näitab, et Muuga lahe avaosas valitsesid septembris ja oktoobris valdavalt läänesuunalised hoovused (Joonis 25), kusjuures Ihasalu lahes formeerus pööris. Hoovusemõõtjate ADCP1 ja ADCP2 asukohad olid selle pöörise lääne- ja lõunaosas, kus toimiski valdavalt lõuna ja edela suunaline ning kaldalähedal lääne suunaline vee liikumine. Lahe sügavamates osades domineerisid läänesuunalised hoovused, mis on tingitud vee tungimisest läbi Aksi

saare ja Ihasalu poolsaare vahelise väina. See püsiv hoovus on seletatav sellel perioodil valitsenud lääne- ja edelatuulte poolt tekitatud veetaseme tõusuga regiooni kirde osas (Joonis 26) ja ka kogu Soome lahe idaosas.

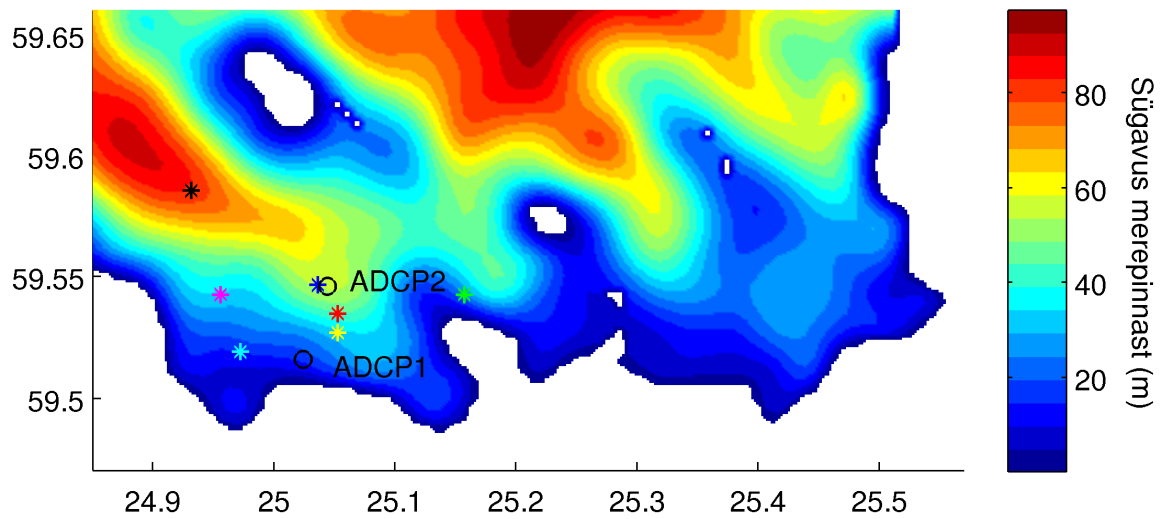
Sügisel perioodil võis ADCP1 asukohas märgata nii mõõtmisandmetes kui ka mudeli tulemustes pinnakihi keskmist loodesihilist voolamist ja hoovuse pöördumist kirdesse põhjakihis (Joonis 23, alumine paneel). Keskmised kiirused ühtivad mõõtmistega hästi, olles siiski veesamba keskmistel sügavustel ülehinnatud ligikaudu 1 cm/s. Modelleeritud pinnakihi keskmised hoovuse vektorid pöördusid sarnaselt mõõdetud hoovustele, pinna lähedal ida suunda. Mudeli keskmiste kiiruste horisontaalne jaotus näitab, et ADCP1 asus tekkinud keerise lõunapoolses osas, kus hoovuse kiiruse suund muutus kiiresti, pöördudes ranniku lähedal loodest itta.

Mudeli tulemustest arvatud keskmised hoovuse vektorid ADCP2 asukohas on toodud Joonisel 27. Modelleeritud hoovused ühtivad hästi vaadeldava koha topograafilise eripäraga. Peamiselt läänesihilised hoovused on tingitud antud koha isobaatide sihist, mis on sammuti ida-lääne suunalised ning domineerivatest lõuna ja edela tuultest. Keskmistel sügavustel modelleeritud hoovuste ja mõõdetud hoovuste suunad lahkesid. Mõõdetud hoovused olid peamiselt lõuna- ja edelasuunalised. Samuti on mudel alahinnanud hoovuste kiirusi. Põhjalähedases kihis on simulatsioon hästi reprodutseerinud keskmise edelasuunalise hoovuse.

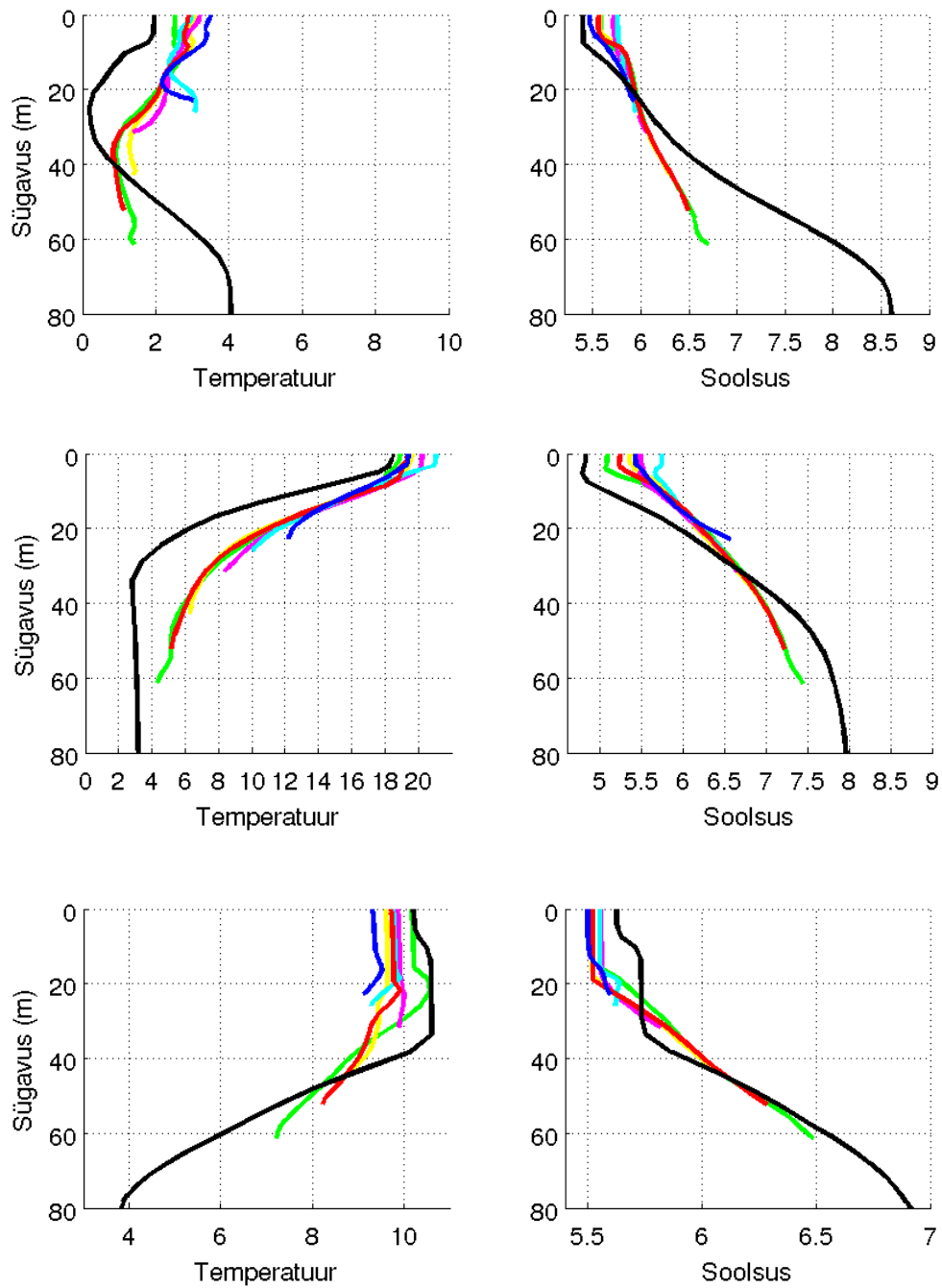
Kokkuvõtte

Soolsuste erinevus võrreldes mõõtmisandmetega võib olla tingitud sellest, et on kasutatud kliimaatilisi keskmisi algvälju, mis ei kirjelda täpselt ekspeditsioonide perioodi soolsuse välju. Siiski on põhjakihi soolsus reprodutseeritud küllaltki hästi. Mudelarvutustest saadud soolsuse väli on ka suurema ruumilise muutlikkusega kui näitasid suvised mõõtmised. Sügisesed madalamad pinnakihi soolsused võrreldes mõõtmistega, on tingitud simuleeritud keskmisest aktiivsemate läänesuunalise hoovuste tõttu, mis transportisid magedamat vett Soome lahe idaosast.

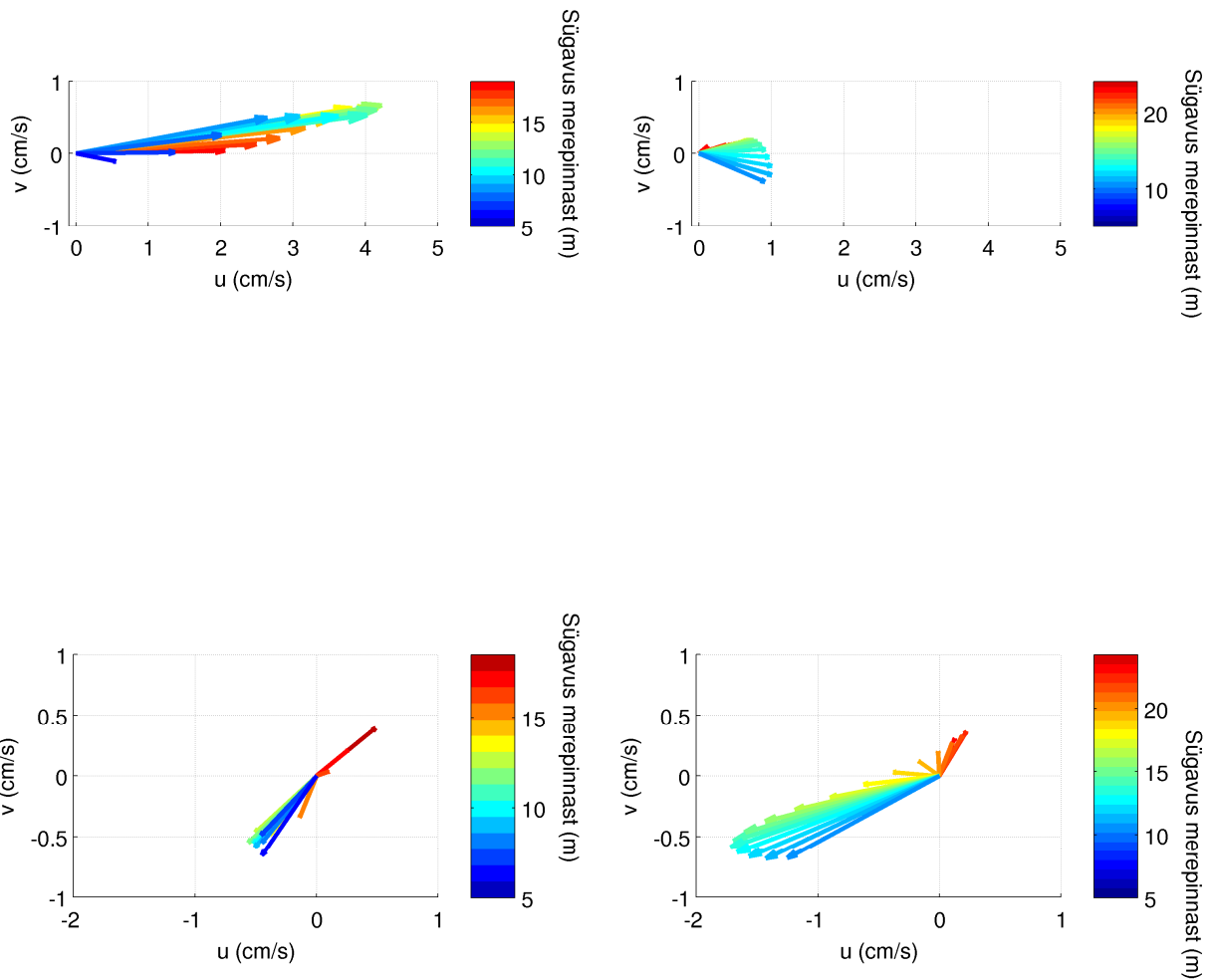
Sügiseste keskmiste hoovuste horisontaalsest jaotusest võib näha keerissüsteemi, mis on tekkinud Ihasalu lahte tänu läänesuunalisele hoovusele läbi Aksi saare ja Ihasalu poolsaare vahelise väina. Selle keerise tõenäoliselt erinev geograafiline paiknemine simulatsioonis, võrreldes loodusega, võib olla üks põhjus mõõdetud ja modelleeritud hoovuste erinevusele mõlemas ADCP asukohas. Ka suviste kiiruste alahindamist võib seletada kui protsesside ruumilist nihet kuna horisontaalne kiiruste jaotus näitas, et mõnevõrra avamere pool ADCP1 asukohast on mudel reprodutseerinud ida suunalised hoovused, mille keskmised kiirused muutusid vahemikus 3-4 cm/s. Mudel reprodutseeris hästi rannikusihilised hoovused, nii nagu näitasid mõõtmised ADCP1 asukohas. Hoovuste horisontaalsed jaotused näitasid, et sarnaselt käituvad hoovused ka kogu Muuga lahe ulatuses, seega kirjeldab mudel ka vaadeldava regiooni hüdrodünaamilisi protsesse piisavalt hästi.



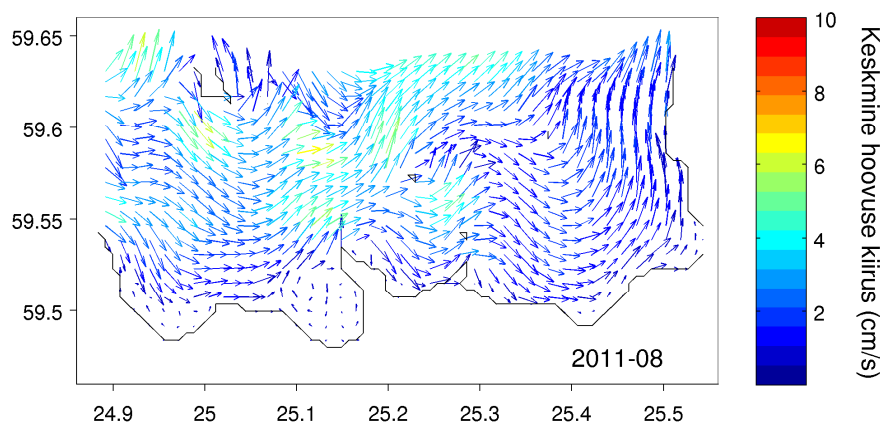
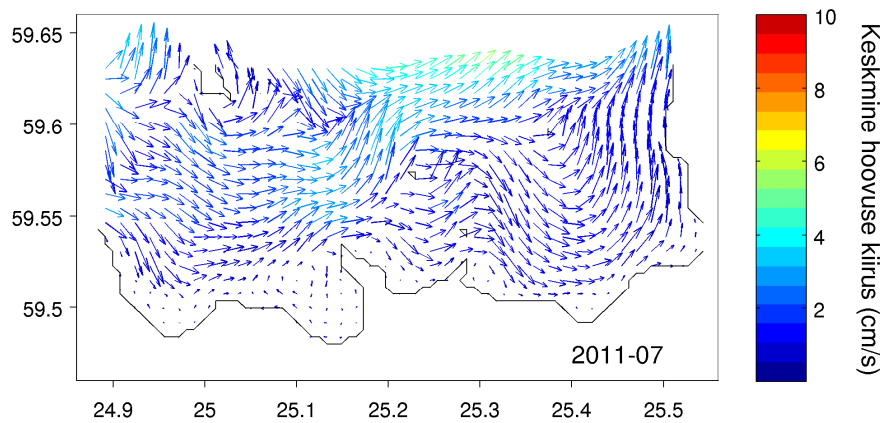
Joonis 21. Muuga lahe batümeetria. Joonisel on näidatud ADCP1 ja ADCP2 asukohad. Värviliste tärnidega on tähistatud ekspeditsioonidel tehtud CTD sondeerimiste asukahad, mida kasutati mudelarvutuste tulemuste võrdlemiseks.



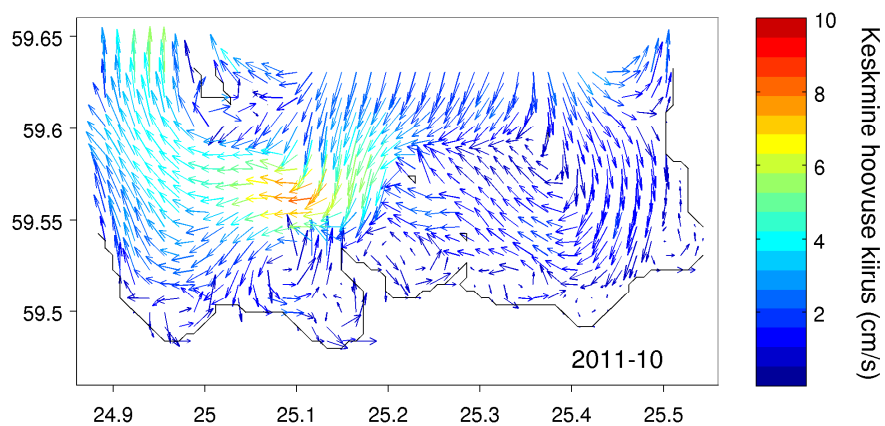
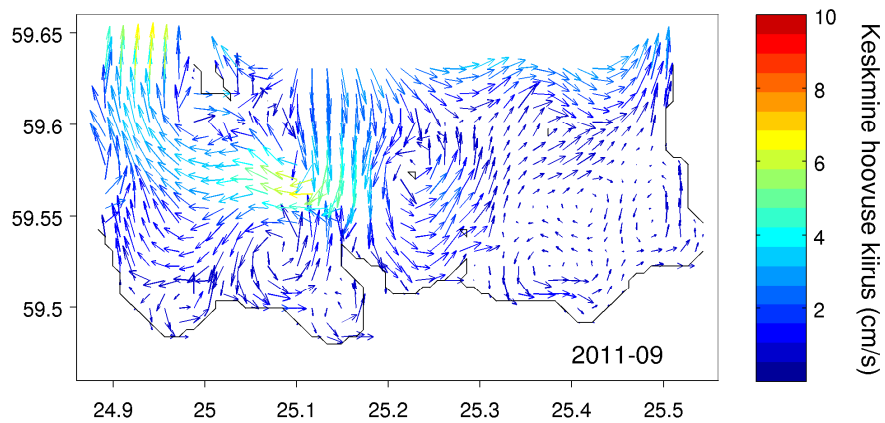
Joonis 22. Simulatsioonidest saadud temperatuuri ja soolsuse vertikaalsed profiilid. Ülemisel paneelil on 16. mai, keskmisel paneelil 18. juuli ja alumisel paneelil 7. novembri temperatuuri ja soolsuse vertikaalsed profiilid erinevatest Muuga lahe osadest. Profiilide värvid vastavad CTD sondeerimiste asukohtadele Joonisel 21.



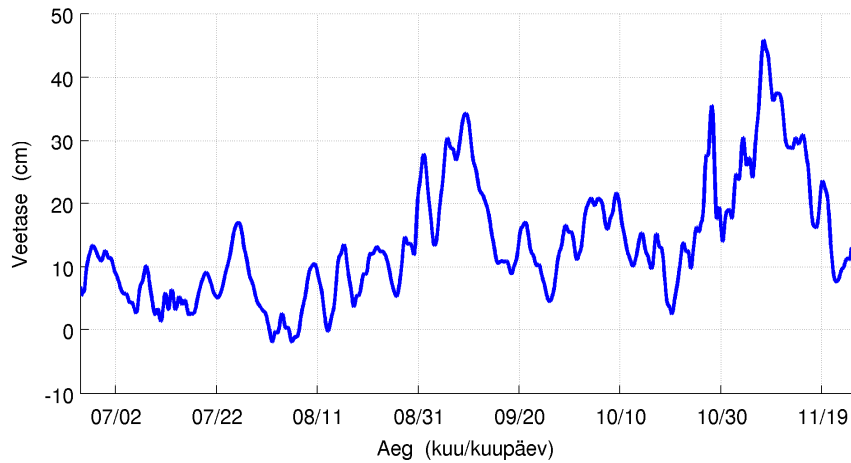
Joonis 23. Horisontaalsete kiiruste keskmised vektorid erinevatel sügavustel ADCP1 asukohas. Sügavused on näidatud värvuskaalal. Ülemisel paneelil on suvise perioodi keskmised kiiruse vektorid ja alumisel paneelil sügises perioodi keskmised kiiruse vektorid. Vasakpoolsetel paneelidel on mõõdetud kiirused ja parempoolsetel paneelidel on mudelarvutustest saadud kiirused.



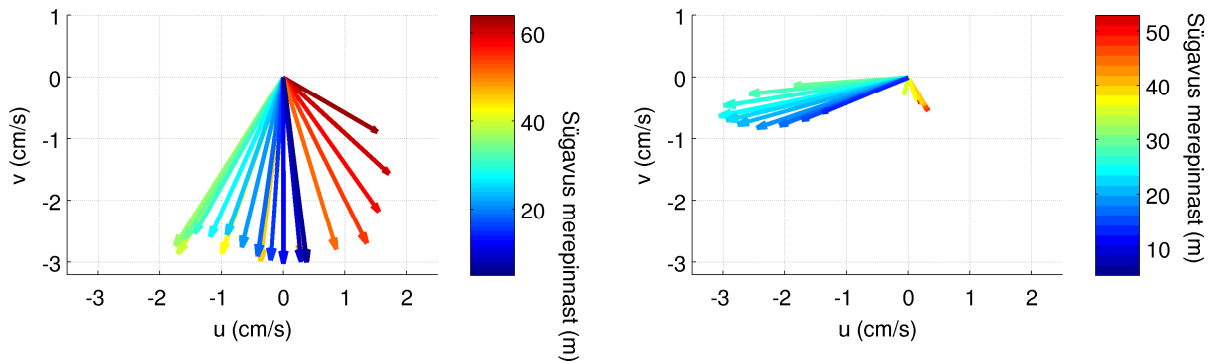
Joonis 24. Veetsamba keskmised hoovuse kiirused juulis (ülemine paneel) ja august (alumine paneel). Värvusskaalal on hoovuse kiirused cm/s.



Joonis 25. Veetsamba keskmised hoovuse kiirused septembris (ülemine paneel) ja oktoobris (alumine paneel). Värvusskaalal on hoovuse kiirused cm/s.



Joonis 26. Modelleeritud veetasemete aegrida asukohas 59° 40' N, 25° 20' E.



Joonis 27. Sügisperioodi horisontaalsete kiiruste keskmised vektorid ADCP2 asukohas. Keskmised vektorid erinevatel sügavustel on tähistatud värvusskaalaga. Vasakul on mõõdetud ja paremal mudeli tulemused.

Muuga pump-hüdroakumulatsioonijaama keskkonnamõju hinnang

0 Alternatiivi mõju

0 alternatiivi korral säilib praegune merekeskkond

Ehitusaegne mõju

Alternatiiv 1 mõju

Hoovused

Alternatiiv 1 ehitamisaegne mõju hoovustele hinnatakse **mitteoluliseks**, st alternatiiv 1 ehitusjärg ei muuda looduslikku tsirkulatsiooni ning seda põhjusel, et veehaare kujutab endast merepõhja ehitatavat konstruktsiooni marginaalsete mastaapidega.

Heljumi teke ja levik

Alternatiiv 1 korral toimub paratamatult heljumi levik (1) seoses tunneli puurimisega ning (2) konstruktsioonide paigaldamisega merepõhja. Väikese ruumilise ja ajalise ehitusmastaabi tõttu ei ületa konstruktsioonide merre paigaldamisega seotud setete resuspensioon looduslikku setete resuspensiooni fooni. Tunneli puurimisega võib merre sattuda raskeid setteid, millede transport hoovuste poolt on marginaalne ning seetõttu ei toimu ka heljumi teket ega levikut. Alternatiiv 1 mõju heljumi tekkele ja levikule hinnatakse **mitteoluliseks**.

Kalda erosioonile ja rannikuprotsessidele

Alternatiiv 1 ehitusaegne mõju rannikuerosioonile on **mitteoluline**, sest lisaheljumi teke on marginaalne ning merre ei ehitata konstruktsioone, mis blokeeriks kogu veesamba ulatuses tsirkulatsiooni ja lainetust.

Merevee temperatuurile ja soolsusele

Alternatiiv 1 ehitusaegne mõju hüdrofüüsikalistele parameetritele nagu soolsus ja temperatuur on **mitteolulised**, sest merre ei satu vett, mille füüsikalised parameetrid erineksid mereveest.

Jäätetekkele

Mainitud piirkonnas ei teki talvel kinnisjääd ning seetõttu ei mõjuta otsene ehitustegevus jää formeerumist. Samuti puudub mõju merevee temperatuurile ja soolsusele. Alternatiiv 1 mõju jäätetekkele hinnatakse **mitteoluliseks** ehitustegevuse faasis.

Avariilise reostuse levikule

Avariilise reostuse all mõeldakse sadama akvatooriumis või selle piirkonnas merre lekkinud naftareostust ja hinnatakse selle levikut seoses PHAJ-ga. Avarii korral levib naftareostus sõltuvalt tuule suunast. Läänetuulte korral tekivad peamiselt idasuunalised hoovused ning naftareostus levib

alternatiividest sõltumata Muuga sadamast veehaarde lähedale (vastavalt aruandes esitatud hoovuse kiirustele). Idatuulte korral on naftareostuse sattumine veehaarde lähedusse vähe tõenäoline. Käitamise ajal sõltub töötükk, kas veehaarde lähedusse sattunud naftareostus kantakse veehaardesse või eemale, avamere poole (vastavalt aruandes esitatud hoovuse kiirustele).

Kas ja kui palju kütust satub ka veehaardesse, sõltub kütuse tüübist (kergemad õlid ujuvad paremini) ja veehaarde tehnilistest lahendustest (kui sügaval ja kas veehaarde ümber ehitatakse ujuvaid piirdeid). Mingi osa kütusest seguneb kindlasti ka veesambasse (seda lainetuse ja difusiooni tõttu), seega osa reostusest satub veehaarde tõttu kindlasti ka reservuaari. Nii võib juhtuda, et ka peale reostuse eemaldamist/hajumist pumbatakse merre reostunud vett PHAJ reservuaarist. Vee väljapumpamise tsüklis on aktiivsem kütuse hajumine PHAJ'st eemale.

Alternatiiv 1 mõju naftareostuse laialikandumisele ja likvideerimisele seoses hoovuste kiiruse muutusega ehitusfaasis on **mitteoluline**, sest ehitustegevus ei muuda hoovuste kiirusi. Avariilised olukorrad ehitamise ja käitamise ajal, juhul kui võib esineda naftareostus, on leevendatavad kasutades reostustõrje tehnikat.

Ehitusaegne mõju vee läbipaistvusele, hapnikusisaldusele ja toitainetele

Kuna heljumi teke on mitteoluline, siis on ka ehitustegevuse tõttu vee läbipaistvuse vähenemine hinnatud **mitteoluliseks**. Samuti on mõju hapnikusisaldusele ja toitainete kontsentratsioonidele **mitteoluline**.

Alternatiiv 2 mõju

Hoovused

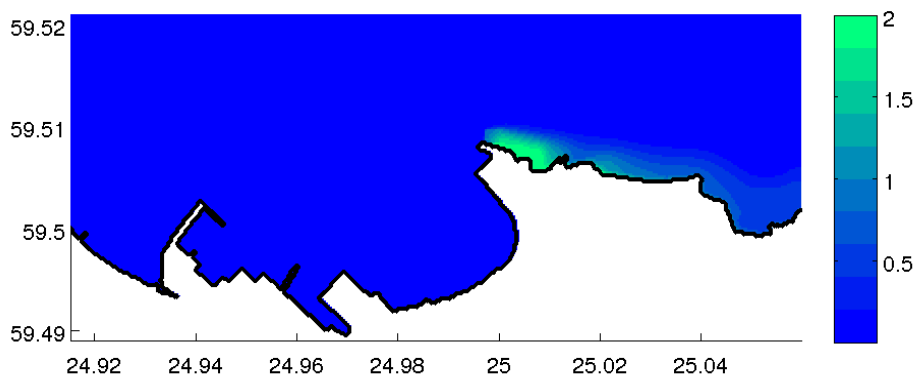
Alternatiiv 2 mõjutab ehitustegevuse käigus hoovuste režiimi ja see asjaolu on illustratiivselt välja toodud rannikuprotsesse puudutavas käitamisaegse mõju hinnangus allpool. Saare ehitus otseselt ei blokeeri veemasside liikumist, hoovused kohalduvad nii, et pöörduvad ümber saare. Nagu eelnevalt mainitud, on valdavaks idasuunalised hoovused. Kohates saart kaardub hoovus ümber selle põhjatipu. Pärast seda pööret jätkab hoovus oma liikumist sarnaselt nagu 0 alternatiivi korral. Seetõttu hindame ehitustegevuse käigus saare mõju hoovustele **lokaalselt oluliseks**.

Heljumi teke ja levik

Saare rajamisel kasutatakse täitematerjalina esimeses faasis liiva. Kui on tekitatud šahti ehitamiseks vajalik plats, täidetakse ülejäänud saare osa väljatava pinnasega (liivakivi). Saare kaldakindlustused tehakse hiljem graniidist. Saare ehitusaeg esimeses faasis on kaks kuud. Seega heljum tekib saare ehitamise esimeses faasis, kui täitematerjalina kasutatakse liiva. Ülejäänud saare ehitusega seotud materjalid heljumina ei levi (graniit ja liivakivi). Kogu saare kubatuur on 250 tuhat m³ ning pool sellest on vee all, mis tähendab, et täitematerjalina kasutatakse 125 tuhat m³ liiva. Varasematele mõõdistusandmetele tuginedes võib eeldada, et 1 % sellest satub merre heljumina, ehk siis 1250 m³ kahe kuu jooksul. Liiva koostises on 10 % savi ja tolmu, mis reaalselt saavad merekeskkonnas edasi levida heljumina – liiva settimiskiirus on suur ja seetõttu ei liigu kaugemale kui 20-30 m ehitustööde alalt.

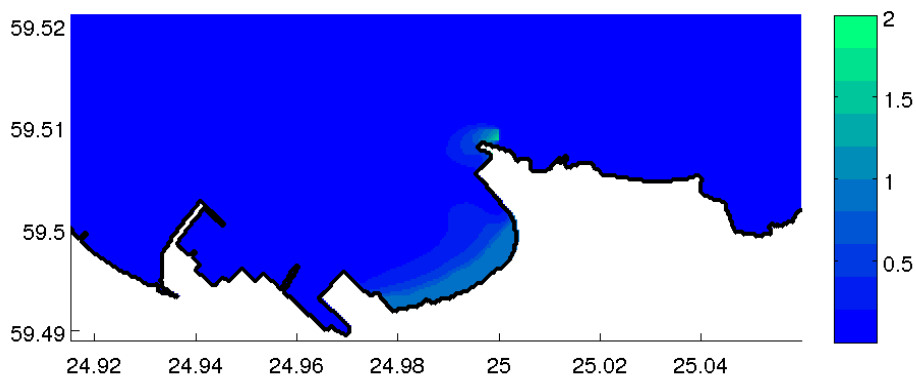
Seega satub merre kahe kuu jooksul 125 m³ heljumi, ehk siis 2.08 m³ päevas. Joonisel 28 on toodud heljumi kontsentratsiooni jaotus püsiva läänetuule korral peale kahte ööpäeva. Eeldatud on, et heljumi tihedus on ligilähedane vee omaga (langemiskiirus 10 cm/päevas), mis võimaldab heljumil levida kaugemale ehitatavast objektist. Jooniselt 28 on näha, et heljumi leviku mõju on **lokaalselt oluline** piirkondades, kus kontsentratsioon tõuseb 2 mg/L. Teataval määral on mõjutatud ka rannikualad, mis jäävad kaugemale kui 1 km, kus heljumi kontsentratsiooni suurenemine jääb

vahemiku 0-0.75 mg/L.



Joonis 28 Heljumi kontsentratsiooni (mg/L) jaotus püsiva läänetuule (15 m/s) korral peale 48 tundi.

Püsivate idatuulte korral kandub heljum Muuga sadama akvatooriumisse (Joonis 29) Võrreldes läänetuulte situatsiooniga, on rannikualadel heljumi kontsentratsioon suurenenud vähem, sest enamus ainet on hajunud Muuga lahe avaossa. Heljumi kontsentratsiooni suurenemine jääb kõikjal alla 1 mg/L.



Joonis 29 Heljumi kontsentratsiooni (mg/L) jaotus püsiva idatuule (15 m/s) korral peale 48 tundi.

Kalda erosioonile ja rannikuprotsessidele

Alternatiiv 2 ehitusaegne mõju rannikuerosioonile on **mitteoluline**, sest lisaheljumi teke ei ole piisav muutmaks merepõhja topograafiat.

Merevee temperatuurile ja soolsusele

Alternatiiv 2 ehitusaegne mõju hüdrofüüsikalistele parameetritele, soolsus ja temperatuur, on **mitteolulised**, sest merre ei satu vett, mille füüsikalised parameetrid erineksid mereveest.

Jäätেকে

Mainitud piirkonnas ei teki talvel kinnisjääd ja seetõttu ei mõjuta otsene ehitustegevus jää formeerumist. Samuti puudub mõju merevee temperatuurile ja soolsusele. Alternatiiv 2 mõju

jäättekkele hinnatakse **mitteoluliseks** ehitustegevuse faasis.

Avariilise reostuse levikule

Avariilise reostuse all mõeldakse sadama akvatooriumis või selle piirkonnas merre lekkinud naftareostust ja hinnatakse selle levikut seoses PHAJ-ga. Avari korral levib naftareostus sõltuvalt tuule suunast. Kui on läänekaarte tuuled, siis tekivad peamiselt idasuunalised hoovused ja naftareostus levib alternatiividest sõltumata Muuga sadamast veehaarde lähedale (vastavalt aruandes esitatud hoovuse kiirustele). Idatuulte korral on reostuse sattumine veehaarde lähedusse vähe tõenäoline. Käitamise ajal sõltub töötükklist, kas veehaarde lähedusse sattunud naftareostus kantakse veehaardesse või levib eemale avamere poole (vastavalt aruandes esitatud hoovuse kiirustele).

Kas ja kui palju kütust sattub veehaardesse sõltub kütuse tüübist (kergemad õlid ujuvad paremini) ja veehaarde tehnilistest lahendustest (kui sügaval ja kas veehaarde ümber ehitatakse ujuvaid piirdeid). Mingi osa kütusest seguneb kindlasti ka veesambasse (seda lainetuse ja difusiooni tõttu), seega osa reostusest satub veehaarde tõttu kindlasti ka reservuaari. Nii võib juhtuda, et ka peale reostuse eemaldamist/hajumist pumbatakse merre reostunud vett PHAJ reservuaarist. Vee väljapumpamise tsüklis on aktiivsem kütuse hajumine PHAJ'st eemale.

Alternatiiv 2 mõju naftareostuse levikule ja likvideerimisele, seoses hoovuste kiiruse muutusega, on ehitusfaasis **mitteoluline**, sest ehitustegevus ei muuda hoovuse kiirusi. Avariilised olukorrad ehitamise ja käitamise ajal, juhul kui võib esineda naftareostus, on leevendatavad kasutades reostustõrje tehnikat.

Ehitusaegne mõju vee läbipaistvusele, hapniku sisaldusele ja toitainetele

Seoses heljumi tekkega väheneb vee läbipaistvus lokaalselt, mistõttu väheneb eufootilise kihi paksus ning seetõttu muutub ka lokaalne fütoplanktoni primaarproduktioon, mis omakorda mõjutab toitainete kontsentratsioone. Merepõhjast resuspendeeritud muda tõttu ehitustegevuse käigus tõmmatakse heljuvasse olekusse anoksiline kiht, mis omakorda vähendab hapniku sisaldust. Seoses heljumi tekkega ja resuspensiooniga, muutub lokaalselt veekvaliteet ehitustegevuse perioodil ja seetõttu hindame mõju **lokaalselt oluliseks**.

Käitamisaeagne mõju

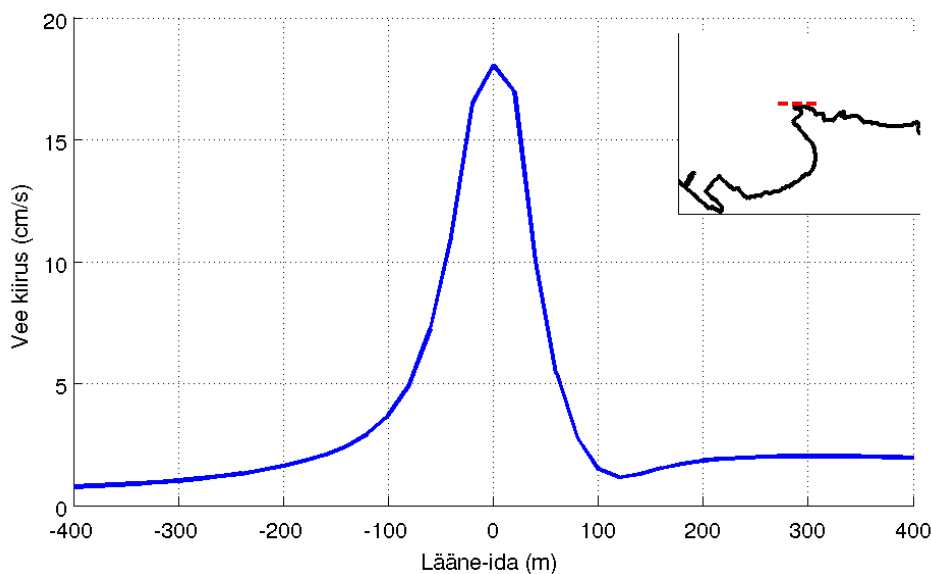
Alternatiiv 1 mõju

Hoovused

Käitamisaeagset mõju hoovustele on mõttekas hinnata rannikuvööndis, st veehaardest ida-lääne suunas oleval lõikel (Joonis 30). Põhjus on selles, et rannikumeres saab defineerida võimaliku mõjutatava objekti, nt rannikuprotsessid, jää teke ning väikelaeva liiklus. Avamerel ei avalda hoovuste kiiruse väike suurenemine või vähenemine olulist mõju – suured laevad on mõjutatud rohkem tuuletriivist, jää formeerumine sõltub samuti tuulest, rannikuprotsesside jaoks on aga meri liiga sügav (üle 20 m).

Käitamise ajal välja- ja sissepumbatav veehulk tekitab väga lokaalseid mõjusid hoovuste kiirusele. Veehaardest 20 m raadiuses suureneb vee liikumise kiirus kuni 18 cm/s, 50 m raadiuses veehaardest suureneb vee liikumise kiirus kuni 8 cm/s ning 100 m raadiuses veehaardest on vee liikumise kiiruse suurenemine juba alla 2 cm/s, ehk alla mõõtmise täpsust. Käitamisaeagne mõju hoovuste

muutusele hinnatakse **lokaalselt oluliseks**.



Joonis 30. Keskmised hoovuse kiirused lõikel (lõige märgitud punase katkendjoonega pildil).

Heljumi teke ja levik

Väljapumbatava vee kiirus ei ole piisav põhjustamaks lisa resuspensiooni. Samuti ei erine väljapumbatava vee setteline koostis sissepumbatava vee omast normaalse käitamistsükli vältel. Lokaalne hoovuse kiiruse muutus (vt eelnev punkt) võib suurendada resuspensiooni tõenäosust, kuid selle mõju ei saa levida kaugemale kui 50 m, sest peale seda taastub looduslik foon. Seega, käitamisaegne mõju heljumi tekkele ja levikule on hinnatud **mitteoluliseks**.

Kalda erosioonile ja rannikuprotsessidele

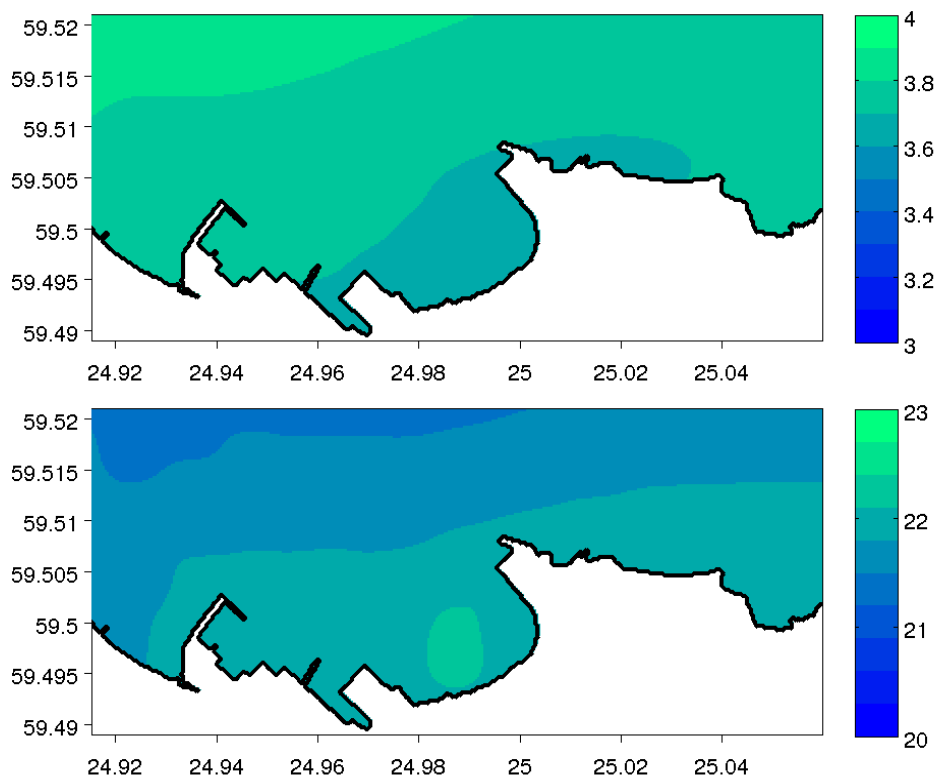
Alternatiiv 1 korral rajatakse veehaare juba olemasoleva kai külge ning seetõttu ei muutu hoovuste ja lainetuse režiim. Sellest lähtuvalt, ei muutu ka setete resuspensiooni ja transpordi mustrid, mistõttu alternatiiv 1 käitamisaegset mõju kalda erosioonile ja rannikuprotsessidele hinnatakse **mitteoluliseks**.

Rannikuprotsesside aspektist vaadatuna võib lokaalne hoovuse kiiruse muutus (vt eelnev punkt) suurendada resuspensiooni tõenäosust, aga selle mõju ei saa ulatuda kaugemale kui 50 m, sest peale seda taastub looduslik foon. Seega, käitamisaegne mõju rannikuprotsessidele ja kalda erosioonile on hinnatud **mitteoluliseks**.

Merevee temperatuurile ja soolsusele

Modelleerimise tulemused (Joonis 31) ning mõõtmisandmed näitavad selgelt, et merevee füüsikalised parameetrid on ruumiliselt üsna homogeensed, mistõttu ühe normaalse käitamistsükli ajal ei jõua veehaardeni liikuda oluliselt erinevate omadustega veemass. Alternatiiv 1 käitamisaegne

mõju hüdrofüüsikalistele parameetritele nagu soolsus ja temperatuur on hinnatud **mitteoluliseks**, sest normaalse käitamistsükli jooksul ei muutu ümbritseva merekeskkonna soolsus ja temperatuur, st väljapumbatav vesi on samasuguste omadustega nagu ümbritsev mereala.



Joonis 31 . Merevee soolsus (ülemine) ja temperatuur (alumine) Muuga rannikuvetes (10.07.2006).

Jäätেকে

Nendel talvedel kui Muuga laht jäätub on tõenäolisem triivjää kui kinnisjää teke ning jää liikumise määrab tuule mõju. Sellistel juhtudel on käitamisaegne mõju ebaoluline, sest väike hoovuste kiiruse muutus võib küll kaasa aidata jää kiiremale liikumisele teatud suunas, kuid ei mõjuta mingil määral jää teket. Nendel talvedel kui ikkagi tekib kinnisjää, võib selle formeerimine olla raskendatud vahetult veehaarde juures, mistõttu veehaarde käitamisaegset mõju jää tekkele hindame **lokaalselt oluliseks**.

Avariilise reostuse levikule

Avariilise reostuse all mõeldakse sadama akvatooriumis või selle piirkonnas merre lekkinud naftareostust ja hinnatakse selle levikut seoses PHAJ-ga. Avari korral levib naftareostus sõltuvalt tuule suunast. Läänekaare tuultega tekivad peamiselt idasuunalised hoovused ning naftareostus levib alternatiividest sõltumata Muuga sadamast veehaarde lähedale (vastavalt aruandes esitatud hoovuse kiirustele). Idakaare tuulte korral on naftareostuse sattumine veehaarde lähedusse vähe tõenäoline. Käitamise ajal sõltub töotsüklist, kas veehaarde lähedusse sattunud naftareostus kantakse veehaardesse või eemale, avamere poole (vastavalt aruandes esitatud hoovuse kiirustele).

Kas ja kui palju kütust sattub ka veehaardesse, sõltub kütuse tüübist (kergemad õlid ujuvad paremini) ja veehaarde tehnilistest lahendustest (kui sügaval ja kas veehaarde ümber ehitatakse ujuvaid piirdeid). Mingi osa kütusest seguneb kindlasti ka veesambasse (seda lainetuse ja difusiooni tõttu), seega osa reostusest satub veehaarde tõttu kindlasti ka reservuaari. Nii võib juhtuda, et ka peale naftareostuse eemaldamist/hajumist pumbatakse merre reostunud vett PHAJ reservuaarist. Vee väljapumpamise tsüklis on aktiivsem kütuse hajumine PHAJ'st eemale.

Alternatiiv 1 mõju naftareostuse levikule ja likvideerimisele, seoses hoovuste kiiruse muutusega käitamisaegselt on **mitteoluline**, sest ehitustegevus ei muuda hoovuste kiirusi. Avariilised olukorrad ehitamise ja käitamise ajal, juhul kui võib esineda naftareostus, on leevendatavad kasutades reostustõrje tehnikat.

Maa-alusele veehoidlale

Tahes tahtmata satub maa-alusesse veehoidlasse settematerjali, sest Läänemere vees on alati settematerjali kontsentratsioon suurem 0-st. Peenfraktsiooniline settematerjal nagu liiv, muda ja savi satuvad koos veega maa-alusesse veehoidlasse. Samas sõltub veehoidlasse ühe käitamistsükli ajal transporditud setete hulk konkreetsest looduslikust foonist ja seetõttu on väga raske hinnata setete kogust, mis transporditakse veehoidlasse. Normaalse käitamistsükli jooksul, st vesi pumbatakse välja vahetult peale sissepumpamist, peaks enamik settematerjali kanduma merre tagasi, sest pidevalt veehoidlasse jooksev vesi tekitab seal turbulentset segunemist, mis takistab settimist. Vesi imetakse maa-alusest veehoidlast välja hoidla põhjast, mistõttu see protsess omakorda tõmbab setteid kaasa. Samuti ei kogune veehoidla seintele setteid. Lähtuvalt sellest, hindame mõju maa-alusele veehoidlale, vähemalt lühiajaliste tsüklite korral, **mitteoluliseks**.

Alternatiiv 2 mõju

Hoovused

Käitamise ajal välja- ja sissepumpatav veehulk tekitab väga lokaalset mõju. Veehaardest 20 m raadiuses suureneb vee liikumise kiirus kuni 18 cm/s, 50 m raadiuses veehaardest suureneb vee liikumise kiirus kuni 8 cm/s ning 100 m raadiuses veehaardest on vee liikumise kiiruse suurenemine juba alla 2 cm/s, ehk alla mõõtmistäpsust. Käitamisaegne mõju hoovuse kiiruse muutusele hinnatakse **lokaalselt oluliseks**.

Heljumi teke ja levik

Väljapumpatava vee kiirus ei ole piisav, et põhjustada lisa resuspensiooni ja samuti ei erine väljapumpatava vee sette koostis sissepumpatava vee omast normaalse käitamistsükli vältel. Lokaalne hoovuse kiiruse muutus (vt eelnev punkt) võib suurendada resuspensiooni tõenäosust, kuid selle mõju ei saa ulatuda kaugemale kui 50 m, sest peale seda taastub looduslik foon. Seega, käitamisaegne mõju heljumi tekkele ja levikule on hinnatud **mitteoluliseks**.

Kalda erosioonile ja rannikuprotsessidele

Tehissaare ehitamise alternatiivi korral on kõige olulisem hinnata selle mõju ranniku erosioonile ja rannajoone taganemisele, mis omakorda seab ohtu inimeste kodud. Lähim selline probleemne piirkond asub kavandatavast tehissaarest 2 km kaugusel idasuunas, Saviranna külas. Aastatel 1997-2004 on rannaastang seal taganenud ca 10 m ja hetkel lahutab elamuid rannikuservast 40 m. Potentsiaalselt on ranniku erosioonist ohustatud 8 majapidamist. On eeldatud, et tehissaare mõju ei ulatu kaugemale kui Saviranna tipp. Seal teeb rannik 90 kraadise pöörde ja on vähetõenäoline, et

tehissaare mõju rannikuprotsesside mõistes ulatub kaugemale.

Hetkel toimuvate rannikuprotsesside kirjeldamisel tuginetakse olemasolevatele seireandmetele mainitud piirkonnas. Rannikuprotsesside võimalikku muutust tehissaare ehitamise tulemusena hinnatakse numbrilise modelleerimise tulemuste alusel. Numbrilisel modelleerimisel lähtutakse aktsepteeritavatest eeldusest, et tuulelainete poolt genereeritud jõud mere põhjas on setteid kergitav (resuspendeeriv) faktor ning tuule tekitatud hoovused on setteid transportiv (adveksioon) mehhanism. Arvesse ei ole võetud tuulelainete poolt genereeritud hoovusi ega laine-hoovus koosmõju mere põhjas. Samuti ei ole võetud arvesse veetaseme tõusu potentsiaalsete tugevate tormide tingimustes. Lainetuse modelleerimiseks on kasutatud kolmanda põlvkonna lainemudelit SWAN ja tsirkulatsiooni modelleerimiseks on kasutatud mudelit GETM.

Rannaprotsessid tuginedes seireandmetele

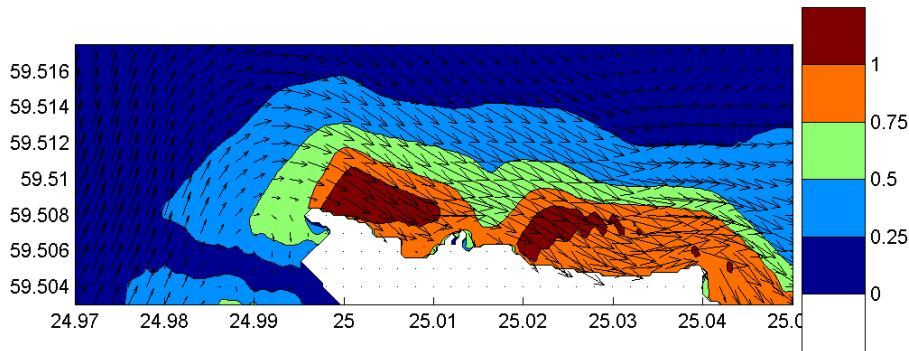
Rannaprotsesside uurimisel on oluline teada rannikulähedase merepõhja (kuni 20 m sügavuseni) morfoloogiat. Merepõhja setete karakteristikud on olulised setete resuspensiooni ja akumulatsiooni hindamisel. Tuginedes Muuga sadama merekeskkonna seire 2006. aasta aruandele, võib välja tuua söeterminalist vahetult idas paikneva merepõhja omadused: sügavuste vahemikus 0–2 m valdavalt kivine (90–100%), sügavuste vahemikus 3–5 m on kividega kaetud 50–60% merepõhjast (sekka liiv) ning sügavuste vahemikus 7–11 m on kive 20 – 30%. Saviranna küla vaatlusalale on iseloomulikud kivised põhjad sügavuste vahemikus 0–0.5 m ning osaliselt liiva ning rändrahnudega (30–40%) kaetud savised (saviplaat) põhjad sügavuste vahemikus 1–9 m. Sügavuste vahemikus 10–12 m on merepõhi valdavalt liivane, 5–10% merepõhjast on kaetud suurte kividega.

Mõõdistusandmete töötlus ja saadud tulemuste võrdlus ametliku katastrikaardiga, 1997 aasta ülelennu orto-foto, näitab, et rannaastang on 2004. aastani kohati taganenud vähemalt 10 m, ehk keskmiselt umbes 1 m aastas. Võrreldes 2005. aastal Savirannas tehtud rannaastangu perve muutusi 2004. aasta samalaadsete andmetega, ei ole astanguperve nihkumised nii selgelt jälgitavad kui varasema ca 10 aastase perioodi järel. 2005. aasta jaanuaritormist põhjustatud muutused, vaatamata selle võimsusele ja kõrgele meretasemele, olid lühiajalised ja purustasid peamiselt rannajärsaku jalamile varem kujunenud rusukallet. Mõõdistused 2006. aastal näitasid, et sama seireala piires esineva rannajärsaku – e. panga muutused võrreldes 2005. aasta jaanuaritormis toimunud muutustega olid tühised. Mõõdistusandmetel saadud tulemused jäid mõõtmisvea piiresse ja ei näita selgelt eristatavaid muutusi.

Rannajoonelähedane merepõhi on kogu Saviranna seireala ulatuses väga lauge ja seal esineb hulgaliselt rahne. Erinevate merekaartide andmetel selgub, et 2 m samasügavusjoon (isobaat) on keskmisest rannajoonest 150–200 m kaugusel, kohati isegi kuni 250 m kaugusel. Rannalähedase merepõhja selline iseloom on määravaks rannaprotsesside iseloomu selgitamisel. See lauge ja madal ala on nn murrutuslava, mille piires aastatuhandete jooksul kestnud murrutuse tulemusel on vaadeldav pangajärsak oletatavasti maa suunas taganenud. Äärmiselt vähene rannasete hulk astangu jalamil viitab üldisele liikuvate setete minimaalsele hulga ka rannalähedasel merepõhjal. Samuti viitab sellele ka rohke rahnude esinemine rannajoone ümbruses, praktiliselt kogu vaadeldava ala pikkuses.

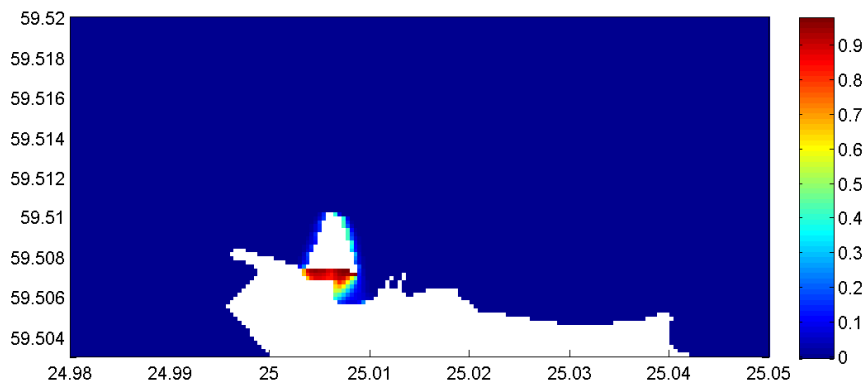
Tehissaare mõju rannaprotsessidele

Planeeritav tehissaar saab avaldada mõju setete transpordile, mis omakorda võib intensiivistada ranniku erosiooni, juhul kui settematerjali transportiv hoovus on suunatud piki rannikut läänest itta. Sellisel juhul on võimalik tehissaarest idapoolt transporditavate setete liikumise blokeerimine. Selline halvim kombinatsioon, kus hoovus on suunatud piki rannikut läänest itta ja samaaegselt on kõrge lainetus, esineb loodetuulte korral.

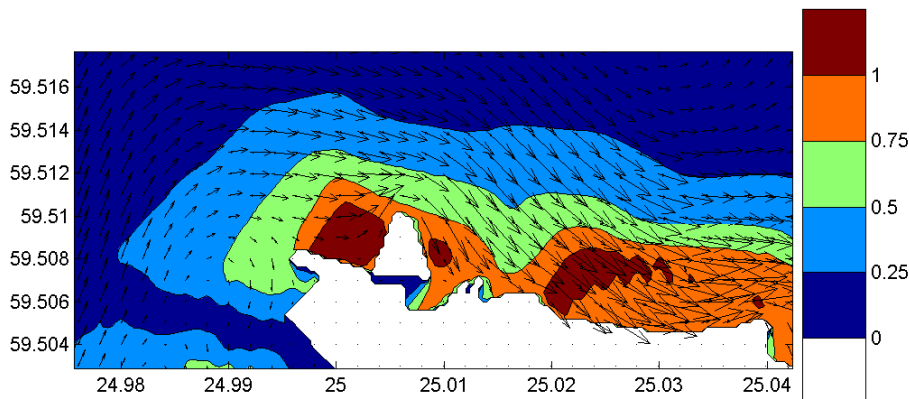


Joonis 32. Lainete poolt indutseeritud põhjalähedased orbitaalkiirused (värvusskaala, ühik m/s) ja tuulehoovused (vektorid) loodetuulega 15 m/s, 0 alternatiivi korral.

Joonisel 32 on toodud lainete poolt indutseeritud põhjalähedased orbitaalkiirused Muuga sadama ümbruses kui puhub NNW tuul kiirusega 15 m/s. Olulised rannajoone muutused leiavad tavaliselt aset ikkagi tugeva tormi korral, tuule kiirus 15 m/s kujutab endast üsna tüüpilist sügistormi. Orbitaalkiiruste kaardile on peale pandud tuule tekitatud hoovused samades meteoroloogilistes tingimustes. Arvestades, et merepõhja iseloom on savine/liivane, siis olulised erosioonialad esinevad piirkondades, kus põhjalähedane orbitaalkiirus ületab 0.25 m/s. Erosioonialad asuvad piirkondades, kus vee sügavus on alla 5 m ning orbitaalkiirused üle 1 m/s. Sadama akvatoorium koos süvendatud laevateedega kujutab endast depositsiooni piirkonda. Erinevus põhjalähedastes orbitaalkiirustes tehissaareta ja tehissaarega on ülimalt lokaalne (Joonis 33) ja ei ulatu tehissaarest kaugemale kui 40-60 m, kusjuures see lokaalne mõju on tugevalt anisotroopne ja suunatud tehissaarest vahetult lõunasse jäävale merealale.



Joonis 33. Põhjalähedase orbitaalkiiruse vähenemine seoses tehissaare rajamisega kui puhub loodetuul 15 m/s. Värvusskaala on m/s.



Joonis 34. Lainete poolt indutseeritud põhjalähedased orbitaalkiirused (värvusskaala, ühik m/s) ja tuulehoovused (vektorid) loodetuulega 15 m/s, tehissaare korral.

Tehissaare rajamisega muutub lokaalne hoovuse kiirusväli saare ümber nii et hoovus, mis oli varem suunatud läänest itta, kaardub ümber tehissaare põhjatipu ning on edasi taas idasuunaline (Joonis 34). Suure tõenäosusega toimub setete kuhjumine tehissaare ja ranniku vahele jääval alal. Lähtudes sellest ning asjaolulust, et põhjalähedasi orbitaalkiirusi saare olemasolu praktiliselt ei muuda, hinnatakse tehissaare käitamisaegset mõju rannaprotsesside muutustele **lokaalselt oluliseks**. Samas tuleb aga tõdeda, et modelleerimistulemused, eriti need mis puudutavad setete transporti, on algingimuste suhtes väga tundlikud ning seetõttu soovitame tungivalt arendajal enne igasuguse reaalse ehitustegevuse algust viia läbi kompleksne setete liikumise uuring antud piirkonnas. Sellised andmed hetkel puuduvad.

Merevee temperatuurile ja soolsusele

Merevee füüsikalised parameetrid on ruumiliselt üsna homogeensed, mistõttu ühe normaalse käitamistsükli ajal ei jõua veehaardeni liikuda oluliselt erinevate omadustega veemass. Alternatiiv 1 käitamisaegne mõju hüdrofüüsikalistele parameetritele, soolsus ja temperatuur, on hinnatud **mitteoluliseks**, sest normaalse käitamistsükli jooksul ei muutu ümbritseva merekeskkonna soolsus ja temperatuur ning ka väljapumbatav vesi on seetõttu samasuguste omadustega nagu ümbritsev meri.

Jäätেকে

Nendel talvedel kui Muuga laht jäätab, on tõenäolisem triivjää kui kinnisjää teke ning jää liikumise määrab tuule mõju. Sellistel juhtudel on käitamisaegne mõju ebaoluline, sest väike hoovuse kiiruse muutus võib küll kaasa aidata jää kiiremale liikumisele teatud suunas, kuid ei mõjuta mingil määral jää teket. Neil juhtudel kui ikkagi tekib kinnisjää, võib selle formeerimine olla raskendatud vahetult veehaarde juures, mistõttu veehaarde käitamisaegset mõju jää tekkele hindame **lokaalselt oluliseks**.

Avariilise reostuse levikule

Avariilise reostuse all mõeldakse sadama akvatooriumis või selle piirkonnas merre lekkinud naftareostust ja hinnatakse selle levikut seoses PHAJ-ga. Avari korral levib naftareostus sõltuvalt tuule suunast. Läänetuuled tekivad peamiselt idasuunalised hoovused ning naftareostus levib alternatiividest sõltumata Muuga sadamast veehaarde lähedale (vastavalt aruandes esitatud hoovuse kiirustele). Idatuulte korral on naftareostuse sattumine veehaarde lähedusse vähetõenäoline. Käitamise ajal sõltub töösüklist, kas veehaarde lähedusse sattunud naftareostus kantakse veehaarde lähedale või eemale, avamere poole (vastavalt aruandes esitatud hoovuse kiirustele).

Kas ja kui palju kütust satub ka veehaardesse sõltub kütuse tüübist (kergemad õlid ujuvad paremini) ja veehaarde tehnilistest lahendustest (kas ja kui sügavale veehaarde ümber ehitatakse ujuvaid piirdeid). Mingi osa kütusest seguneb kindlasti ka veesambasse (seda lainetuse ja difusiooni tõttu), seega osa reostusest satub veehaarde tõttu kindlasti ka reservuaari. Nii võib juhtuda, et ka peale reostuse eemaldamist/hajumist pumbatakse merre reostunud vett PHAJ reservuaarist. Vee väljapumpamise tsükliks on aktiivsem kütuse hajumine PHAJ'st eemale.

Alternatiiv 2 mõju naftareostuse levikule ja likvideerimisele, seoses hoovuste kiiruse muutusega käitamisaasis on **mitteoluline**, sest ehitustegevus ei muuda hoovuste kiirusi. Avariilised olukorrad ehitamise ja käitamise ajal, juhul kui esineb naftareostus, on leevendatavad kasutades reostustõrje tehnikat.

Mõju maa-alusele veehoidlale

Sama mis alternatiiv 1 puhul

Ekspertarvamuse koondhinnang

Võrreldes alternatiive 1 ja 2 (mille korral muutub merekeskkond) alternatiiviga 0 (mille korral säilib praegune füüsikaline merekeskkond), järeldeb ekspertgrupp:

Alternatiivi 1 ehitusaegsed mõjud on mitteolulised, alternatiivi 2 korral avaldab ehitustegevus lokaalset mõju hoovustele, heljumi tekkele ning vee kvaliteedile.

Käitamisajal avaldavad mõlemad alternatiivid lokaalset mõju hoovustele ning jää tekkele, alternatiiv 2 avaldab lokaalset mõju ka rannikuprotsessidele, mille tulemusena täitub saarest lõunas olev mereala aja jooksul settematerjaliga.

Sellest lähtuvalt, säilib praegune merekeskkond alternatiiv 1 korral suurema tõenäosusega kui alternatiiv 2 korral.

Füüsikalise merekeskkonna seisukohast vaadatuna on mõju väiksem alternatiivil 1