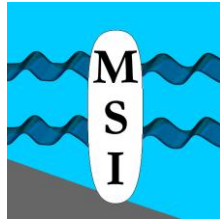


TTÜ Meresüsteemide Instituut
Akadeemia tee 21, 12618, Tallinn



Tellija: TÜ Eesti Mereinstituut

**Avamere tuuleparkide rajamisega Loode-Eesti
rannikumerre kaasnevate keskkonnamõjude
hindamine
(Peatükid 3.6, 5.2, 5.3, 5.10)**

Direktor: Prof. Jüri Elken

Projektijuht: Prof. Urmas Lips

Tallinn 2007

Sisukord

<u>1. ANNOTATSIOON.....</u>	<u>3</u>
<u>2. PROGRAMM.....</u>	<u>4</u>
2.1. KAVATSETAVA TEGEVUSE KIRJELDUS JA EESMÄRGID NING REAALSED ALTERNATIIVID.....	4
2.2. KAVANDATAVA TEGEVUSE JA SELLE REAALSETE ALTERNATIIVLAHENDUSTE (S.H. 0-VARIANDI) KESKKONNAMÕJU HINDAMISE EESMÄRK	5
2.3. KMH METOODIKA.....	5
2.4. KMH SISULINE KIRJELDUS (KMH ARUANDE PEATÜKID).....	6
<u>3. PEATÜKK 3.6. METEOROLOOGILINE JA HÜDROLOOGILINE REŽIIM (TEMPERATUUR, TUUL, LAINETUS, HOOVUSED, VEETASE, VEEKVALITEET, JÄÄOLUD) VÕIMALIKUS MÕJUPIIRKONNAS.....</u>	<u>8</u>
3.6.1. TUULELUD	8
3.6.2. VEETASE	12
3.6.3. TEMPERATUUR	14
3.6.4. JÄÄOLUD	15
3.6.5. LAINETUS	17
3.6.6. HOOVUSED	29
3.6.7. VEEKVALITEET.....	40
<u>4. PEATÜKK 5.2. MÕJUD LOKAALSELE HÜDRODÜNAAMIKALE JA VEE KVALITEEDILE.....</u>	<u>48</u>
5.2.1.. TUULIKUTE MÕJU LOKAALSELE HÜDRODÜNAAMIKALE	48
5.2.2. TUULIKUTE MÕJU VEEKVALITEEDILE	50
<u>5. PEATÜKK 5.3. HINNANG SÜVENDAMISEL JA EHITAMISEL TEKKIVA HELJUMI LEVIKULE.....</u>	<u>54</u>
<u>6. PEATÜKK 5.13. POTENTSIAALSSED KESKKONNARISKID TUULEPARGI EHITAMISEL JA PEALE SEDA, S.H. NAVIGATSIOONIRISKID NING JÄÄ MÕJUGA SEONDUVAD RISKID. VÕIMALIKU ÕLILAIGU LEVIKU PROGNOOS TUULEPARGI OSADE KAUPA.</u>	<u>56</u>
5.13.1. POTENTSIAALSSED KESKKONNARISKID, SH NAVIGATSIOONIRISKID	56
5.13.2. VÕIMALIKU ÕLILAIGU LEVIKU PROGNOOS TUULEPARGI OSADE KAUPA.....	60

1. ANNOTATSIOON

Käesoleva töö eesmärgiks oli Avamere tuuleparkide rajamisega loode-Eesti rannikumerre kaasnevate keskkonnamõjude hindamise aruande jaoks järgmiste peatükkide koostamine: 3.6. Meteoroloogiline ja hüdroloogiline režiim (temperatuur, tuul, lainetus, hoovused, veetase, vee kvaliteet, jääolud) võimalikus mõjupiirkonnas; 5.2. Mõjud lokaalsele hüdrodünaamikale ja vee kvaliteedile; 5.3. Hinnang süvendamisel ja ehitamisel tekkiva heljumi levikule; 5.13. Potentsiaalsed keskkonnariskid tuulepargi ehitamisel ja peale seda, s.h. navigatsiooniriskid. Võimaliku õlilaigu leviku prognoos tuulepargi osade kaupa. Uuring on teostatud peamiselt kasutades varem teostatud mõõdistuste ja vaatluste andmeid, teaduslikus kirjanduses avaldatud informatsiooni viies läbi lainetuse ning hoovuste modelleerimist kasutades TTÜ Meresüsteemide Instituudis rakendatud numbrilisi mudeleid. Osaliselt on arvesse võetud ka 2007.a. juulis-augustis teostatud spetsiaalseid lainetus, hoovuste ja veekvaliteedi uuringuid kavandatava tuulepargi piirkonnas (detailselt on mõõdistustööde tulemused kirjeldatud eraldi arendajale esitatud aruandes). KMH peatükkide ettevalmistamisel osalesid järgmised TTÜ Meresüsteemide Instituudi töötajad:

Urmas Lips – töö koordineerimine, aruande toimetamine, peatükid 3.6.7; 5.2; 5.3; 5.13.2

Jüri Elken – peatükid 3.6.6; 5.13.2

Taavi Liblik – peatükid 3.6.1-3.6.4; 5.13.1

Victor Alari – peatükid 3.6.5; 5.2.1

Germo Väli – peatükid 3.6.6; 5.13.2

2. PROGRAMM

Keskkonnamõtjude hindamine (KMH) teostatakse lähtudes Eesti vastavast seadusandlusest, eelkõige keskkonnamõtjude hindamise ja keskkonnajuhtimissüsteemide seadusest (KMHjaKJS) (RT I 2005, 15, 87) ja kooskõlas EL Direktiiviga 97/11/EEC, märts 1997.a., mis täiendab Direktiivi 85/337/EEC, juuni 1985 ning seisneb avalike ja eraõiguslike projektidega ettenähtud tegevuste keskkonnamõtjude hindamises.

Erilist tähelepanu pööratakse EL Direktiivis 92/43/EEC 21. maist 1992.a. nõuetele ja tähtsaks lähtedokumendiks KMH teostamisel on „Metodoloogiline juhend EL Elupaikade Direktiivi 92/43/EEC artiklite 6(3) ja (4) arvestamiseks” sest võimalikku mõjupiirkonda jääb Hiiumaa looderannik, kus on vastavalt EV Valitsuse 16. juuni 2005. a määrusele nr 144 (RTI, 07.07.2005, 38, 300) mitmeid Natura 2000 alasid ning teatud mõju võib avalduda ka Väinamere Natura 2000 aladele.

KMH hõlmab komplekselt Tuulepargi rajamisega ja sellest elektrikaabli toomisega Eesti Energia Harku alajaama (või mõnesse teise Eesti Energia alajaama) ja Rootsi suunas ning seonduvaid keskkonnamõtjusid arvestades ka sotsiaal-majanduslikke ja kultuurilis-ajaloolisi aspekte.

KMH koostamisel lähtutakse arendaja, OÜ Nelja Energia (Arendaja) koostatud vee erikasutusloa taotluses ja selle lisamaterjalides toodud andmetest tuulepargi asukoha kohta ja selle tehnilisest kirjeldusest.

Kasutatakse KMH käigus teostatavate uuringute tulemusi, erialakirjanduses leiduvaid materjale, samuti TÜ Eesti Mereinstituudi, TTÜ Meresüsteemide Instituudi, OÜ Eesti Geoloogiakeskus, Eesti Mereakadeemia jt. asutustes olemasolevaid võimalikus mõjupiirkonnas teostatud uuringute aruandeid.

KMH teostajaks on ekspertgrupp Ahto Järviku (KMH tegevuslitsents nr. 0028) juhtimisel.

2.1. Kavatsitava tegevuse kirjeldus ja eesmärgid ning reaalsed alternatiivid

Arendaja kava kohaselt rajatakse Hiiumaa looderanniku lähiste avameres asuvatele Apollo, Vinkovi ja Neupokojevi pankadele ning veel kahele väikepangale madalamale 20 m sügavusjoonest tuulepark elektrienergia tootmiseks ja asetatakse merre alalisvoolu merekaabel tuulepargist kuni selle maastamiseni Eesti Energia Harku alajaama lähistel või Paldiski alajaama ning Rootsi suunal. Tuulikud ehitatakse merepõhja rajatavatele vundamentidele. Vajalikud süvendustööd on minimaalsed. Tuulikud on kolmelabalised toru tüüpi mastiga. Ühikvõimsus: 3-6 MW. Masti kõrgus ca 125 m. Tiiviku läbimõõt ca. 125 m. Merekaabel on alalisvoolu HVDC kaabel, sarnane rajatud Eesti-Soome merekaabliga (ESTLINK).

Tuulepargi kavandatav koguvõimsus on ca 1000 MW. Lõplik koguvõimsus sõltub elektrituulikute valikust ja asetusest. Tuulepargi rajamine on kavandatud etapiviisiliselt alustades aastal 2009.

2.2. Kavandatava tegevuse ja selle reaalse alternatiivlahenduste (s.h. 0-variandi) keskkonnamõju hindamise eesmärk

Keskkonnamõju hindamise (KMH) eesmärk on anda tegevusloa väljastajale (EV keskkonnaministeeriumile) pädev teave kavandatava tegevuse ja selle reaalse alternatiivsete lahendustega kaasneva keskkonnamõju ning negatiivse keskkonnamõju vältimise või selle minimeerimise võimaluste kohta. KMH eesmärkideks on avamere tuulepargi ehitamise ja eksploatatsiooniga kaasnevate keskkonnamõjude ulatuse hindamine, eriti merekeskkonnale, Hiiumaa majanduslikule arengule (s.h. turismile) ja Natura 2000 objektidele ning ettepanekute tegemine tekkivate negatiivsete keskkonnamõjude leevendamiseks ja/või kompenseerimiseks.

2.3. KMH meetodika

KMH käigus on kavas kasutada parimaid olemasolevaid seire ja teaduslike uuringute andmebaase mõjupiirkonna praeguse loodusliku seisundi kirjeldamiseks, eriti Eesti riikliku keskkonnaseire ja kalavarude seire materjale. Teostatakse võimaliku õlilaigu leviku mudelarvutused. Hinnatakse Tuulepargi rajamisel ja edasisel kasutamisel potentsiaalselt tekkivaid keskkonnamõjusid. Teostatakse pilootvaatlusi kohapeal, seda eriti lindude arvukuse ja rändeteede täpsustamisel, mille kohta praegu on andmeid vähe. Arendaja tellib selleks eraldi, paralleelselt KMH-ga toimuva, linnuvaatlused Tuulepargi asukohas kevadel ja sügisel. Ujuvalusega võetakse 3-5 merepõhjasetete proovi igas kavandatava tuulepargi mõjupiirkonnas ja määratakse nende reostustase: üldnaftaproduktide ning 5 raskemetalli - Cd, Cu, Hg, Pb, Zn, sisaldused, samuti setete lõimiseline koosseis. Kuna tegemist on võimalike väärtuslike mereelupaikadega, mis võivad olla potentsiaalseteks Natura 2000 aladeks, siis KMH käigus teostatakse täiemahulised elupaikade uuringud vastavalt rahvusvaheliselt tunnustatud meetodikale. Lisaks, arvestades Piirivalveameti ettepanekut, on KMH käigus kavas hinnata ka Tuulepargi võimalikku mõju mereseire radarsüsteemidele, milleks kaasatakse KMH Ekspertgruppi ka Piirivalveameti poolt selleks soovitatud spetsialist. Samuti, arvestades KMH programmi kohta laekunud ettepanekuid ja märkusi, teostatakse paralleelselt KMH-ga spetsiaalsed uuringud võimalike hüdroloogiliste mõjurite (eriti jääolude) täpsustamiseks ja nendest johtuvate riskide selgitamiseks. Seetõttu kujuneb KMH kestus pikemaks esialgselt plaanitust ja lõpparuanne valmib 2008.a. lõpus.

Alternatiivlahendustena vaadeldakse lisaks 0-Alternatiivile ka reaalseid potentsiaalseid geograafilisi, ruumilisi, ehituslikke ja tehnoloogilisi variante. Alternatiivide võrdlusel kasutatakse intervallskaalal põhinevat võrdlusmeetodit. Peamisteks hinnatavateks kriteeriumiteks on negatiivsed mõjud merepõhjaakooslustele, ränd- ja paiksele linnustikule, Natura 2000 objektidele (s.h.

potentsiaalsetele avamere väärtelupaikadele), turismindusele Hiiumaal ja meresõidule. Positiivsete mõjudena arvestatakse kasu Eesti riigi elektrivarustatusele. Aruande koostamisel arvestatakse KMHjaKJS seaduse p. 20 kehtestatud nõudeid.

2.4. KMH sisuline kirjeldus (KMH aruande peatükid)

1. KMH Programmi koostamine ning avalikustamine.
2. Avamere tuulepargi rajamise põhjendatus ja sotsiaal-majanduslikud aspektid
 - 2.1. Avamere tuulepargi põhjendatus ja tähtsus üldisele EV energiapoliitikale.
 - 2.2. Tuulepargi rajamise sotsiaal-majanduslik põhjendatus.
 - 2.3. Avalikkuse kaasamine ja huvigruppide määratlemine.
3. Potentsiaalse mõjupiirkonna: Hiiumaa, Hiiumaa rannikumeri, p. 1 loetletud pangad (madalikud) ja kaablitrassiga vahetult piirnevate merealade keskkonnaseisundi kirjeldus. Mõjupiirkonda vaadeldakse ka piiriülese mõju tekkimise kontekstis.
 - 3.1. Potentsiaalselt mõjutatavad Natura 2000 alad (Hiiumadala loodusala koodiga EE0040129, Kõrgessaare-Mudaste ranniku linnuala koodiga EE0040130, samuti Väinamere linnuhoiuuala, kood EE0040001 ja Väinamere loodushoiuuala, kood EE004002) ning EL Elupaikade Direktiivi Lisas II toodud liigid. HELCOM'i Kõpu merekaitseala (HELCOM BSPA ala).
 - 3.2. Potentsiaalsed avamere väärtelupaigad – pangad, võimalikud Natura 2000 alad.
 - 3.3. Võimalikus mõjupiirkonnas paiknevad/elutsevad teised, Eesti rahvuslikul tasandil kaitstavad, looduskaitsealused alad ja liigid. Hiiumaa maakonnaplaneeringuga ettenähtavad sinine võrgustik ja sinised koridorid Hiiumaa rannikumeres..
 - 3.4. Mõjupiirkonna geoloogiline iseloomustus.
 - 3.5. Põhjasetete koostis ja lõimiseline struktuur mõjupiirkonnas, saasteainete sisaldus ja nende vastavus kehtivatele rahvuslikele normatiividele ning HELCOM,i soovitudele.
 - 3.6. Meteoroloogiline ja hüdrooloogiline režiim (temperatuur, tuul, lainetus, hoovused, veetase, vee kvaliteet, jääolud) võimalikus mõjupiirkonnas.
 - 3.7. Tööde mõjupiirkonda jäävate merepõhjataimede ja -selgrootute koosluste iseloomustus.
 - 3.8. Kalakooslused ja kalapüük võimalikus mõjupiirkonnas.
 - 3.9. Linnustik, käsitiivalised ja mereimetajad võimalikus mõjupiirkonnas.
4. Kavandatava avamere tuulepargi üldiseloomustus ja ehitamisel kasutatav tehnoloogia. Süvendamise vajadus, mahud ja tehnoloogia ning ammutatava pinnase käitlemine. Võimalikud alternatiivlahendused tuulepargi sektsioonide asukohtade ja sektsioonisiseste tuulikute asetuskeemide osas ning tehnoloogiliste lahendustes (s.h tuulikute konstruktsiooni ja ehitamisel kasutatava tehnoloogia osas, süvendamisel ja ammutatava pinnase käitlemisel, jne.), 0-alternatiiv.
 - 4.1 Avamere tuuleparkide tehniline kirjeldus ja nende rajamise tehnoloogia, avameretuulikute ilmastikukindlus.
 - 4.2. Süvendamise vajalikkus ja mahud tuulepargi rajamisel.
 - 4.3. Elektri ülekandeks kasutatavad merekaablid, nende merreasetamise tehnoloogia ja kavandatavad kaablitrassid.
 - 4.4. Võimalikud alternatiivlahendused ning nende majanduslik ja keskkonnakaitsealine vajadus.

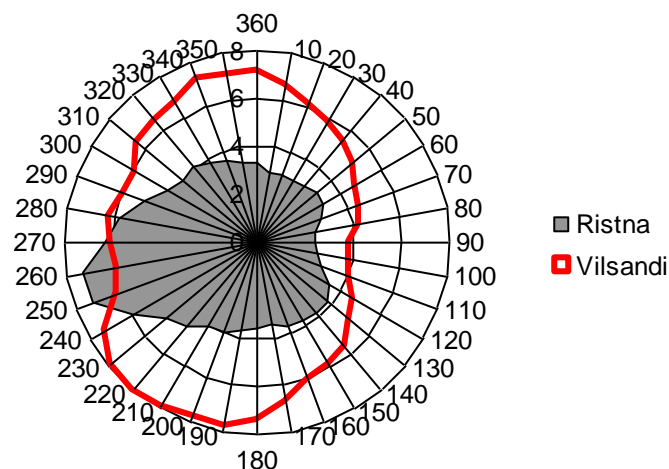
5. Kavandatava tegevuse ja selle võimalike alternatiivlahendustega kaasnev oodatav keskkonnamõju Arendaja kavandatud variandi ja võimalike alternatiivlahenduste rakendumisel (töödeagne ja töödejärgne), s.h. riskimõjud.
 - 5.1. Mõju merepõhjasetete struktuurile ja dünaamikale ning rannaprotsessidele.
 - 5.2. Mõjud lokaalsele hüdrodünaamikale ja vee kvaliteedile.
 - 5.3. Hinnang süvendamisel ja ehitamisel tekkiva heljumi levikule.
 - 5.4. Võimalik mõju merepõhjataimestiku ja -loomastiku kooslustele.
 - 5.5. Võimalik mõju kalakoosluste struktuurile, kalavarudele, kalakoelmutele ning kalapüügile, s.h. põhjatraalpüügile kaablitrassi piirkonnas.
 - 5.7. Mõju mereimetajatele ja –linnustikule, s.h. rändlindudele.
 - 5.8. Sotsiaal-majanduslikud mõjud, sealhulgas Hiiumaa majandusele (k.a. turismindus) ja elanikele.
 - 5.9. Võimaliku piiriülese mõju hindamine.
 - 5.10. Võimalik mõju punktis 4.3.1. loetletud Natura 2000 aladele ja liikidele (s.h. nahkhiirtele), eelkõige Natura 2000 alade terviklikkusele, eesmärkidele ja võtmeliikidele. Mõjude olulisuse hindamine ja, vajadusel, leevendusmeetmete määramine. Mõju teistele kaitsealustele aladele ja liikidele. Võimalik mõju teistele, punktis 4.3.2. loetletud looduskaitsealustele objektidele.
 - 5.11. Võimalik mõju punktis 4.3.2. loetletud potentsiaalsetele avamere Natura 2000 aladele ja nende võtmeliikidele.
 - 5.12. Võimalike keskkonnamõjude olulisuse võrdlev hindamine.
 - 5.13. Potentsiaalsed keskkonnariskid tuulepargi ehitamisel ja peale seda, s.h. navigatsiooniriskid ning jää mõjuga seonduvad riskid. Võimaliku õlilaigu leviku prognoos tuulepargi osade kaupa. Kaablite puhul arvestatakse ka võimalikke riske seoses lõikumistega juba Läänemeres olemasolevate merekaablite trassidega.
 - 5.14. Oodatavate negatiivsete keskkonnamõjude vältimise võimalused ja leevendamise ja/või kompenseerimise vajadused ning võimalused.
 - 5.15. Tegevuse vastavus EV ja EL keskkonnakaitse alastele jt. õigusaktidele, planeeringutele ning arengukavadele.
6. Loodusressursside kasutamise otstarbekus ja vastavus säästva arengu printsiipidele.
7. Võimalike reaalsete alternatiivlahenduste võrdlemine, s.h 0-alternatiiviga. Ettepanekud tuulepargi sektsioonide ja kaablitrasside paiknemise kohta. Parima alternatiivlahenduse valik.
8. Keskkonnaseire vajalikkus. Seire soovitatavad suunad ja meetodika.
9. Avalikustamine (kava lisas 2), selle käigus laekunud ettepanekud ja soovitused, nende arvestamine keskkonnamõju hindamise läbiviimisel.
10. Hindamistulemuste lühikokkuvõte.

3. PEATÜKK 3.6. Meteoroloogiline ja hüdroloogiline režiim (temperatuur, tuul, lainetus, hoovused, veetase, veekvaliteet, jääolud) võimalikus mõjupiirkonnas.

3.6.1. Tuuleolud

Lähim meteojaam KMH-s käsitletavale piirkonnale asub Ristnas. Samas piirkonnas asub ka Vilsandi meteojaam.

Aastate 1977-1991 keskmine tuule kiirus oli Ristnas 4,3 ja Vilsandil 6,4 m/s. Ristnas on nõrgem keskmine tuule kiirus tõenäoliselt põhjustatud meteojaama läheduses kasvavast metsast, mis moonutab registreeritavaid tulemusi (Soomere ja Keevallik, 2001). Suuremad erinevused kahes meteojaamas registreeritud tuulte vahel on põhjalõunasuunal.



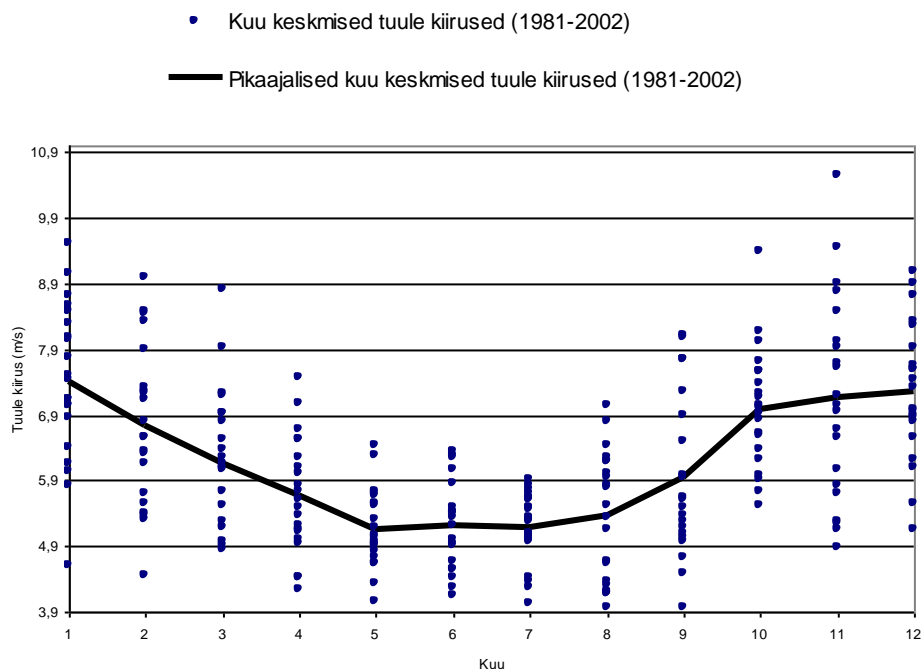
Joonis 3.6.1. Tuule keskmised kiirused erinevatest suundadest Ristna ja Virtsu 1981-1989 aastate andmete põhjal.

Kuna Ristna meteojaamast saadud andmed ei kajasta õigesti avamere tuuleolusid, siis on tuuleandmete analüüsiks kasutatud Vilsandi vaatlusandmeid aastatest 1981-2002 (välja arvatud 1991. aasta, mis Vilsandi andmest puudub).

Vilsandi, kui vahetult Läänemere avaosaga piirneva mõõtejaama tuuleandmed peegeldavad tõenäoliselt võrdlemisi hästi avamerel valitsevat tuulerežiimi (Soomere ja Keevallik, 2003). Võimalik, et mõnevõrra võib Vilsandi meteojaama tuuleandmete põhjal järeldusi tehes tuulepargi tulevast asukohta silmas pidades alahinnata idakaarte tuulte tugevust. Vastupidine efekt, st. mõningane tuule tugevuse ülehindamine võib lõunatuulte kohta olla idapoolsete tuulepargi komplekside jaoks, eriti Apollo madalale planeeritava tuulepargi osa kohta.

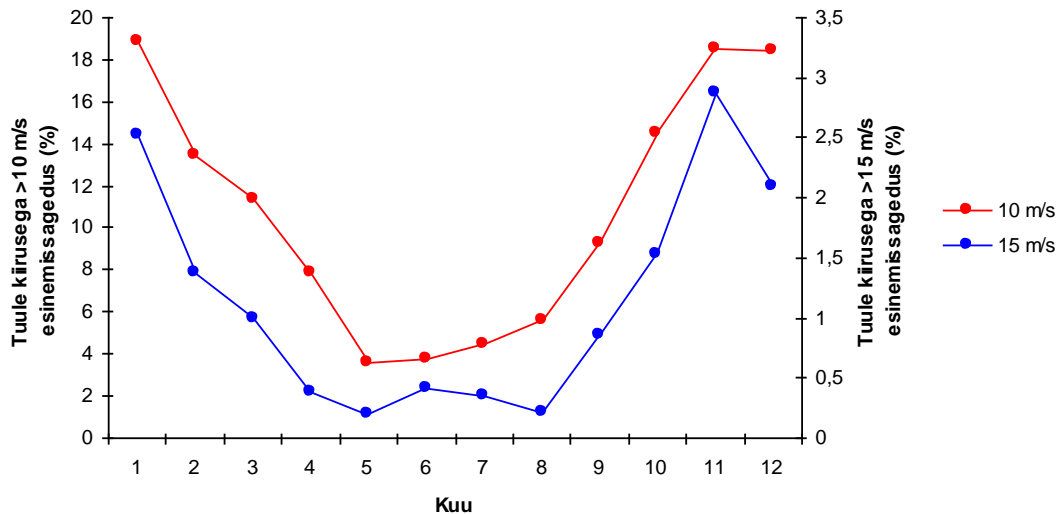
Vilsandi meteojaama andmetel oli 1981 – 2002. aastatel tuule keskmine kiirus 6,2 m/s. Tuule keskmine kiirus aastate kaupa on olnud võrdlemisi varieeruv, muutudes vahemikus 5,5 kuni 7,0 m/s.

Tuulevaiksemad kuud on aprillist septembrini, kui keskmine tuule kiirus jääb alla 6 m/s. Tugevamate tuulte periood on oktoobrist kuni veebruarini, kui tuule keskmine kiirus on üle 6,5 m/s (maksimaalne jaanuaris – 7,4 m/s).



Joonis 3.6.2. Kuu keskmised tuule kiirused aastatel 1981-2002 (iga aasta kohta eraldi arvatud kuude keskmised tuule kiirused) ja pikaajalised keskmised kuude tuule kiirused.

Ilmekama pildi tuule kiiruse sesoonsest käigust annavad >10 m/s ja >15 m/s tuulte korduvus, novembris on näiteks esinemissagedus vastavalt 5 ja 15 korda suurem kui mais.



Joonis 3.6.3. Keskmised >10 m/s ja >15 m/s tuule esinemissagedused kuude kaupa.

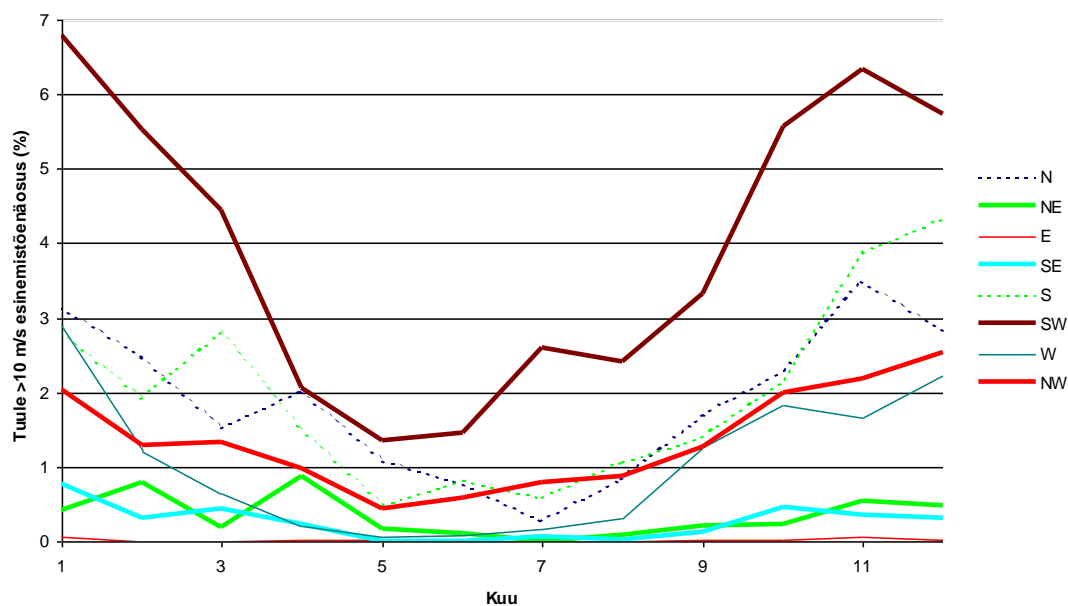
Sesoonset käiku omab ka tugevate tuulte (>10 m/s) jaotumine erinevatesse suundadesse. Väikest rolli mängivad kogu aasta vältel idakaarte (E, SE ja NE) tuuled. Nimetatud suundadest puhuvad >10 m/s tuuled moodustavad aasta lõikes 0,1-1,2 % kogu sellise tugevusega tuulesündmustest. Kui vaadata üksnes tugevaid tuuli, siis seal on samuti nimetatud tuulte osakaal võrdlemisi tagasihoidlik. Nimelt moodustavad >10 m/s NE, E, SE tuuled kõigist >10 m/s puhuvatest tuultest peaaegu kogu aasta vältel vaid 1,6-8,1%. Erandina torkab silma aprillikuu, kui nimetatud tugevate tuulte osakaal kõigist tugevatest tuultest on 14 %. Sellest olulisima osa moodustavad NE tuuled (11%). Nagu varem mainitud võivad idatuuled siiski olla Vilsandi andmestikus Hiiumaast põhja jäävat rannikumerd silmas pidades veidi alahinnatud. Kalbådagrundis (Soome lahes avaosas paiknev meteojaam) on antud tugevate tuulte osakaal kõigist tuultest ~5% ja tugevatest tuultest ~20-35%. Sarnaselt Vilsandile omavad Kalbådagrundi idakaarte tugevad tuuled suuremat osa kõigist tugevatest tuultest kevadel (35 %) (Liblik, Lips ja Keevallik; 2004).

Suurima osa tugevatest tuultest moodustavad SW tuuled, millede osakaal kõigist tuultest on 1,5-6,8 % ja tugevatest tuultest 11 kuul kaheteistkümnest 31-43 %. Juulis moodustab SW tugevate tuulte osakaal kogu tugevate tuulte sündmustest koguni 58 %, samas omavad tugevad tuuled kõigist tuultest sel kuul väga väikese osa – 4,5 %. Tugevate W tuulte osakaal nii kõigist tuultest kui ka üksnes tugevatest tuultest omab väga suurt sesoonsust. Oktoobrist jaanuarini on nende tugevate tuulte osakaal kõigist tugevatest tuultest 1,7-2,9 %, aprillist augustini aga vaid 0,1-0,3 %. Sarnane tendents avaldub, kui vaadata tugevate W tuulte osakaalu kõigist tugevatest tuultest. Aprillist juulini on see 1,9-2,5 % ning septembris-oktoobris ja detsembris-jaanuaris 12-15 %.

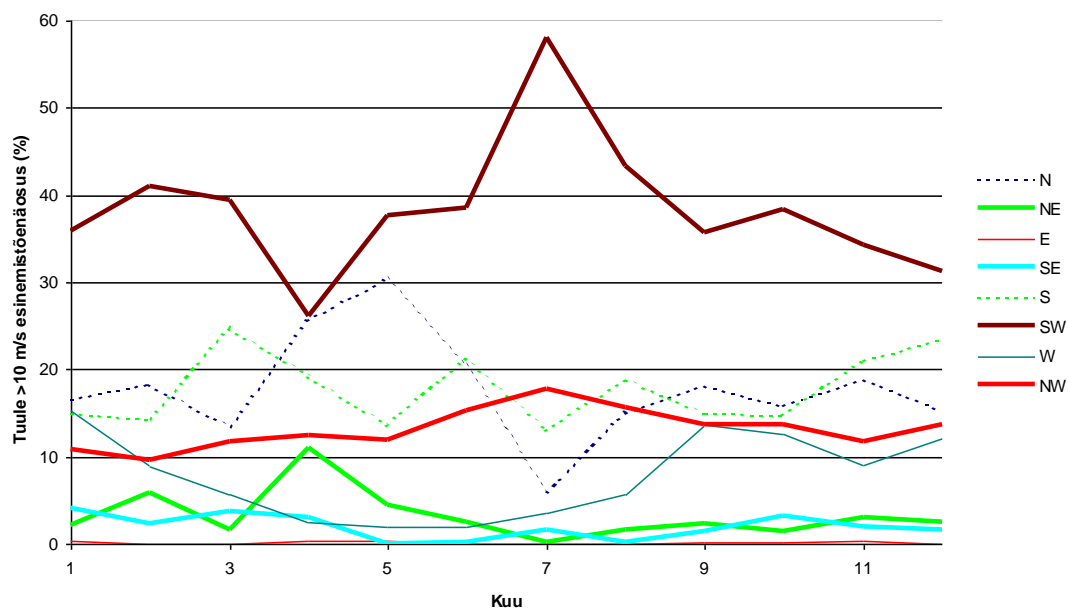
Tugevate NW tuulte osakaal kõigist tugevatest tuultest on aasta lõikes võrdlemisi ühtlane, jäädes vahemikku 10-18 %. Suurimat osakaalu tugevatest tuultest omavad NW tuuled juulis (18%).

Tugevate N tuulte osakaal kõigist tugevatest tuultest on suuremal osal aastast vahemikus 13-20%, väiksem on see juulis (6%) ning suurem aprillis ja mais (vastavalt 26% ja 30%).

Tugevate S tuulte osakaal kõigist tugevatest tuultest on suuremal osal aastast vahemikus 14-21%, märtsis ja detsembris (23% ja 25%).



Joonis 3.6.4. Tugevate (>10 m/s) tuulte osakaal kõigist tuultest kuude kaupa.



Joonis 3.6.5. Erinevates suundadest puhuvate tugevate (>10 m/s) tuulte osakaal kõigist >10 m/s tuultest kuude kaupa.

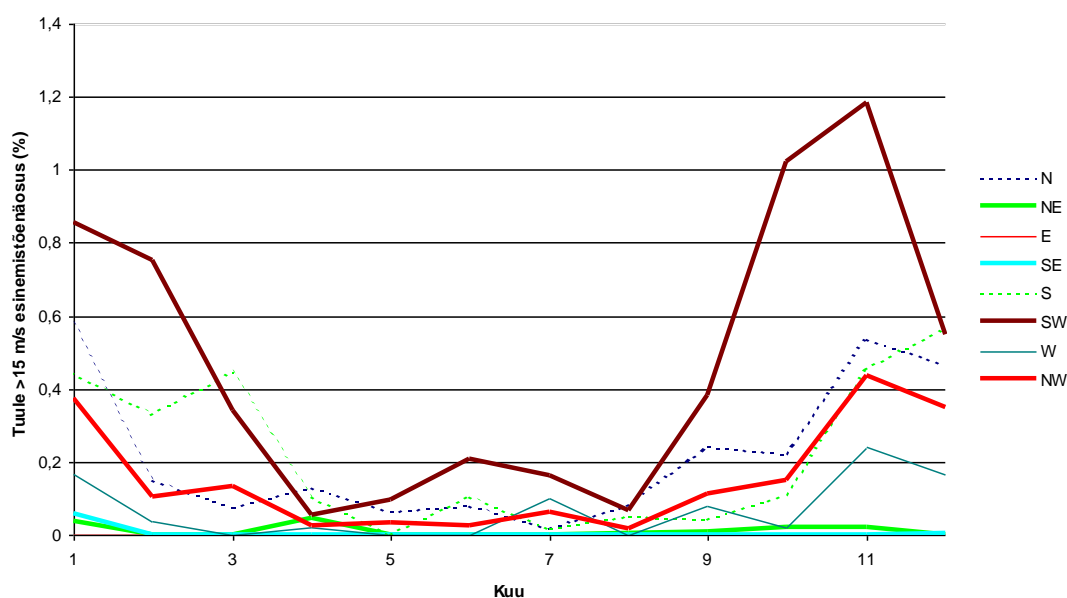
Tormituuled (>15 m/s) ja ekstreemsed tuuleolud

Üle 15 m/s tuulte korduvus Vilsandis on 1,2 %, nagu varem mainitud on tormituulte esinemissageduses tugev sesoonne käik (vt. Joonis 3.6.3.). NE, E, SE suunast on tormituuli fikseeritud vaid kümnel korral, st. vaid 0,02 % kogu aegreas fikseeritud

tuulesündmustest. Kalbådagrundi andmed kajastavad ka piki Soome lahte puhuvaid tugevaid idakaarte tuuli ning seal on nende tuulte esinemistõenäosus tunduvalt suurem: 0,68 %.

SW tuuled omavad tavapäraselt suurimat osa tormituulte esinemises, ulatudes oktoobris ja novembris üle 1% kõigist tuulesündmustest. Erandina võib Vilsandi tuulestatistika põhjal välja tuua märtsi ja detsembri, kui SW puhuvad tormituulte esinemine on sama suur kui lõunatuultel (märtsis ~0,4% ja detsembris ~0,55 %). Aprillist augustini ei ole domineerivad tormituulte suunad samuti väga selgesti eristatavad

Talve- ja sügiskuudel on mõnevõrra suurema esinemissagedusega peale SW ja S tuulte ka N (kuni 0,58 %), NW (kuni 0,44 %) ja ka vähesemal määral W tuuled (kuni 0,24 %).



Joonis 3.6.6. Tormituulte (>15 m/s) osakaal kõigist tuultest kuude kaupa.

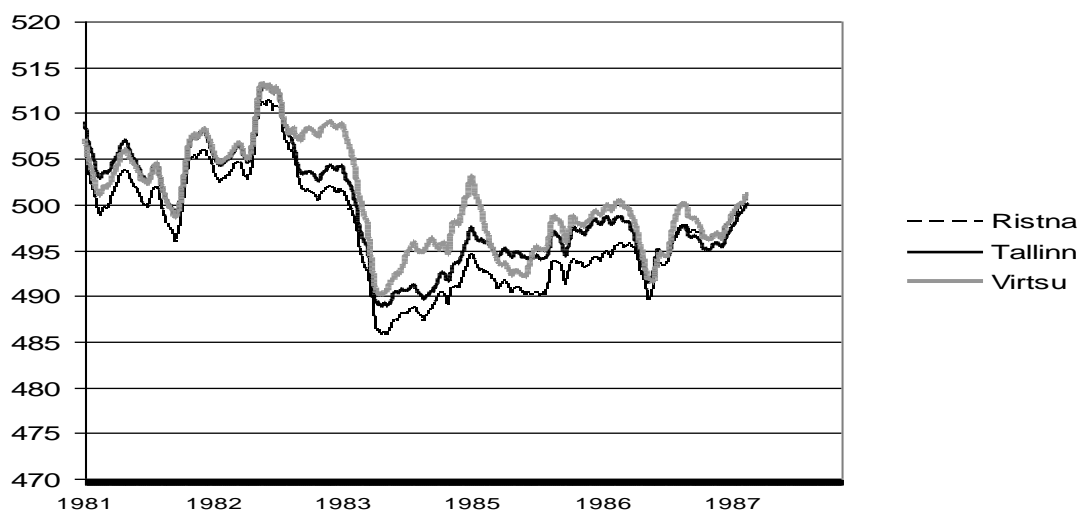
Analüüsitud 21 aasta jooksul esines Vilsandil 43 tormi, kus 10-minuti keskmine tuule kiirus küündis vähemalt 20 m/s. Seejuures N ja NW kaartest oli kokku 18 tormi ning S ja SW kaartest kokku 20 tormi. W suunast puhusid neljal korral tormituuled ≥ 20 m/s. Üks ekstreemsematest tormidest registreeriti 1992. aasta 12-13. märtsil, kui 15 tunni keskmine tuule kiirus oli ~26 m/s ja maksimaalseks 10-minuti keskmiseks tuule kiiruseks mõõdeti 28 m/s. EMHI andmetel (<http://www.emhi.ee>) on aastatel 1961-1990 Vilsandil maksimaalseks tuule kiiruseks mõõdetud 34 m/s ja maksimaalseks tuulepuhangu kiiruseks 40 m/s. 2005. aasta jaanuaritormi ajal ulatus 10-minuti keskmine tuule kiirus kuni 22,9 m/s ja tuule kiirus puhangukiiruseks kuni 33 m/s (<http://www.emhi.ee>).

3.6.2. Veetase

Veetaseme muutlikkuse hindamiseks on antud töös kasutatud Ristna rannikumere hüdro meteoroloogiajaamas aastatel 1981-2002 tehtud mõõtmiste tulemusi. Kuna

Ristna rannikumere hüdro meteoroloogia jaam on avamerele hästi avatud, siis kajastab ta ka rannikumeres asuvate madalike veetaseme muutusi eeldatavasti objektiivselt. Veetaset mõõdeti Ristnas 8 korda ööpäevas. Puudu on 1990. aasta andmed ja 2000. aasta andmed kuni juulini (kaasa arvatud).

Veetase muutub pikaajaliselt kogu Eesti rannikumeres sarnaselt (vt joonis 3.6.7.).



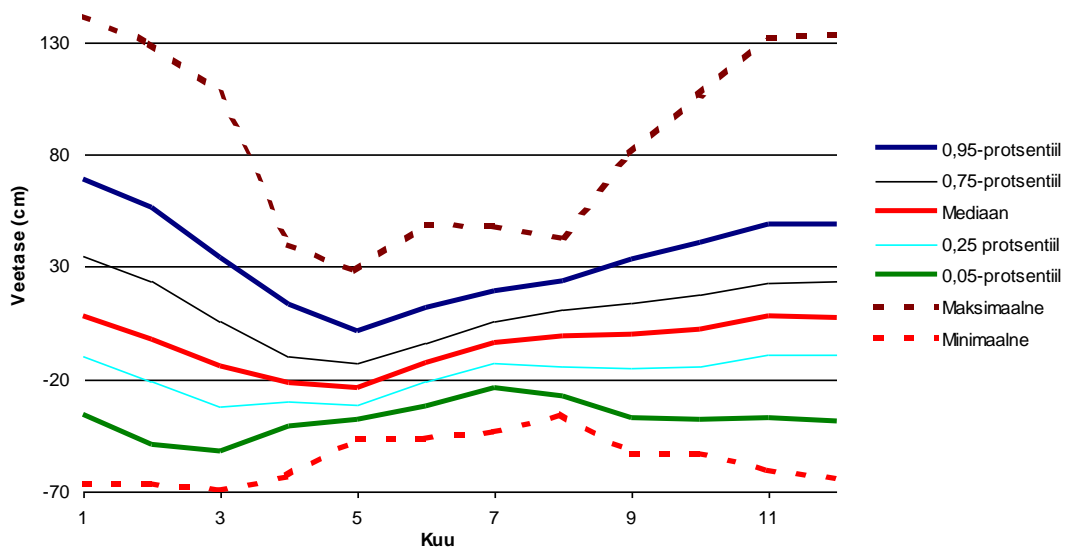
Joonis 3.6.7. Veetase Kroonlinna nulli (andmetele on lisatud +500 cm) suhtes Tallinnas, Ristnas ja Virtsus, 1981-1987. Libisev keskmine (1 a).

Ajutised, lühiajalised veetaseme tõusud ja langused sõltuvad ranna topograafiast ning lokaalsetest tuuleoludest. Ristnas on veetaseme kõrg- ja madalseisud võrreldes ülejäänud Eesti rannikumere hüdroloogiajaamadega suhteliselt harvad ja kaugeltki mitte nii ekstreemsed, kui näiteks Pärnus või Haapsalus.

Talvel ja sügisel, kui tugevate tuulte perioode esineb sagedamini, on aju- ja paguvee esinemine tõenäolisem. Seetõttu on maksimaalsed ja minimaalsed merevee taseme kõrgused registreeritud just sügis-talvisel perioodil. Aastate 1981-2002 andmete põhjal on madalaim veetase Ristnas olnud -69 cm ja kõrgeim 142 cm.

Kogu mõõtmistest jääb veetase 50 % juhtudel -21 cm ja +12 cm vahele. Üheksal juhul kümnest jääb veetase vahemikku -40 cm kuni +41 cm. Suuremad veetaseme muutused on talvel, mil veetase on Ristnas üheksal juhul kümnest vahemikus -36 ... +69 cm (jaanuaris). Seevastu suvel, näiteks juulis, mahuvad veetaseme näidud 90-protsendilise tõenäosusega vahemikku -38 cm...+1 cm. Maist augustini ei ole Ristna rannikumere hüdro meteoroloogiajaamas veetase nimetatud aastatel -50 cm...+50 cm kõrgemal või madalam olnud.

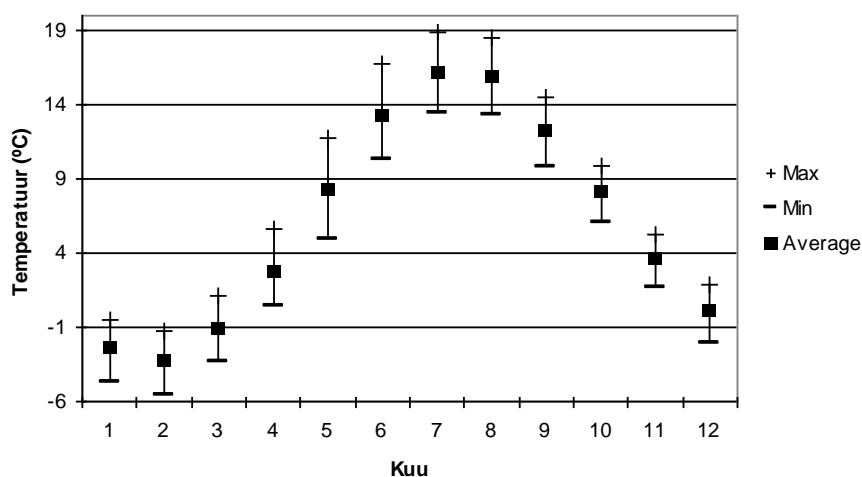
Keskmine veetase on madalam kevadel ja suvel, kui kuu keskmised veetasemed on -24 kuni -1 cm. Kõrgeim on veetase keskmiselt novembrist jaanuarini (7...8 cm). Veetaseme tõusu üle +68 cm on esinenud ühel juhul sajast. Kõrgemat kui +100 cm veetaset registreeriti Ristnas kõigest kaheksal juhul kümnetuhandest.



Joonis 3.6.8. Ristna veetaseme minimaalse; maksimaalse ja valitud protsentiilide näidud kuude kaupa aastate 1981-2002 andmete põhjal.

3.6.3. Temperatuur

Õhutemperatuur Hiiumaa põhja- ja läänerannikul muutub aasta lõikes sarnaselt teiste Eesti rannikumere piirkondadega, kus temperatuur on kõigil aastaegadel mõjutatud Läänemere avaosa lähedusest, merevee aeglasemast soojenemisest ja jahtumisest võrreldes maismaaga. Sügisel ning talvel on seetõttu rannikualadel sisemaaga võrreldes keskmiselt soojem, kevadel seevastu jahedam.



Joonis 3.6.9. Kuude keskmine, maksimaalne ja minimaalne õhutemperatuur Ristnas, aastate 1961-1990 andmetel (<http://www.emhi.ee>).

Aasta keskmine õhutemperatuur 1961-1990. aasta andmetel Ristnas on 6,1° C. Kuu keskmine maksimaalne õhutemperatuur Ristnas eeltoodud ajavahemikul on olnud 18,9 °C juulis ning minimaalne -5,6° C veebruaris.

Absoluutne maksimaalne õhutemperatuur Ristnas 1913-1990. aastatel on olnud 29,6 °C juunis ning minimaalne -28,4 °C jaanuaris.

Merevee temperatuur piirkonnas on kõrgeim juulis-augustis, kui keskmine veetemperatuur jääb vahemikku 16-17°C (vt. ka tabel 3.6.1.). Detsembrist märtsini jääb merevee temperatuur reeglina alla 2 kraadi. Rannikuvee temperatuur on kõige muutlikum kevadeti ja sügiseti, kui toimub vastavalt soojenemine ja jahenemine. 1995-2004. aasta Rohuküla vee temperatuuri andmete analüüsist selgub, et kõige suurem on vee temperatuuri keskmine standardhälve aprillis ja septembris – 2,5 °C.

Tabel 3.6.1. Veetemperatuuri kuukeskmised Vilsandi hüdroloogiajaamas (TÜ Eesti Mereinstituut, 2002).

Kuu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Vilsandi (1948-77)	0,3	0,0	0,5	3,9	9,4	13,8	16,6	16,7	13,4	8,7	4,4	1,7

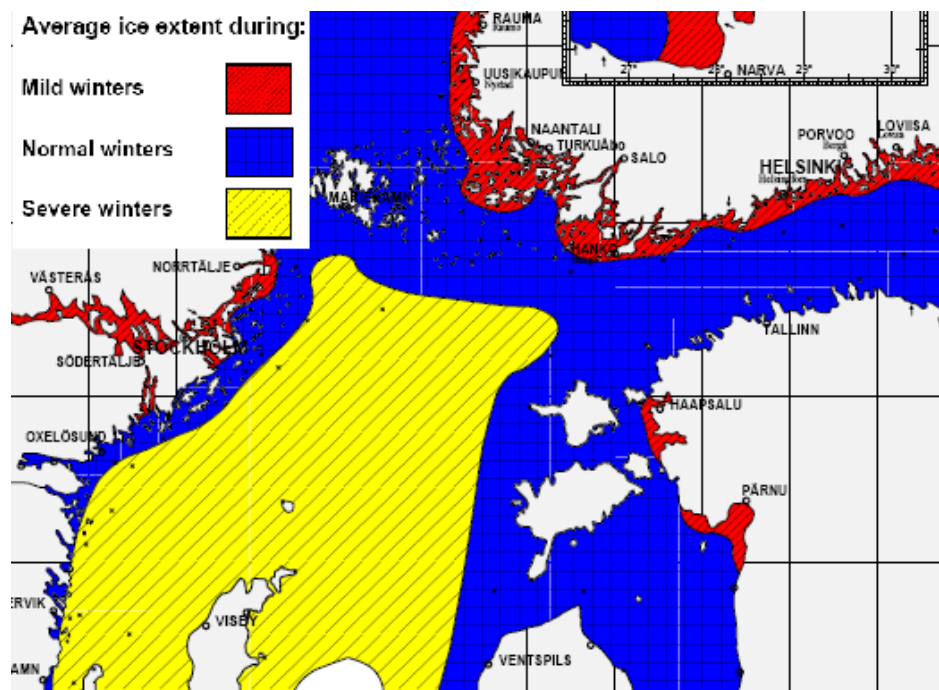
3.6.4. Jääolud

Jääolud sõltuvad veela avatusest, temperatuurist ja soolsusest, kõige enam aga konkreetse talve karmusest. Seetõttu võivad jäätingimused Eesti rannikumeres olla talviti väga erinevad. Soolsust arvestades on Läänemere selles piirkonnas külmumispunkt ligikaudu -0,4...-0,6° C. Ranna lähedal ja jõgede suudmealadel on see mõnevõrra kõrgem.

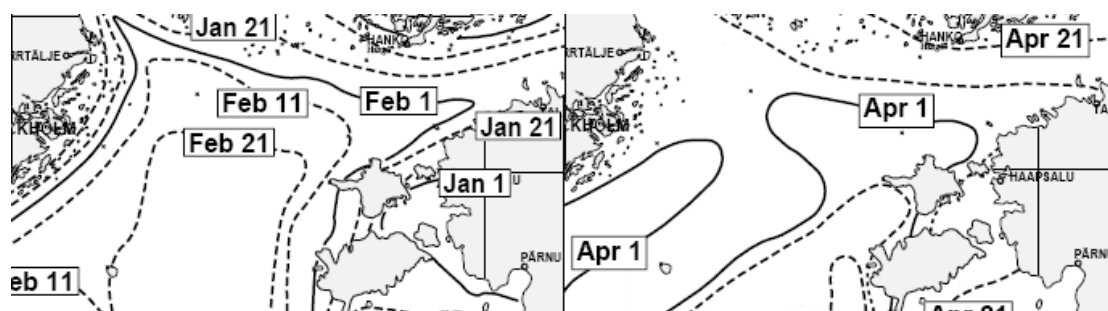
Jääkate tekib piirkonnas keskmistel ja karmidel talvedel, pehmetel talvedel jääpiir nii kaugele ei ulatu.

Aastatel 1961-2000 on Ristnas täiesti jäävabasid talvesid olnud 5. Jääkate kestus esmatekkest lõpliku minekuni on Ristnas keskmiselt 2,5 kuud. Kuna tuulepargi planeeritavad asukohad on võrreldes Ristna vaatluspostiga rohkem sõltuvuses avamere tingimustest, siis võib eeldada, et tuulikute rajamise asukohtades on jääkate kestus pisut lühikesem, kui Ristnas saadud keskmised 2,5 kuud.

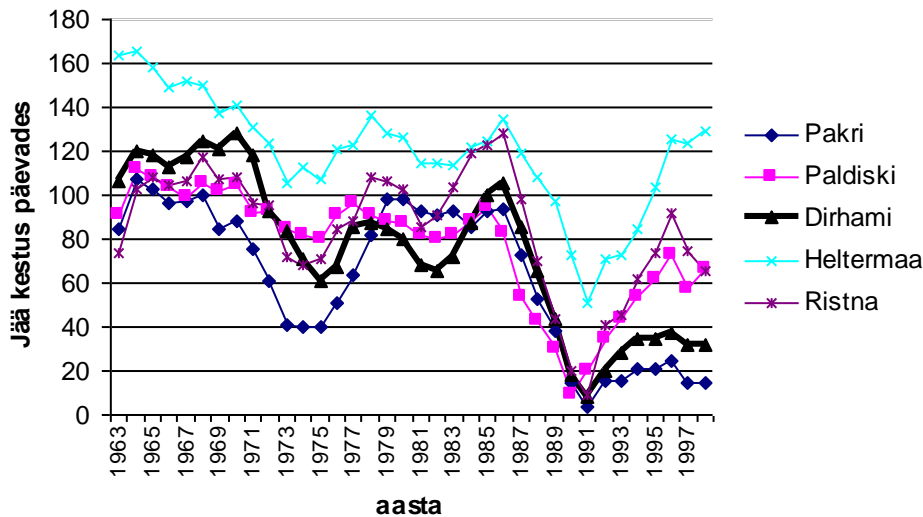
Jääkatttega aastatel moodustub jää tuulepargi rajamise piirkonnas keskmiselt veebruari alguses ja murdub aprilli alguses.



Joonis 3.6.10. Jääkate ulatus pehmete, keskmiste ja karmide talvedega (<http://www.smhi.se>).



Joonis 3.6.11. Jääkate keskmine moodustumise (vasakul) ja murdumise (paremal) kuupäev (<http://www.smhi.se>).



Joonis 3.6.12. Jääkatte kestus esmatekkest lõpliku minekuni, libisev keskmine (5 aastat).

3.6.5. Lainetus

Sissejuhatus

Tüüpilise, aga ka ekstreemse lainekliima kvantifitseerimine rannikulähedaste tuuleparkide asukohas on vajalik nii tuuleparkide rajamise perioodi ajal kui ka tuulikute ekspuuteerimise käigus. Et tuulepargid asuvad enamasti madalas meres, erineb lainerežiim seal oluliselt sellest, mis eksisteerib avamerel ning viimaste andmeid ei saa seetõttu kasutada lainekliima hindamisel tuulikute asukohas. Sellest tulenevalt on vaja läbi viia kas *in situ* lainetuse mõõtmised antud kohas või teostada mudelarvutused, kasutades selleks olemasolevaid verifitseeritud lainemudeleid. Käesoleva aruande koostamise ajaks polnud Hiiumaa loode- ja põhjarannikul lainetuse mõõtmisi teostatud, seega põhineb lainekliima määramine mudelarvutustel. Mudelarvutuste perioodiks on valitud 2006. aasta aprill-november, mis vastab ka klimatoloogilisele jäävabale perioodile. Mudeli sisendina on kasutatud eelpoolmainitud ajavahemikul Läänemere operatiivse mudeli HIROMB jaoks arvutatud tuuli (HIRLAM). Aastapikkune modelleerimisperiood on küllaltki informatiivne sisaldades sealjuures nii tüüpilist kui ka ekstreemset klimatoloogilist olukorda.

Tuulikud on plaanis rajada Hiiumaa lääne-, loode ja põhjaranniku madalatele kokku viide kohta:

- 1) Neupokojevi madalale
- 2) Madalale (kesk)koordinaatidega 59° 06' N, 22° 02' E
- 3) Madalale (kesk)koordinaatidega 59° 10' N, 22° 10' E
- 4) Klotovi ja Vinkovi madalikele
- 5) Apollo madalale

Et laineväli, sõltuvalt meteoroloogilisest foonist, on erinev nimetatud piirkondades, tehakse kõikides nendes punktides lainetuse parameetrite väljavõtted. Lihtsuse mõttes tähistatakse iga madal loetelus toodud numbriga: kõige läänepoolsem on 1 ning kõige idapoolsem 5. Tuulte parameetrid võetakse välja punktis Klotovi ja Vinkovi madala juures.

Lainemudeli kirjeldus

On kasutatud kolmanda põlvkonna spektraalset lainemudelit SWAN (*Simulating WAVes Nearshore*), millega on võimalik arvutada realistlikke laineparameetreid rannikumere, järvede ja estuaaride jaoks etteantud tuulte, hoovuste ning põhjatopograafia korral (Booij *et al.*, 1999). Mudel põhineb lainetegevuse tasakaalu võrrandil (energia tasakaalu võrrandil hoovuste puudumise korral) ning sisaldab endas lähteliikmeid.

SWAN-is on esitatud järgmised laine levikuga seotud protsessid:

- Lainete levimine geograafilises ruumis.
- Lainete refraktsioon batümeetria ning hoovuste ruumilise muutlikkuse tõttu.
- Laineharjade lühenemine ning teravamaks muutumine rannale lähenedes.
- Lainete peegeldumine vastasolevate hoovuste tõttu.
- Lainete levimine läbi takistuste ning peegeldumine tõketest.

SWAN-is on esitatud järgmised lainete genereerimise ning hajumisega seotud protsessid:

- Lainete genereerimine tuule poolt.
- Lainete hajumine *whitcapping* 'u tõttu.
- Lainete hajumine põhja-indutseeritud murdumise tõttu.
- Lainete hajumine põhjahõõrdumise tõttu.
- Lainete omavaheline interaktsioon (lainetriaadide ja -nelikute vahel).

SWAN-i piirangud:

- Difraktsiooni modelleerimine on kitsendatud
- Ei arvuta lainete poolt indukseeritud hoovusi

Lisaks on võimalik arvutada lainete murdumisega seonduvat veetaseme tõusu rannikualal.

SWAN-i käesolev versioon (40.51) on statsionaarne ning fakultatiivselt ka mittestatsionaarne ning formuleeritud Cartesiuse, kõverjoonelise ja sfäärilise koordinaatsüsteemi jaoks. SWAN-i on võimalik rakendada mistahes suurusega mereala jaoks, kuigi SWAN-i rakendamine eriti suurtel merealadel (avameri ning ookean) ei ole efektiivne. WAM ja WAVEWATCH III lainemudelid on spetsiaalselt välja töötatud just eelpoolmainitud olude jaoks ning töötavad nendes oludes mõnevõrra paremini kui SWAN.

SWAN-is kirjeldab laineid kahemõõtmeline lainemõju spektraaltiheduse võrrand, isegi juhul, kui mittelineaarsetel protsessidel on suur osatähtsus (nt rannikutsoonis). Loogiline põhjendus kasutamaks spektrit sellistes sügavalt mittelineaarsetes oludes

on, et isegi sellistes tingimustes on võimalik üpriski mõistliku täpsusega ennustada lainete teise momendi spektraalset jaotust. Spekter, mida vaadeldakse SWAN-is on pigem mõjutiheduse spekter $N(\sigma, \theta)$ kui energiatiheduse spekter $E(\sigma, \theta)$, kuna hoovuste olemasolu korral, mõjutihedus säilitatakse, samas kui energiatihedus mitte. Sõltumatud muutujad on suhteline sagedus σ (mida vaadeldakse taustsüsteemina, mis liigub hoovuse kiirusega) ja lainesuund θ (suund, mis on risti laineharjaga iga spektraalse komponendi korral). Mõjutihedus on võrdne energiatiheduse ja suhtelise sageduse suhtega:

$$N(\sigma, \theta) = \frac{E(\sigma, \theta)}{\sigma}. \quad (1)$$

SWAN-is võib see spekter muutuda nii ajas kui ruumis.

SWAN-is kirjeldab spektri evolutsiooni spektraalse mõju tasakaalu võrrand, mis Cartesiuse koordinaatide korral võtab järgmise kuju:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial N}{\partial x} c_x + \frac{\partial N}{\partial y} c_y + \frac{\partial N}{\partial \sigma} c_\sigma + \frac{\partial N}{\partial \theta} c_\theta = \frac{S}{\sigma}, \quad (2)$$

kus

$$S = S_{in} + S_{nl4} + S_{nl3} + S_{ds} + S_{bf} + S_{br}. \quad (3)$$

Esimene liige võrrandi (2) vasakul pool kirjeldab mõjutiheduse lokaalset muutust ajas, teine ja kolmas liige kirjeldavad mõju levikut geograafilises ruumis (leviku kiirustega c_x ja c_y vastavalt x - ja y - telje suunas). Võrrandi neljas liige kirjeldab suhtelise sageduse nihkumist seoses muutustega batümeetrias ning hoovustes (leviku kiirusega c_σ σ - ruumis). Viies liige kirjeldab põhja ja hoovuste indutseeritud refraktsiooni (leviku kiirusega c_θ θ - ruumis).

Liige $S=S(\sigma, \theta)$ võrrandi paremal pool on lähteliige energiatiheduse formuleeringus. Võrrandis (3) on see lähteliige esitatud järgmiste liikmete summana: lainete genereerimine tuule poolt (S_{in}), mittelineaarne laine-laine interaktsioon lainenelikute (S_{nl4}) ja -triaadide (S_{nl3}) vahel, laineenergia hajumine *whitecapping*'u (S_{ds}), põhjahõõrde (S_{bf}) ja põhja-indutseeritud murdumise (S_{br}) tõttu. Alljärgnevalt kirjeldatakse lühidalt nende liikmete formuleeringut.

Tuule energia ülekande lainetele toimub SWAN mudelis resonantsmehhanismi ning nn. tagasisidemehhanismi kaudu. Tuule energia ülekande saab kirja panna lineaarse ning eksponentsiaalse kasvu summana:

$$S_{in}(\sigma, \theta) = A + BE(\sigma, \theta), \quad (4)$$

kus A ja B sõltuvad laine sagedusest ja suunast ning tuule kiirusest ja suunast.

Võrrand liikme A jaoks on filtriga, vältimaks energia kasvu madalamatel sagedustel kui Pierson-Moskowitz'i sagedus. Võrrand koefitsiendi B jaoks on võetud WAM lainemudeli üpris hiljutisest versioonist.

Sügava vee korral kontrollib spektri evolutsiooni lainenelikute omavaheline interaktsioon. See kannab laine energiat piigi energiast madalamate sageduste suunas (nihutades sellega piigi sageduse madalamate väärtuste poole) ja kõrgemate sageduste suunas (kus energia hajub *whitecapping*'u tulemusena). Väga madalas vees kannab lainetriaadide omavaheline interaktsioon energiat madalamatelt sagedustelt kõrgemate sageduste suunas, mille tulemusena tekivad kõrgemad- ja superharmoonikud. Lainenelikute vahel toimuvat interaktsiooni arvutatakse nn. diskreetse interaktsiooni lähendusmeetodiga ning vastavalt sellele saab lähteliikme S_{nl4} kirja panna kujul:

$$S_{nl4}(\sigma, \theta) = S_{nl4}^*(\sigma, \theta) + S_{nl4}^{**}(\sigma, \theta), \quad (5)$$

kus S_{nl4}^* vastab esimesele nelikule ja S_{nl4}^{**} teisele lainenelikule.

Lainetriaadide omavahelist interaktsiooni arvutatakse nn. lainetriaadide lähendusmeetodiga iga spektraalse suuna jaoks.

Laineenergia hajub *whitecapping*'u, põhjahõõrdumise ning põhja-indutseeritud murdumise tõttu.

Laineenergia hajumine *whitecapping*'u tõttu sõltub põhiliselt laine järskusest. Praegu töötavates kolmanda põlvkonna lainemudelites (sealhulgas SWAN-is) põhineb *whitecapping*'u arvutamine WAMDI grupi poolt kohandatud ning Hasselmann'i poolt formuleeritud mudelil:

$$S_{ds}(\sigma, \theta) = -\Gamma \frac{\tilde{\sigma}}{\tilde{k}} E(\sigma, \theta), \quad (6)$$

kus Γ on laine järskusest sõltuv koefitsient, k on lainearv (saadakse dispersiooni-seosest) ning $\tilde{\sigma}$ ja \tilde{k} on vastavalt keskmine sagedus ja keskmine lainearv.

Põhja-indutseeritud laineenergia hajumine võib sõltuda põhjahõõrdest, põhja liikumisest või perkolatsioonist. Suhteliselt liivaste rannikumerede korral on domineerivaimaks mehhanismiks põhjahõõre, mida võib üldiselt esitada järgmiselt:

$$S_{bf}(\sigma, \theta) = -C_{bottom} \frac{\sigma^2}{g^2 \sinh^2(kd)} E(\sigma, \theta), \quad (7)$$

kus C_{bottom} on põhjahõõrde koefitsient, g on raskuskiirendus (9.81 m/s^2) ning d on tegelik vee sügavus.

SWAN-is on lainemõju tasakaalu võrrandi integreerimine täide viidud lõplike vahede meetodiga kõigi viie dimensiooni jaoks (aeg, geograafiline ruum, spektraalne ruum).

Aeg on diskretiseeritud konstantse ajasammuga Δt üheaegse integreerimise jaoks lähteliikmete kui ka energia leviku suhtes. (Erinevalt WAM ja WAVEWATCH III lainemudelidest, kus lähteliikmete ja energia leviku integreerimise ajasammud on erinevad). Geograafiline ruum on diskretiseeritud ristkülikulise võrguga, millel on konstantsed sammud Δx ja Δy vastavalt x - ja y -telje suunas. Spekter on mudelis

diskretiseeritud konstantse suuna ($\Delta\theta$) ja sageduse ($\frac{\Delta\sigma}{\sigma}$) sammuga (logaritmiline sageduse jaotus). Diskreetsed sagedused on defineeritud madalsagedusliku äralõikesageduse ning kõrgsagedusliku äralõikesageduse vahel. Allpool madalsageduslikku äralõikesagedust (tavaliselt 0,04 Hz) eeldatakse, et energiatihedus võrdub nulliga. Kõrgsageduslikust äralõikesagedusest (tavaliselt 1 Hz) suurematele sagedustele lisatakse nn diagnostiline „saba.“ Seda „saba“ kasutatakse mittelineaarsete laine-laine-interaktsioonide arvutamisel ning integraalsete laineparameetrite arvutamisel.

Numbriliste skeemide valikul on lähtutud nende täpsusest ja ökonoomsusest. Kuna põhivõrrandi iseloom on selline, et energia olek võrgupunktis sõltub energiast üleslained asuvas võrgupunktis (nn hüperboolne omadus), siis kõige robustsem ja tõhusam meetod on ilmutamata *upwind* skeem. Sellise skeemi kohaselt on aja- ja ruumisammu väärtused Δt , Δx ja Δy vastastikku sõltumatud. Ilmutamata skeem on ka selles mõttes ökonoomne kuna ta on tingimusteta stabiilne. Tänu sellele on võimalik arvutustes kasutada üpriski suuri ajasamme. Seega SWAN-is on valitud ilmutamata *upwind* skeem nii geograafilise kui ka spektraalse ruumi jaoks.

Võrrandit (2) lahendamisel kasutatakse Gauss – Seidel tehnikat. Hoovuste puudumise korral kasutatakse lahendamisel Thomas’ e algoritmi.

Lainemudeli seadistamine

Tuulelained genereerib õhu liikumise horisontaalkomponent. Lainemudeli sisendina on kasutatud ruumis ja ajas muutuvat HIRLAM mudeli tuult ajavahemikul 01.04.2006-30.11.2006. Lainemudeli topograafia põhineb Seifert *et al* (1995) Läänemere veesügavuste andmetel 1-minutilise lahutusega laiussihis ning 2-minutilise lahutusega pikkussihis. Mudelis kasutatav ajasamm on 1 tund ning ruumisamm sama, mis topograafial. Igas mudeli arvutuspunktis leitakse laineenergiad 960 spektraalse komponendi jaoks: 24 suuna korral ning 40 erineva sageduse korral, kusjuures sagedused on jaotunud logaritmiliselt vahemikus 0,05 – 1 Hz. Seega on võimalik modelleerida laineid, mille perioodid jäävad vahemikku 1 – 20 s.

Lainemudeli verifitseerimine

Lainemudeli verifitseerimiseks Hiiumaa põhjaranniku jaoks käesoleva töö teostamise ajal lainemõõtmised polnud kättesaadavad. Seetõttu on esitatud lainemudeli SWAN verifitseerimistulemused vastavalt varasematele rakendustele. SWAN-i on varasemalt rakendatud Küdema lahe jaoks (Alari *et al*, 2007 [avaldamata käsikiri]). Korrelatsioon mõõdetud ning modelleeritud lainekõrguste vahel oli kuni 0,92 ning mudel kirjeldas väga hästi suuremaid lainetuse sündmusi, kuid väiksemad lainetuse sündmused olid mudeli poolt ülehinnatud.

Modelleerimise tulemused

Joonisel 3.6.13 on esitatud kõikide punktide olulise lainekõrguse aegread. Keskmised olulised lainekõrgused ning maksimaalsed lainekõrgused aga ka piigi perioodid on esitatud tabelis 3.6.2 ning lainekõrguste jaotus on esitatud tabelis 3.6.3. On näha, et keskmine oluline lainekõrgus on kõige suurem punktis 1 ning kõige väiksem punktis 5, mis näitab, et lainekliima lääne pool on kõrgem sellest, mis ida pool. Kõikides punktides jääb oluline lainekõrgus vähemalt 95% tõenäosusega alla 2 m ning üle 4 m laineid esineb vaid murdosa protsendist. Modelleerimisperioodi maksimaalne lainekõrgus (4,33 m) esines punktis 3.

Joonisel 3.6.14 on esitatud piigi perioodi aegread ning tabelisse 3.6.4 on koondatud piigi perioodi jaotused. Enamasti jääb piigi periood 2-6 s vahele. Nagu keskmine oluline lainekõrgus vähenes lääne-idasuunal, väheneb samamoodi ka keskmine piigiperiood.

Joonistel 3.6.15 kuni 3.6.17 on esitatud modelleeritud lainekõrguste väljad vastavalt 1286 tundi, 3869 ning 5045 tundi modelleerimise algusest. Need iseloomustavad ekstreemseid tingimusi, kus oluline lainekõrgus kasvab üle 3 m.

Arutelu ja järeldused

Tuulterežiim Läänemere avaosas on anisotroopne (Soomere, 2003) ning sellest tulenevalt on ka lainerežiim anisotroopne. HIRLAMiga modelleeritud tuulte esinemissagedused (Joonis 3.6.18) langevad kokku pikaajalise keskmisega. Kõige tihedamini puhusid tuuled kas lõunast või edelast. Lõuna ja edela tuulte puhul on tuule mõjuala pikkus kõige suurem punktis 1 ning seetõttu on seal ka keskmine oluline lainekõrgus kõige suurem.

Joonistel 3.6.15 kuni 3.6.17 on esitatud oluliste lainekõrguste väljad erinevate tuule tingimuste korral. Esimesel juhul on tuule kiirus kuni 15.5 m/s ning tuule suund on SW^tS. Oluline lainekõrgus kasvab punktides 1-4 üle 3 m ning punktis 5 üle 2.5 m. Punktis 5 varjab maa antud suunast tulevat lainetust rohkem kui teistes punktides ning seetõttu on seal ka väiksem lainekõrgus

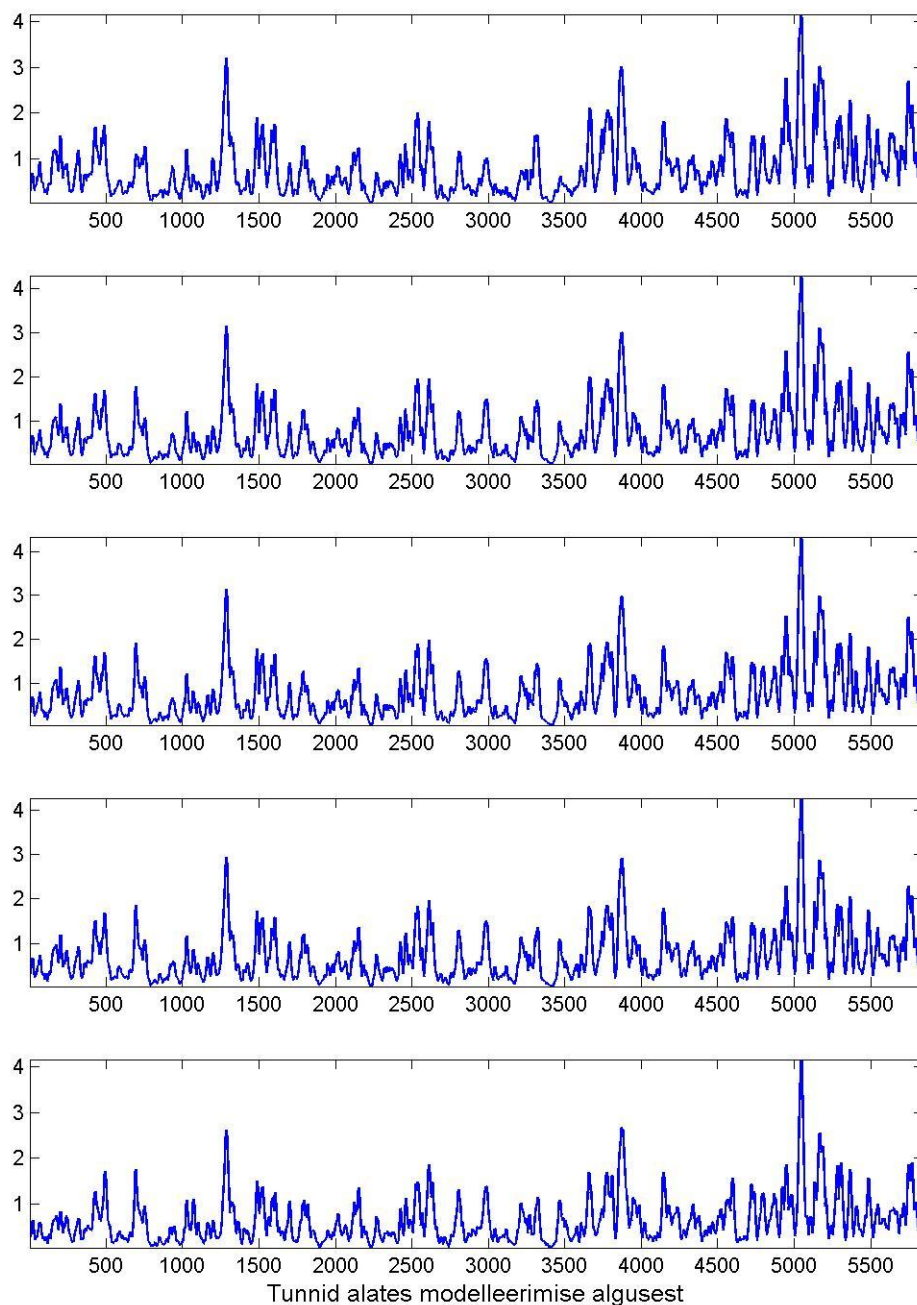
Teisel juhul kasvab oluline lainekõrgus üle 3 meetri punktides 1 ja 2 ning ülejäänud punktides jääb 2.5-3 m vahele. Vastav tuule kiirus on samuti 15.5 m/s ning tuule suund on SE^tE.

Kõige suurem lainetuse sündmuse, kui oluline lainekõrgus oli kuni 4.3 m, oli seotud tuule kiirusega kuni 21 m/s ning tuule suund oli SE^tS.

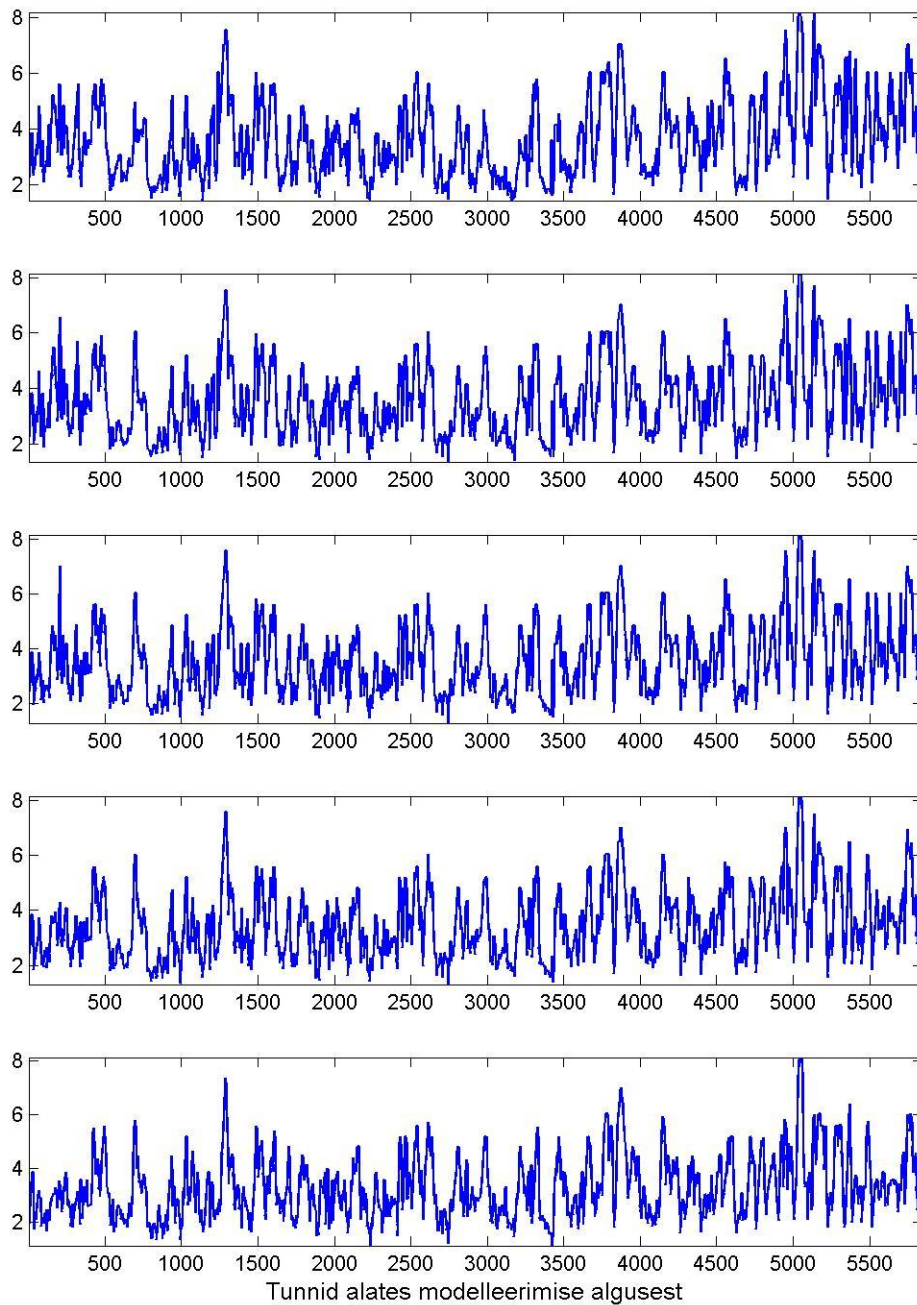
Võttes arvesse eelnevat, võib välja tuua järgmised põhilised järeldused:

- Sagedasti puhuvad tuuled lõunast-edelast ning seetõttu on kõrgeim lainetus punktis 1 (Neupokojevi madala piirkonnas).
- Kõige madalam lainetuse foon esineb punktis 5 (Apollo madala piirkonnas).
- Punktides 2,3,4 on lainetuse foon enam-vähem võrdväärne.
- Tuule tugevusega 20 m/s võib (olenevalt tuule suunast) oluline lainekõrgus olla kuni 4,5 m, mis tähendab, et üksikute lainete kõrgus on üle 7 m.

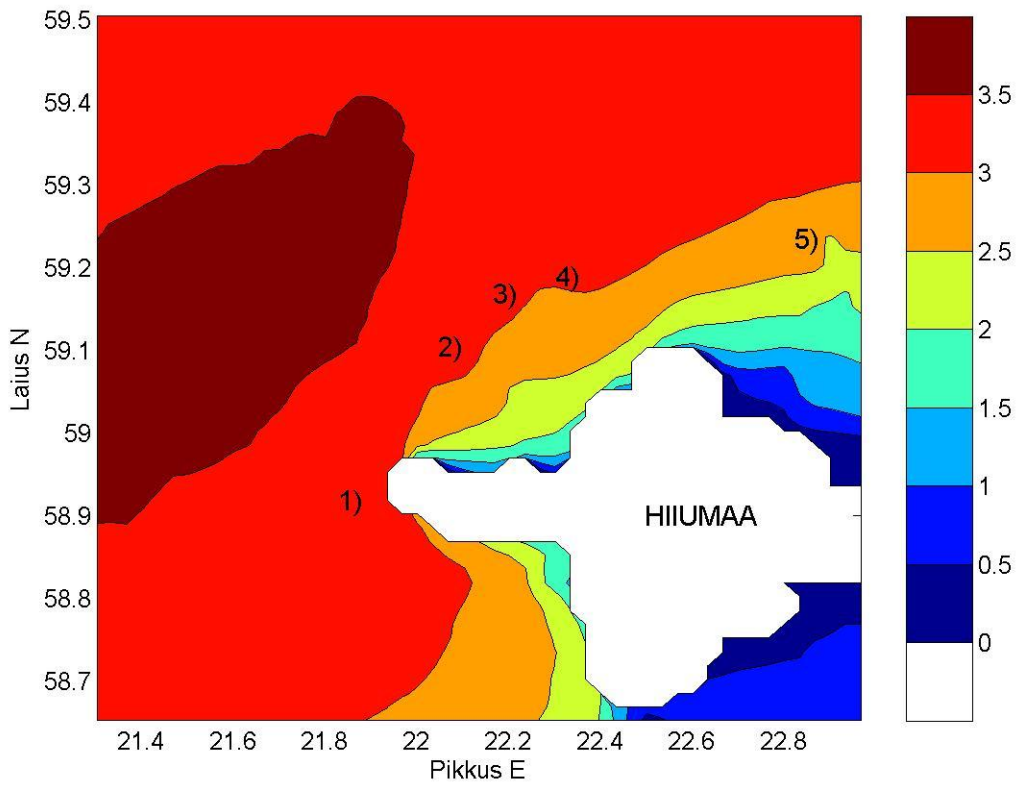
- Mudel ei lahuta ära täpselt madalaid, ning seetõttu võib madalate piirkonnas tulenevalt lainete fookseerimisest või murdumisest olla oluline lainekõrgus suurem või väiksem kui modelleeritud.
- Vaatamata sellele, et SWAN mudelit on edukalt kasutatud Küdema lahe lainekliima määramisel, tuleb Hiiumaa rannikul teostada *in situ* mõõtmisi.



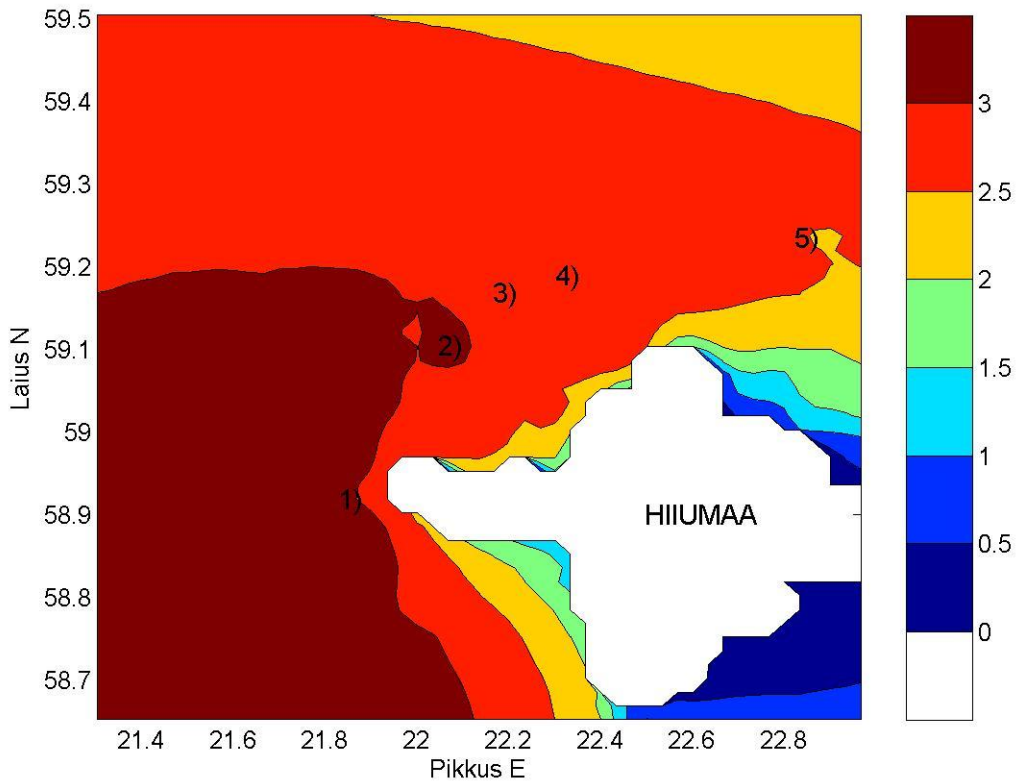
Joonis 3.6.13. Modelleeritud oluline lainekõrgus (meetrites). Ülevalt esimene paneel: Punkt 1 (Neupokojevi madal); teine paneel: Punkt 2; kolmas paneel: Punkt 3; neljas paneel: Punkt 4 (Vinkovi madal) ning viimane paneel Punkt 5 (Apollo madal).



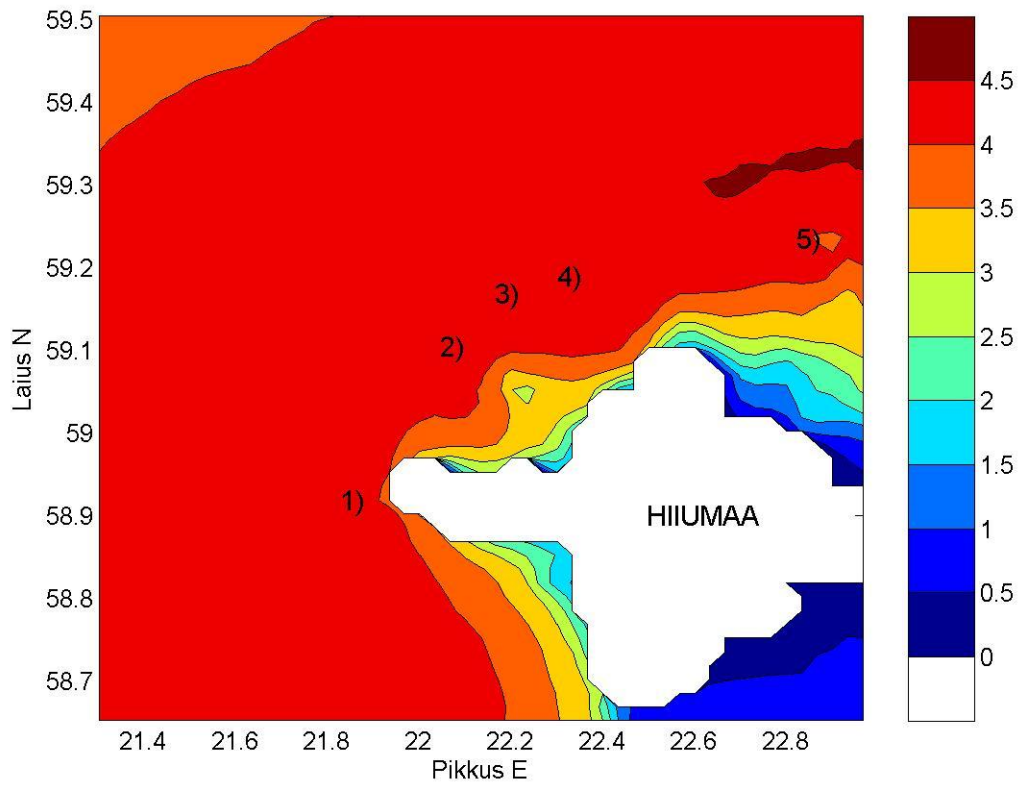
Joonis 3.6.14. Modelleeritud piigiperiood (sekundites). Ülevalt esimene paneel: Punkt 1 (Neupokojevi madal); teine paneel: Punkt 2; kolmas paneel: Punkt 3; neljas paneel: Punkt 4 (Vinkovi madal) ning viimane paneel Punkt 5 (Apollo madal).



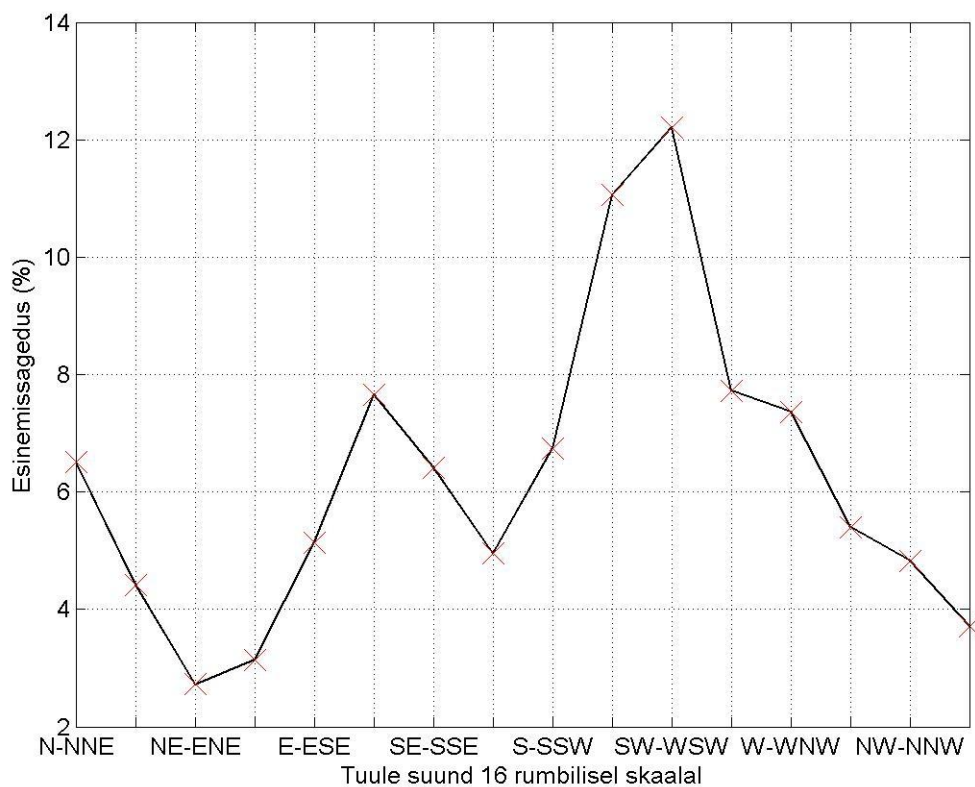
Joonis 3.6.15. Oluline lainekõrgus ajahetkel 1286 tundi (modelleerimise algusest).



Joonis 3.6.16. Olulise lainekõrguse jaotus ajahetkel 3869 tundi.



Joonis 3.6.17. Olulise lainekõrguse jaotus ajahetkel 5045 tundi.



Joonis 3.6.18. Tuule suuna esinemissagedus 16-rumbilisel skaalal. Kasutatud tuuled on modelleeritud tuuled ajavahemikul 01.04.2006-30.11.2006 (HIRLAM).

Tabel 3.6.2. Keskmine oluline lainekõrgus, maksimaalne oluline lainekõrgus, keskmine piigiperiood ning maksimaalne piigiperiood.

Asukoht	Keskmine Hs	Maks. Hs	Keskmine Tpeak	Maks. Tpeak
Punkt 1	0.74	4.16	3.58	8.18
Punkt 2	0.74	4.30	3.59	8.14
Punkt 3	0.73	4.33	3.54	8.14
Punkt 4	0.70	4.26	3.43	8.14
Punkt 5	0.62	4.16	3.26	8.14

Tabel 3.6.3. Olulise lainekõrguse jaotus kõikides punktides. Esinemissagedus on protsentides.

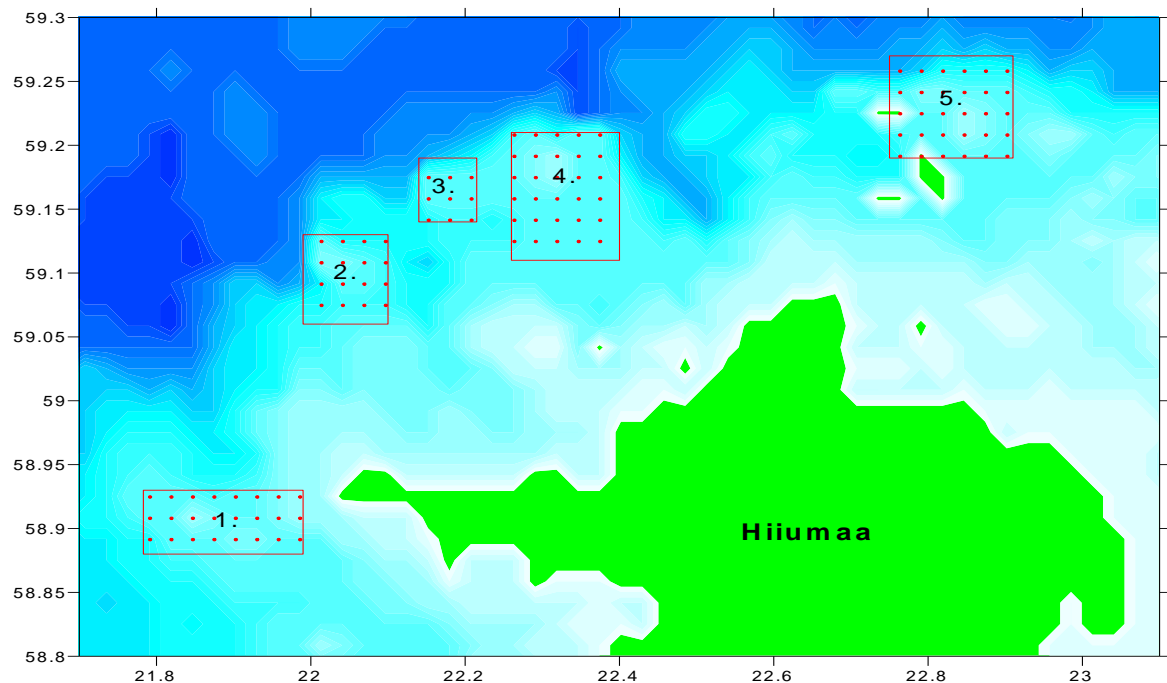
Jaotus	Punkt 1	Punkt 2	Punkt 3	Punkt 4	Punkt 5
0-0.5 m	45.41	43.83	43.85	45.97	51.91
0.5-1 m	30.69	32.13	32.10	31.98	31.26
1-1.5 m	13.84	14.88	15.19	14.29	11.43
1.5-2 m	6.43	5.82	5.70	5.05	3.47
2-2.5 m	1.56	1.40	1.35	1.27	1.04
2.5-3 m	1.40	1.21	1.28	1.04	0.55
3-3.5 m	0.33	0.39	0.21	0.14	0.12
3.5-4 m	0.24	0.17	0.17	0.12	0.12
4-4.5 m	0.10	0.15	0.15	0.15	0.10

Tabel 3.6.4. Piigiperioodi jaotus kõikides punktides. Esinemissagedus on protsentides.

Jaotus	Punkt 1	Punkt 2	Punkt 3	Punkt 4	Punkt 5
0-2 s	8.40	7.13	7.34	8.28	10.88
2-4 s	57.35	58.70	60.67	63.64	65.66
4-6 s	28.20	28.78	26.89	24.26	21.42
6-8 s	5.66	5.10	4.81	3.58	1.76
8-10 s	0.39	0.29	0.29	0.24	0.27

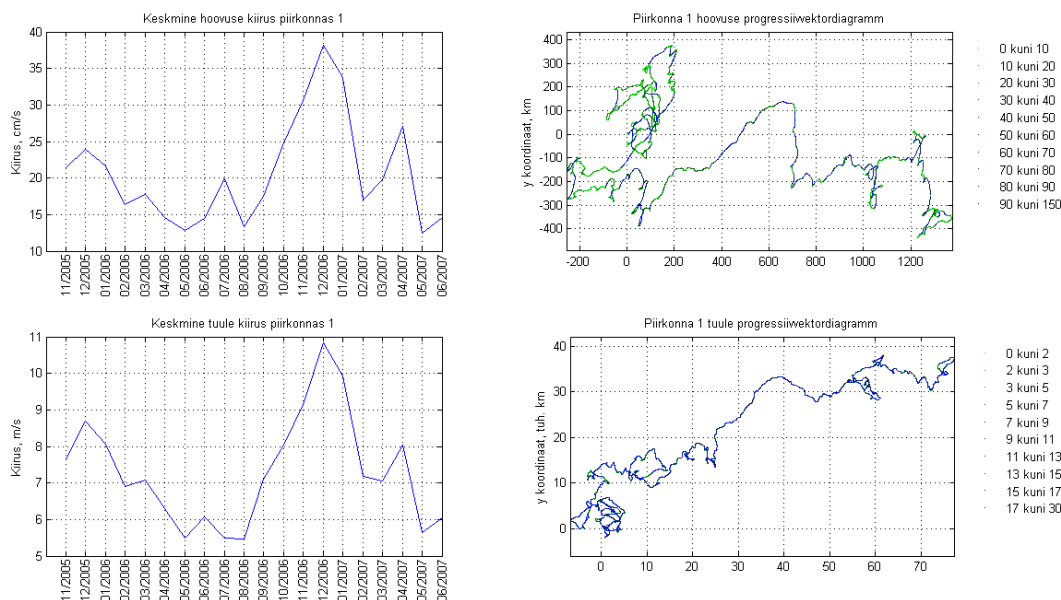
3.6.6. Hoovused

Käesolevas töös on kasutatud kavandatava tuulepargi asukohtade hoovusterežiimi kirjeldamiseks operatiivse Läänemere mudeli HIROMB arvatud hoovuse kiirusi ülemisest, 4-meetri sügavusest kihist ning lisaks HIRLAM mudeli tuuleandmeid. Andmed katsid ajavahemiku 15. november 2005 - 18. juuni 2007. Tuulikute võimalike asukohtadena on vaadeldud Neupokojevi madalat (piirkond 1, vt. Joonis 3.6.19), Vinkovi madalat (piirkond 4) ja Apollo madalat (piirkond 5) ning lisaks kahte madalat piirkonda Kõpu poolsaarest põhjas, rannikust ligikaudu 10 (piirkond 2) ja 16 (piirkond 3) kilomeetri kaugusel (Joonis 3.6.19).



Joonis 3.6.19. Kavandatava tuulepargi asukohad Hiiumaa lääne- ja põhjarannikul. Punaste kastidega on näidatud piirkonnad, millede kohta on tehtud hoovuse- ja tuulekiiruste väljavõtteid vastavalt HIROMB ja HIRLAM mudelite andmetest. Punaste punktidega on näidatud mudeli võrgupunktide asukohad vaadeldavates piirkondades.

Käesolevas peatükis kirjeldatakse hoovuste üldist režiimi viie nimetatud piirkonna jaoks kasutades nende piirkondade hoovuse kiiruse komponentide ruumilisi keskmisi. Keskmistamiseks on kasutatud mudeli andmete väljavõtteid joonisel 3.6.19 toodud punktides iga piirkonna jaoks eraldi ning keskmistamise operaatorina kasutame aritmeetilist keskmist.



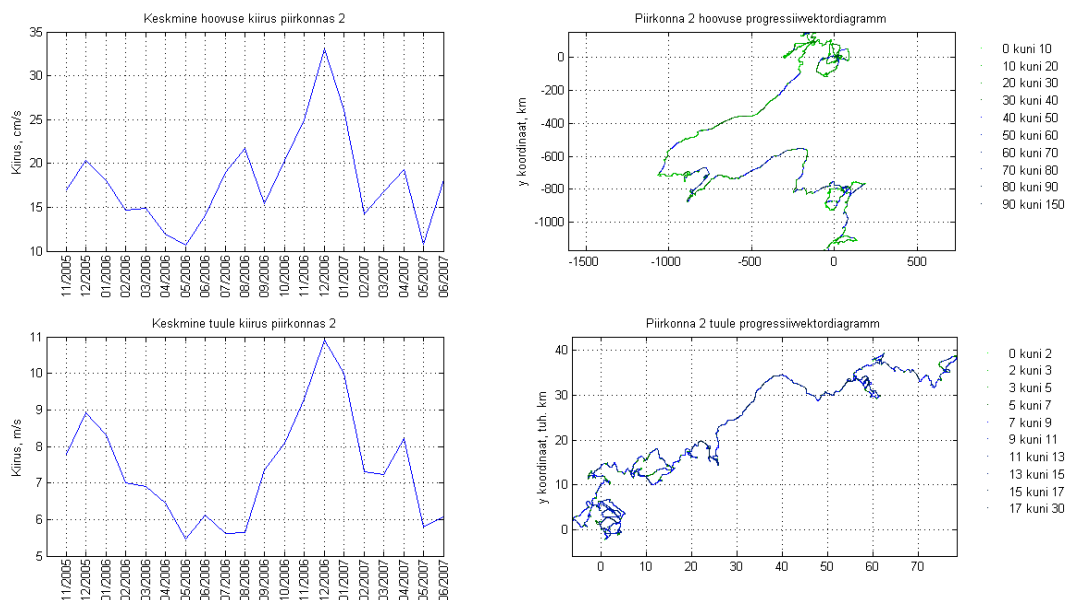
Joonis 3.6.20. Kuu keskmised hoovuse- ja tuulekiirused ning kiiruste progressiivvektordiagrammid vaadeldud perioodi vältel piirkonnas 1 (Neupokojevi madal).

Suurimad kuukeskmised hoovusekiirused mudeli andmete väljavõtte piirkonnas 1 olid detsembris 2007, mil keskmine hoovuse kiirus oli ~ 38 cm/s. Samal perioodil oli ka keskmine tuulekiirus suurim $\sim 10,9$ m/s. Väikseim keskmine hoovuse kiirus oli mais – aastate 2006 ja 2007 mai keskmine hoovusekiirus on $\sim 14,6$ cm/s. Kuu keskmised tuulekiirused nimetatud kuude jooksul olid samuti väikseimad – $\sim 5,5$ m/s. On näha, et kuu keskmised hoovuse- ja tuulekiirused 2006. aasta esimeses pooles vähenesid ning aasta teises pooles rangelt suurenesid. 2007. aasta esimese poole keskmised näitavad 2006. aastaga analoogset aastasisest kuu keskmise muutlikkust.

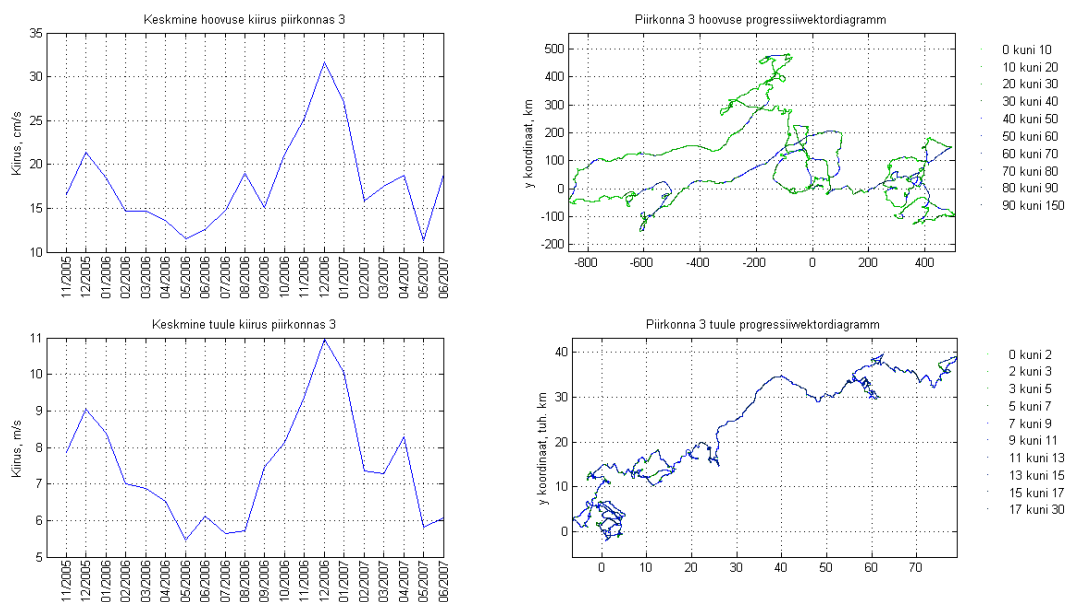
Vaadeldud perioodi progressiivvektordiagrammidelt on näha, et Neupokojevi madala piirkonnas on kaks pikaajaliselt domineerivat hoovuse suunda – hoovus on suunatud kirdesse või hoovus on suunatud lõunasse.

Madaliku 2 piirkonnas oli kuu keskmine hoovusekiirus suurim detsembris 2006 – ~ 33 cm/s. Ka keskmine tuule kiirus oli samas kuus suurim – ~ 11 m/s. Väikseimad kuu keskmised hoovuse kiirused on maikuu – $\sim 10,5$ cm/s. Kuu keskmised tuulekiirused on samuti väikseimad kevad-suvisel perioodil $\sim 5,5-6$ m/s. Analoogselt esimese piirkonnaga vähenesid kuu keskmised tuule ja hoovuse kiirused 2006. aasta esimeses pooles ning suurenesid teises pooles.

Hoovuse progressiivvektordiagrammilt ilmneb, et piirkonnas 2 on pikaajaline ühtlane hoovus suunatud edelasse, itta või lõunasse.



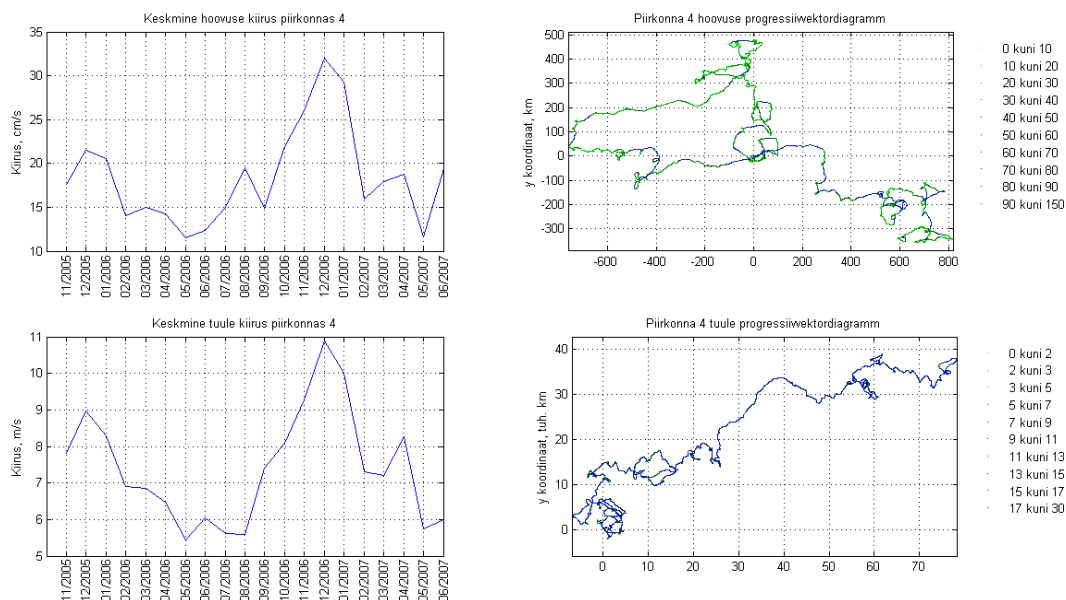
Joonis 3.6.21. Kuu keskmised hoovuse- ja tuulekiirused ning kiiruste progressiivvektordiagrammid vaadeldud perioodi vältel piirkonnas 2.



Joonis 3.6.22. Kuu keskmised hoovuse- ja tuulekiirused ning kiiruste progressiivvektordiagrammid vaadeldud perioodi vältel piirkonnas 3.

Madaliku 3 piirkonnas oli suurim kuu keskmine hoovuse kiirus ~31 cm/s detsembris 2006. Sama kuu keskmine tuule kiirus oli 11 m/s. Väiksem kuu keskmine hoovuse kiirus oli mais 2006 ~11cm/s, sama kuu keskmine tuulekiirus oli ~5,6 m/s. Suvisel perioodil 2006 keskmine hoovuse kiirus kasvas, saavutades maksimumi ~19 cm/s augustis. Septembri keskmine oli väiksem ning võrdne 15 cm/s.

Hoovuse kiiruse progressiivvektordiagrammilt ilmneb, et piirkonna 3 suhteliselt ühtlane hoovus on suunatud edelasse või kirdesse ning lõunasse.



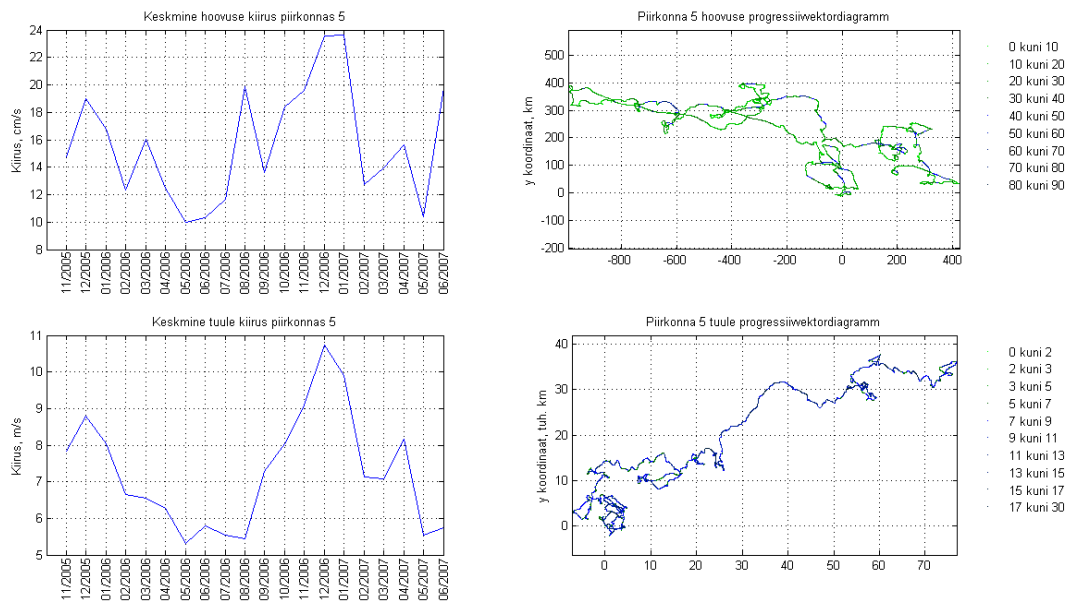
Joonis 3.6.23. Kuu keskmised hoovuse- ja tuulekiirused ning kiiruste progressiivvektordiagrammid vaadeldud perioodi vältel piirkonnas 4 (Vinkovi madal).

Vinkovi madala piirkonnas on suurim kuu keskmine hoovuse kiirus ~32 cm/s (detsember 2006) ning väikseim suvisel perioodil – 11 cm/s (mai 2006, mai 2007). Kuu keskmine tuulekiirus nimetatud kuudes oli vastavalt ~11 m/s (detsember)n ja ~5,5-5,8 m/s. Kuu keskmine hoovuse kiirus väheneb analoogselt eelpool kirjeldatud madalike hoovusterežiimiga aasta esimeses pooles ning suureneb teises pooles.

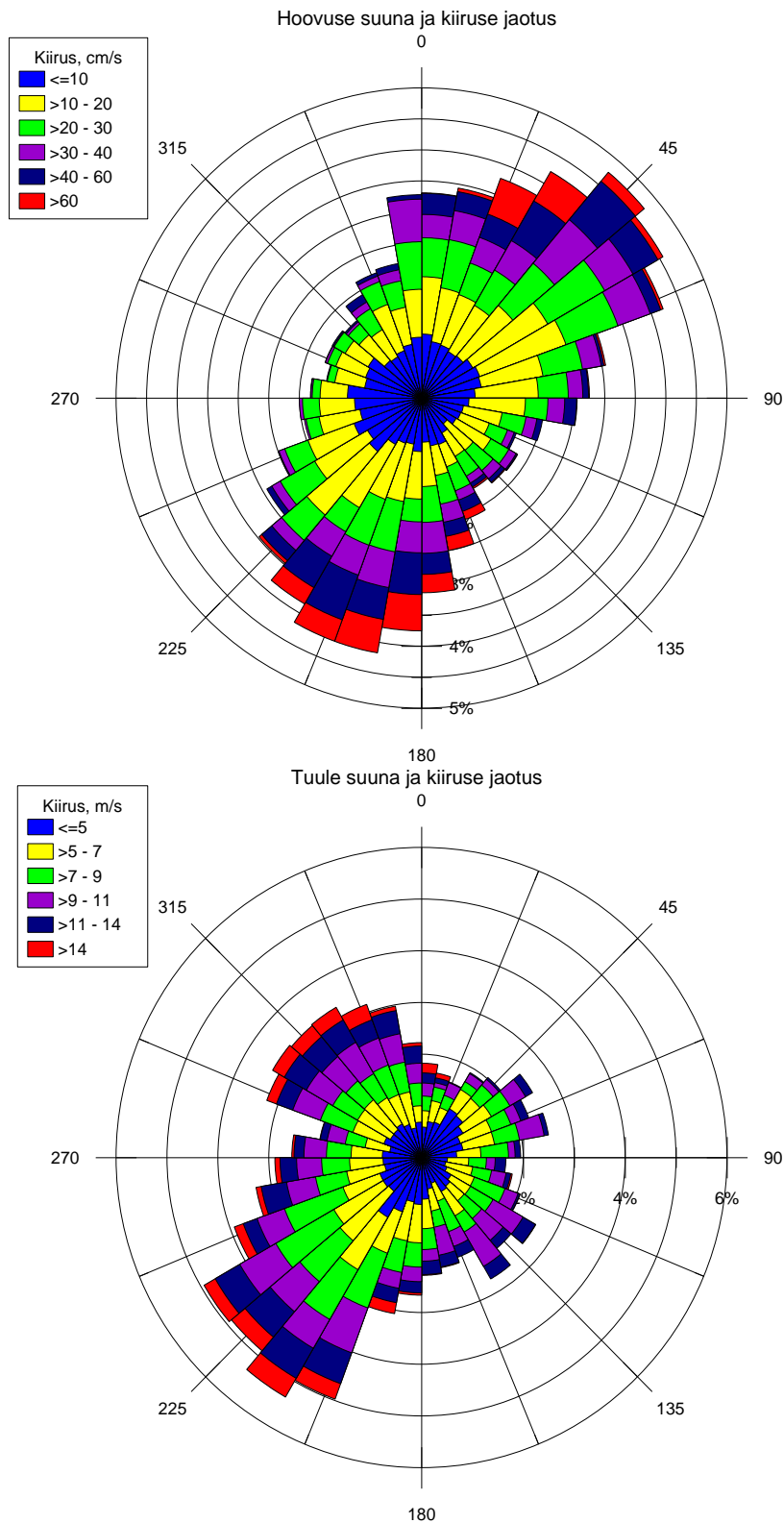
Hoovuse kiiruse komponentide progressiivvektordiagrammilt ilmneb, et Vinkovi madala piirkonnas on pikaajaliselt suhteliselt ühtlane hoovus suunatud edelasse, itta või lõunasse.

Madaliku 5 piirkonnas (Apollo madal) olid suurimad keskmised hoovuse kiirused ~23,5 cm/s (detsember 2006 ja jaanuar 2007). Väikseim hoovuse kiirus oli 10-11,5 cm/s (mai, juuni, juuli 2006). Kuu keskmised tuulekiirused nimetatud kuudes olid vastavalt 10-10,7 m/s ja 5,5-5,7 m/s.

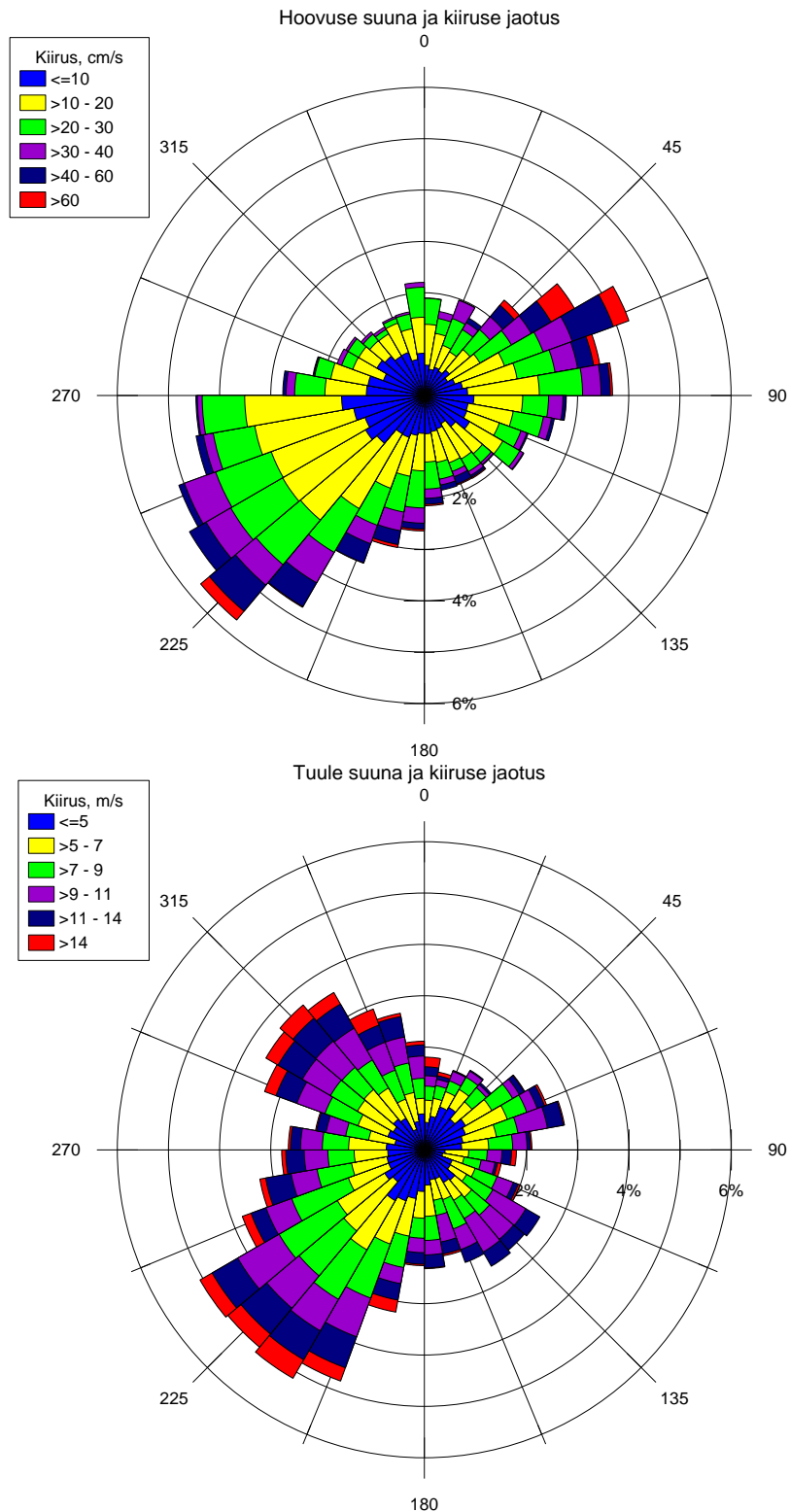
Hoovuse kiiruse progressiivvektordiagrammilt ilmneb, et Apollo madala piirkonna pikaajaline ühtlane hoovus on suunatud loodesse, läände või kagusse.



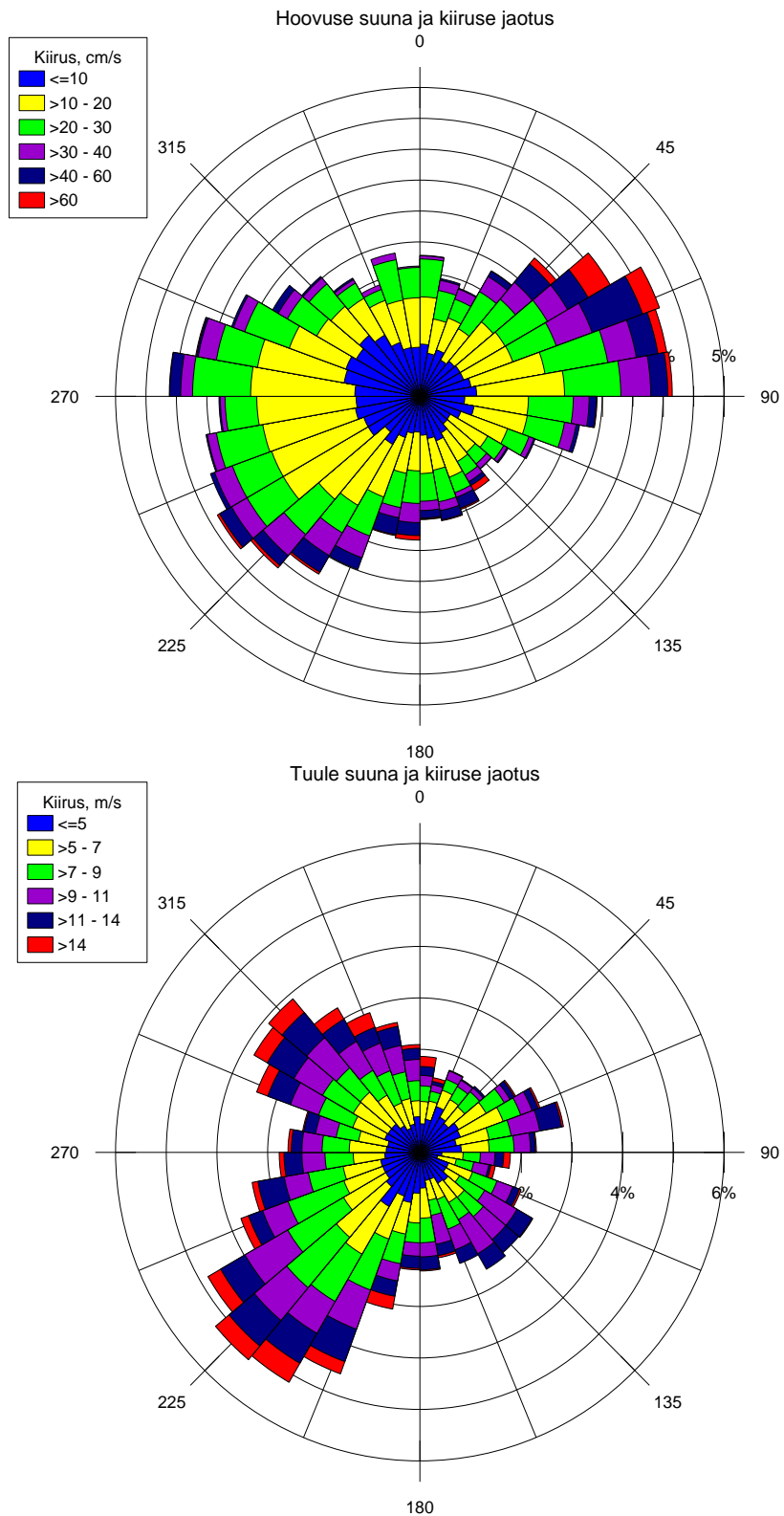
Joonis 3.6.24. Kuu keskmised hoovuse- ja tuulekiirused ning kiiruste progressiivvektordiagrammid vaadeldud perioodi vältel piirkonnas 5 (Apollo madal).



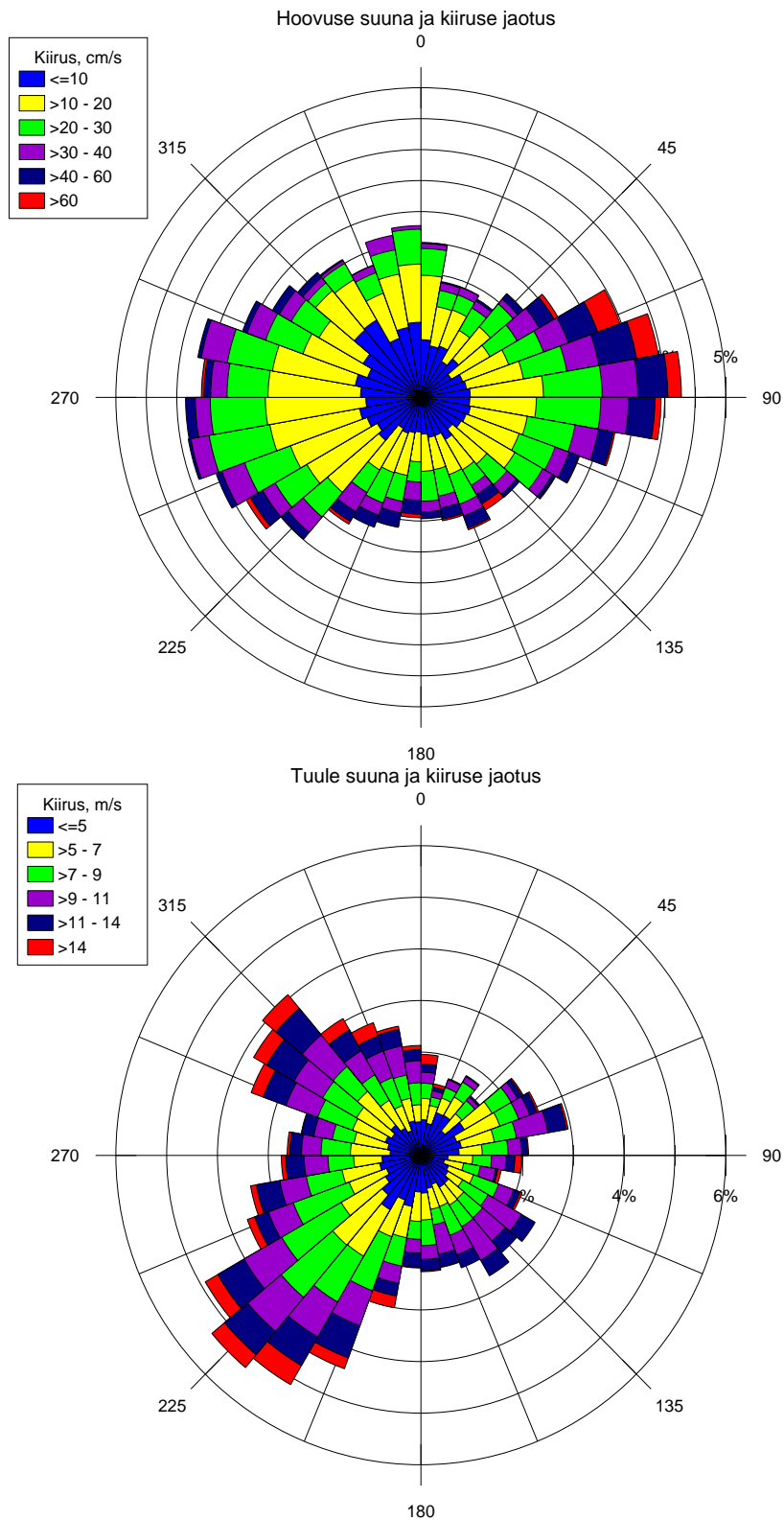
Joonis 3.6.25. Hoovuse ja tuule kiiruse ja suuna jaotus piirkonnas 1 (Neupokojevi madal) analüüsitud perioodil. Suundade korduvus hoovuste puhul näitab, kuhu hoovus on suunatud ja tuule puhul, kust tuul puhub.



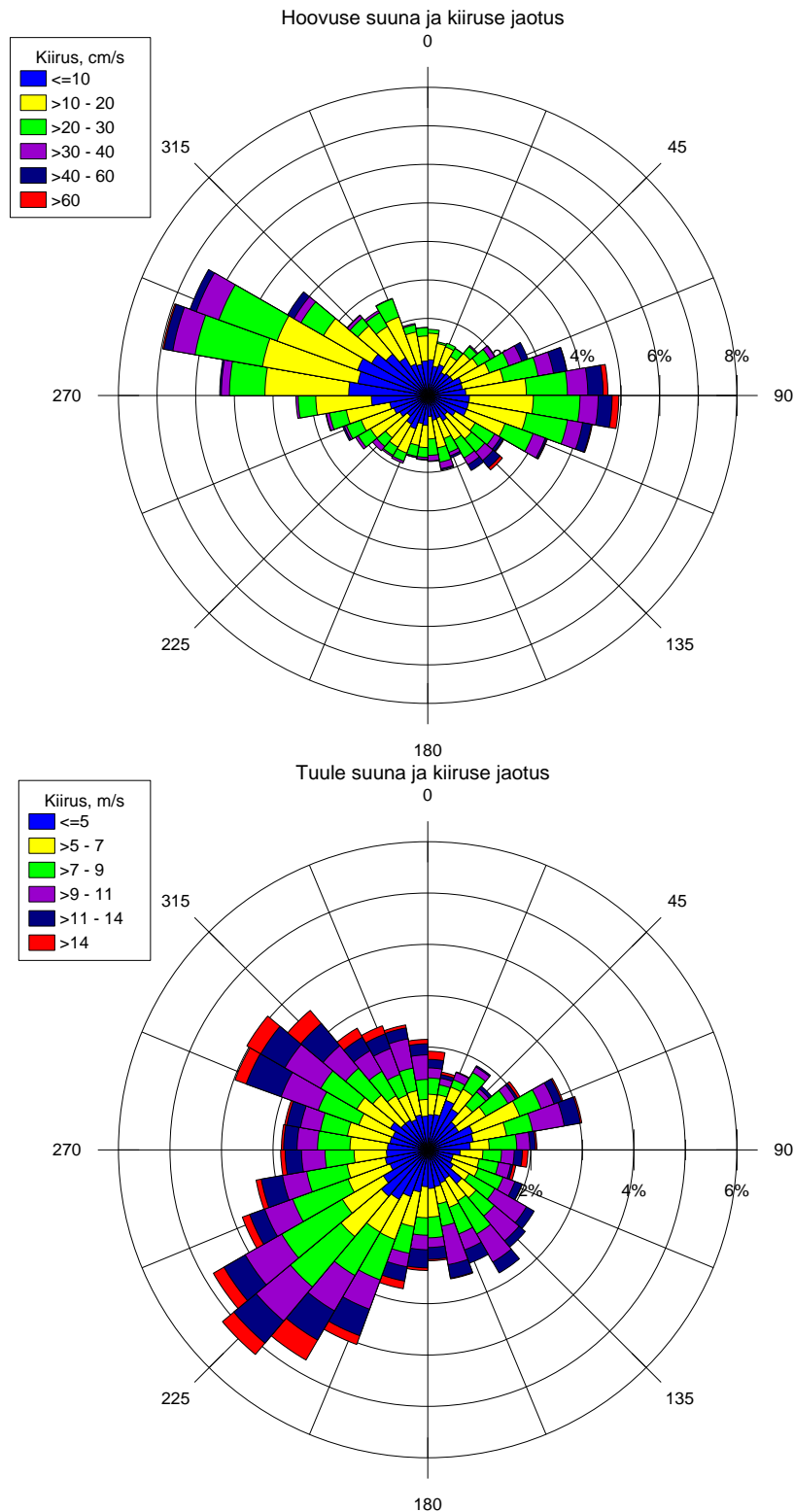
Joonis 3.6.26. Hoovuse ja tuule kiiruse ja suuna jaotus piirkonnas 2 analüüsitud perioodil. Suundade korduvus hoovuste puhul näitab, kuhu hoovus on suunatud ja tuule puhul, kust tuul puhub.



Joonis 3.6.27. Hoovuse ja tuule kiiruse ja suuna jaotus piirkonnas 3 analüüsitud perioodil. Suundade korduvus hoovuste puhul näitab, kuhu hoovus on suunatud ja tuule puhul, kust tuul puhub.



Joonis 3.6.28. Hoovuse ja tuule kiiruse ja suuna jaotus piirkonnas 4 (Vinkovi madal) analüüsitud perioodil. Suundade korduvus hoovuste puhul näitab, kuhu hoovus on suunatud ja tuule puhul, kust tuul puhub.



Joonis 3.6.29. Hoovuse ja tuule kiiruse ja suuna jaotus piirkonnas 5 (Apollo madal) analüüsitud perioodil. Suundade korduvus hoovuste puhul näitab, kuhu hoovus on suunatud ja tuule puhul, kust tuul puhub.

Joonistel 3.6.25-3.6.29 on kujutatud vaadeldud perioodi mudeli keskmistatud hoovuse ja tuule suundade ja kiiruste jaotused. Osutub, et tuulerežiimid vaadeldud madalike piirkondades on sarnased ja anisotroopsed – enimlevinud tuulesuund on vahemikus 202,5-247,5 kraadi (osakaal kuni 21%), mis vastab edelatuultele. Nimetatud suunast

on enim ka tormituuli kiirusega üle 14 m/s. Suhteliselt suure osa mudeliandmetes moodustavad loodetuuled (292,5-337,5 kraadi – osakaal kuni 16%), millede korral esineb tuule kiirust üle 14 m/s võrdväärselt edelatuule sündmustega. Kagutuulte (112,5-157,5 kraadi) osakaal on kuni 11% ning kirdetuulte (22,5-67,5 kraadi) osakaal on kuni 9%, kusjuures nimetatud suundade maksimaalsed tuulekiirused jäid kagutuulte korral alla 14 m/s. Kirdetuulte kiirus ületas 14 m/s osakaaluga alla 0,1%. Ida- ja läänetuulte (vastavalt 67,5-112,5 ja 247,5-292,5 kraadi) osakaalud olid vastavalt kuni 10% ja 13% ning maksimaalsed tuulekiirused ületasid 14 m/s. Põhja- ja lõunatuulte (vastavalt 337,5-22,5 ja 157,5-202,5 kraadi) osakaalud on vastavalt kuni 9% ja 11% ning maksimaalsed kiirused olid samuti suuremad kui 14 m/s. Samas, tuulekiirusi üle 17 m/s esines osakaaluga vähemalt 0,1% vaid edela-, lääne- ja loodetuulte korral. Põhja- ja lõunatuule korral ning idatuule korral jäi tuulekiirus enamasti alla 17 m/s.

Hoovuse kiiruse ja suuna jaotusdiagrammid erinevate madalike piirkondade korral erinevad märgatavalt. Jaotuste anisotroopsus sõltub analüüsitud kiirustest – väiksemate hoovusekiiruste puhul (kuni 10 cm/s) on jaotus suundade vahel ühtlasem, suuremate hoovuskiiruste puhul (10-20 cm/s) tunduvalt ebaühtlasem.

Piirkonnas 1 (Neupokojevi madal) esines hoovuse kiirusi üle 60 cm/s suhteliselt sageli. Enamasti oli hoovus suunaga 180-247,5 kraadi (edelasse-lõunasse) või 0-67,5 kraadi (põhja ja kirdesse). Väiksemal määral oli hoovus suunatud itta, läände, kagusse ning loodesse. Lisaks jäid hoovusekiirused lääne- ja loodesuunal vaadeldud perioodil alla 40 cm/s. Enim levinud hoovuse kiirustevahemikuks vaadeldud piirkonnas oli 20-40 cm/s.

Piirkonnas 2 esines hoovusekiirusi üle 60 cm/s märkimisväärsel hulgal vaid suunal 225 kraadi (edel) ja 45-67,5 kraadi (kirre). Enim oli hoovus suunatud läände, edelasse või kirdesse. Osakaaluga rohkem kui 3% oli hoovuse suund ka itta. Teise (90-180 kraadi) ja neljanda sektori (270-360 kraadi) summaarsed osakaalud jäid alla 20% ning maksimaalsed kiirustevahemikud olid vastavalt 40-60 cm/s ja 30-40 cm/s, samas kui esimese ja kolmanda sektori summaarsed osakaalud olid kuni 25% ja 40%. Enim levinud hoovuse kiirustevahemik vaadeldud piirkonnas oli 20-40 cm/s.

Piirkonnas 3 ja 4 (Vinkovi madal) olid hoovusterežiimid sarnased – kiirused suuremad kui 60 cm/s esinesid suunal 67,5-95 kraadi (ida). Enamasti olid mõlema piirkonna hoovused suunatud edelasse, läände või loodesse ning itta. Suhteliselt väikesel määral esines lõuna- või kagusuunda. Sektorite (0-90, 90-180, 180-270 ja 270-360 kraadi) kaupa olid 3. piirkonnas hoovuste suunad osakaaludena jaotunud vastavalt 27%, 18%, 28% ja 25% ning 4. piirkonna hoovuste suunad vastavalt 24%, 23%, 26% ja 27%. Enim levinud kiirustevahemik vaadeldud piirkondades oli samuti 20-40 cm/s.

Apollo madaliku piirkonnas oli hoovusterežiim vaadeldud perioodil anisotroopsem, kuid hoovuse kiirused olid väiksemad kui teistes piirkondades. Enim levinud suunaks oli 270-310 kraadi (loode-lääne), mille osakaal oli suurem kui 20% või idasuund (70-110 kraadi), mille osakaal oli suurem kui 15% ning hoovusekiirus ületas idasuunal 60 cm/s. Sektorite kaupa olid summaarsed suundade korduvuse osakaalud vastavalt 20%, 25%, 20% ja 35%. Kui jagada suunad 45-kraadisteks sektoriteks, siis jaotusid

hoovused erinevatesse suundadesse järgmiste osakaaludena: 6,5%, 14%, 16%, 8,5%, 8%, 11,5%, 24,5% ja 10%. Enim levinud kiirusevahemikuks oli 0-20 cm/s.

3.6.7. Veekvaliteet

Veekvaliteedi hindamiseks rannikumeres võib kasutada Veepoliitika Raamdirektiivi (VRD) rakendamiseks väljatöötavaid kriteeriume või Merestrateegia rakendamiseks Läänemere tegevuskava raames väljatöötavaid kriteeriume. Kuigi rajatavate tuuleparkide piirkonnad ei ole kuulu VRD mõttes formaalselt Eesti rannikumere alla, on need alad madalad (sügavus alla 20 meetri) ja rannikumere veekvaliteedi klasside kasutamine seega põhjendatud. Teisalt võivad avamere jaoks väljatöötavad kvaliteedikriteeriumid olla erinevad/rangemad ja seetõttu vaatame käesoleva töö raames ka nende kriteeriumite rakendamisel saadavaid tulemusi/järeldusi.

Käesoleva töö raames analüüsivad piirkondadele on kõige lähem Eesti rannikumeres Läänesaarte rannikumere tüüp, mille jaoks on välja pakutud järgmised veekvaliteedi hindamise tüübispetsiifilised kriteeriumid (Lips, 2005):

Tabel 3.6.5. Rannikumere veeklassidele vastavad füüsikalise-keemiliste ja bioloogiliste kvaliteedinäitajate tüübi-spetsiifilised väärtused Läänesaarte avamere rannikumere tüübi jaoks

Kvaliteedinäitaja ja ühik	Väga hea veeklass	Hea veeklass	Rahuldav veeklass	Halb veeklass	Väga halb veeklass
IV tüüpi rannikuvesi					
Lämmastikusisaldus – Nüld ($\mu\text{mol N / l}$)	< 10	10 - 15	15 - 26	26 - 50	> 50
Fosforisisaldus – Püld ($\mu\text{mol P / l}$)	< 0,3	0,3 - 0,6	0,6 - 1,3	1,3 - 4	> 4
Vee läbipaistvus – Secchi sügavus (m)	> 7,5	7,5 - 6	6 - 4	4 - 2	< 2
Klorofüll <i>a</i> sisaldus ($\mu\text{g/l}$)	< 1	1 - 3,2	3,2 - 8	8 - 20	> 20
Põhjataimestiku maksimaalne sügavuslevik (m)	> 15	15 - 12	12 - 8	8 - 4	< 4
<i>Macoma balthica</i> biomass (g/m^2)	< 25	25 - 40	> 40	Puudub	Puudub

Läänemere keskkonnakaitse komisjoni (HELCOM) ettevõtmisel töötatakse välja EUTRO PRO projekti raames Läänemere erinevate piirkondade avamere jaoks kvaliteedinäitajate sihtarve ja hea-halva veekvaliteedi piiride kriteeriume. Käesolevas töös on kasutatud EUTRO PRO projekti materjale, mis esitati projekti koosolekul 2007. aasta sügisel. Momendil on arutluse all järgmised kvaliteedinäitajad, Soome lahe avaosale ja Läänemere avaosa põhjapasseinile pakutavad sihtarvud ning hindamiskriteeriumid (HELCOM EUTRO PRO 5/2007, www.helcom.fi):

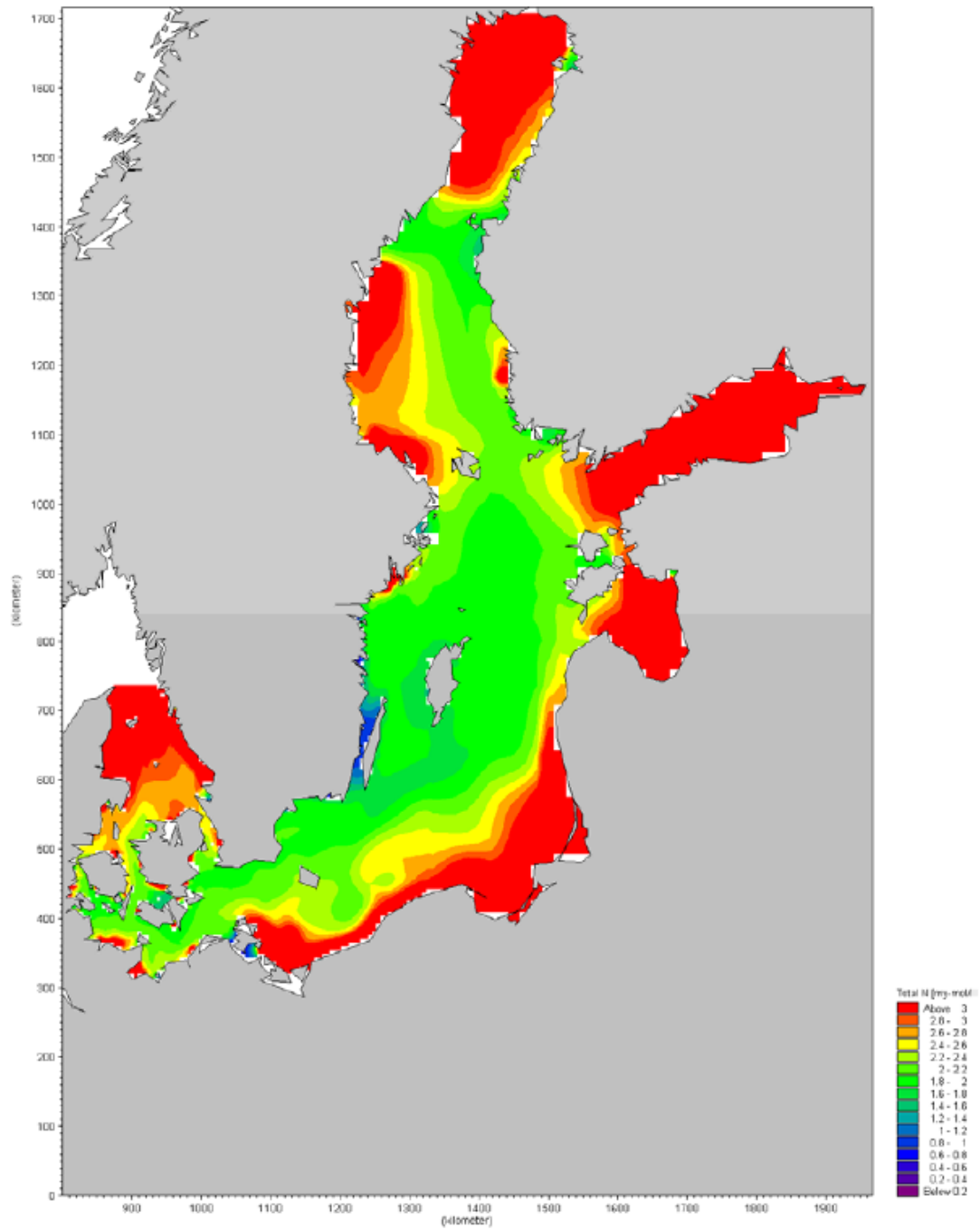
Tabel 3.6.6. Kvaliteedinäitajad avamere veekvaliteedi hindamiseks, Soome lahe avaosale ja Läänemere avaosa põhjabasseinile pakutavad kvaliteedinäitajate sihtarvud ja hea-halva veekvaliteedi hindamise kriteeriumid

Kvaliteedinäitaja ja ühik	Sihtarv	Hindamise kriteerium	Piirarv hea-halva vahel
Soome lahe avaosa			
Lämmastiksisaldus – Nüld ($\mu\text{mol N / l}$)	12	50% *	18
Fosforisisaldus – Püld ($\mu\text{mol P / l}$)	0,35	50% *	0,53
Vee läbipaistvus – Secchi sügavus (m)	8	-25%	6
Klorofüll <i>a</i> sisaldus ($\mu\text{g/l}$)	1,2	50%	1,8
Läänemere avaosa põhjabassein			
Lämmastiksisaldus – Nüld ($\mu\text{mol N / l}$)	11	50% *	17
Fosforisisaldus – Püld ($\mu\text{mol P / l}$)	0,28	50% *	0,32
Vee läbipaistvus – Secchi sügavus (m)	9,5	-25%	7,1
Klorofüll <i>a</i> sisaldus ($\mu\text{g/l}$)	1,0	50%	1,5

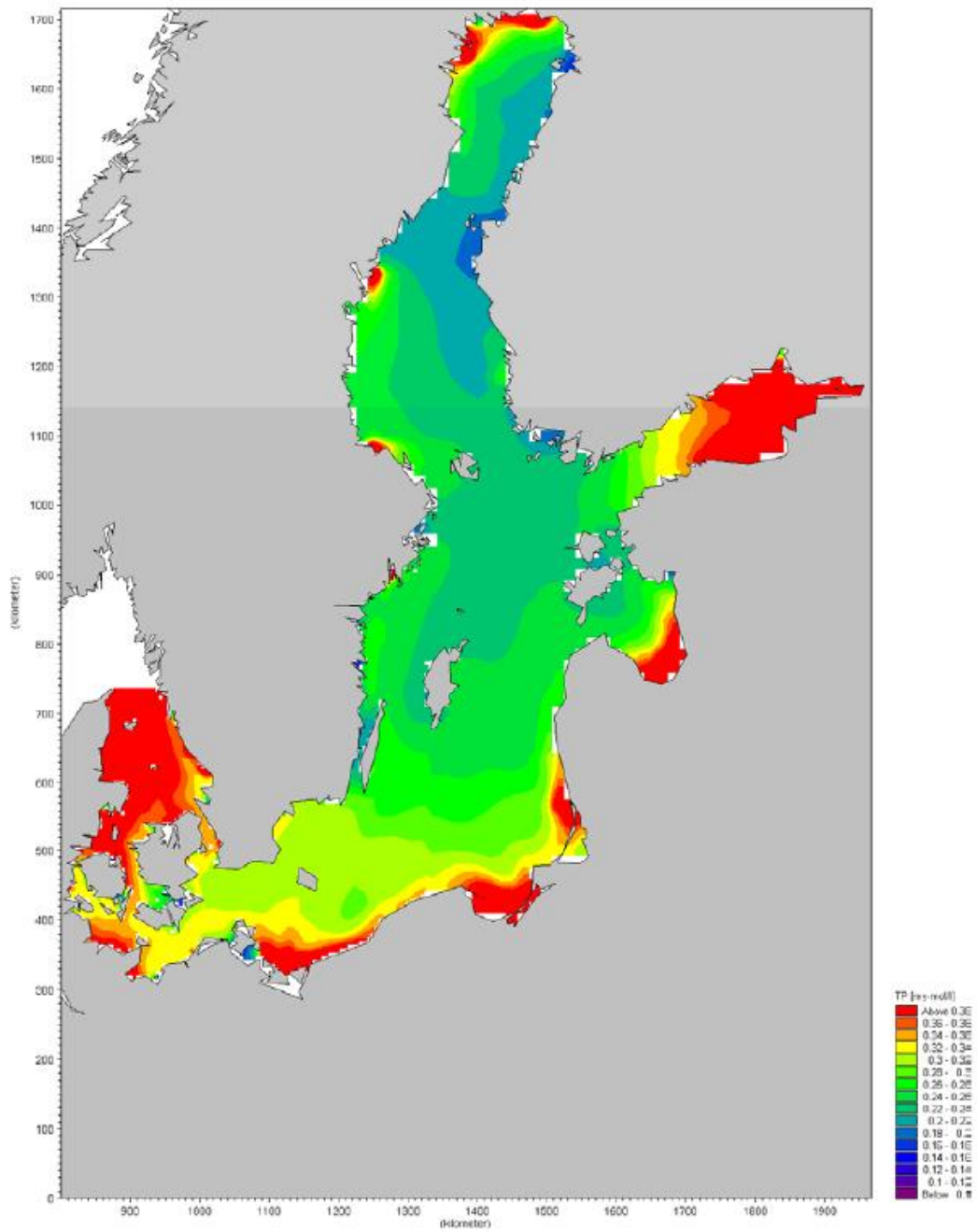
Märkused: * - 50% on ettepanek, materjalides otsest viidet pole

Võrreldes hea-halva (või hea-rahuldava) veekvaliteedi kriteeriume tabelites 3.6.5 ja 3.6.6, on näha, et need erinevad suhteliselt vähe, välja arvatud klorofüll *a* sisalduse kohta. EUTRO PRO poolt arutlusel olevad kriteeriumid avamere jaoks on leebemad üldlämmastiku kontsentratsiooni osas, natuke rangemad üldfosfori kontsentratsiooni ja Secchi sügavuse osas ning tunduvalt rangemad (ligikaudu kaks korda) suvise klorofüll *a* sisalduse osas.

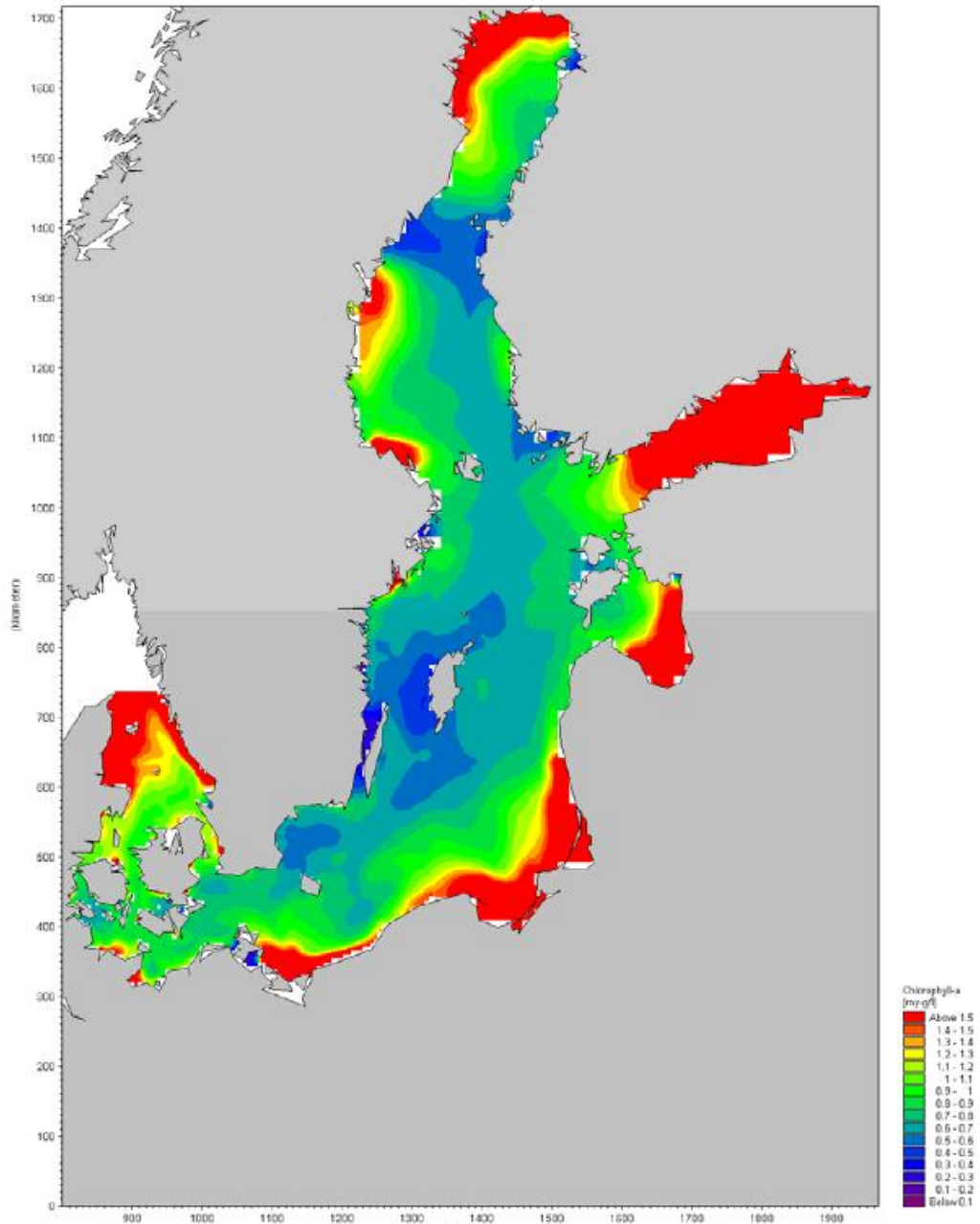
Oluliselt erinevad sihtarvud on saadud EUTRO PRO projekti raames teostatud modelleerimise tulemusena (vt. Joonised 3.6.30-3.6.32). Samas näitavad modelleerimise andmed, et käesolevas töös analüüsitavad piirkonnad asuvad keskkonnaparameetrite jaoks väga muutlikkus Läänemere osas – frontaalala Läänemere avaosa ja Soome lahe vahel. Seega on looduslik muutlikkus suur ja inimtegevuse tagajärjel tekkivad muutusi/trende keskkonnaparameetrite väärtustes on looduslikest muutustest raske eristada.



Joonis 3.6.30. Üldlämmastiku sisalduse sihtarvude jaotus Läänemeres EUTRO PRO projekti raames teostatud modelleerimise tulemuste põhjal.



Joonis 3.6.31. Üldfosfori sisalduse sihtarvude jaotus Läänemeres EUTRO PRO projekti raames teostatud modelleerimise tulemuste põhjal

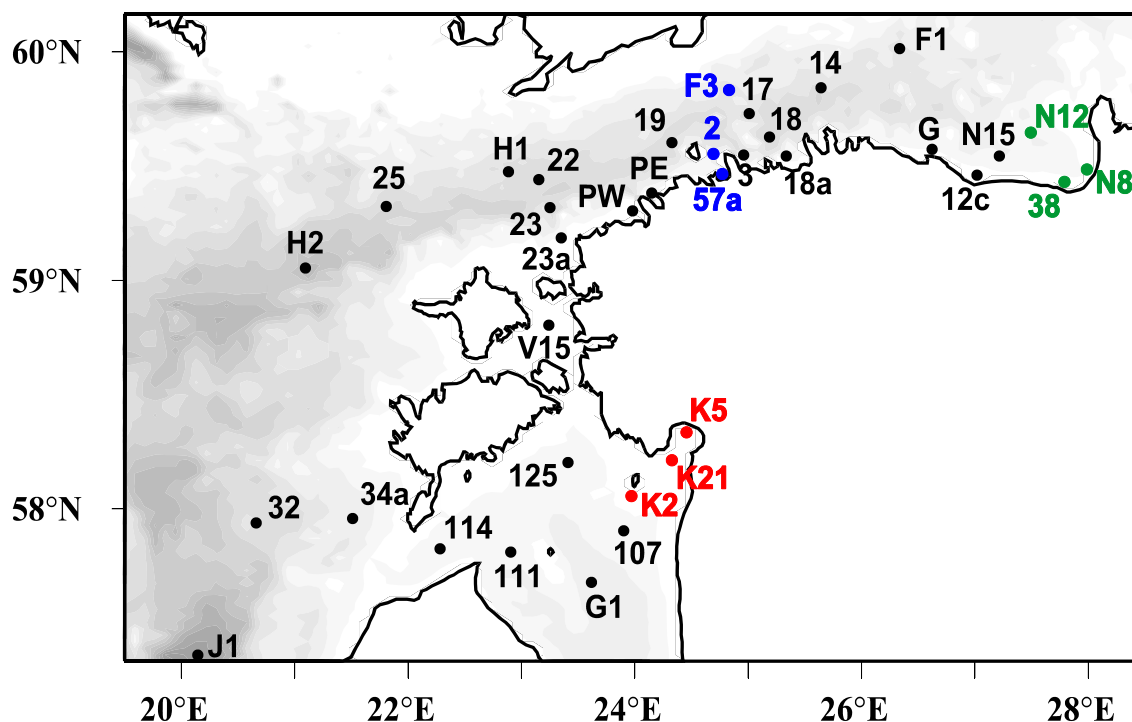


Joonis 3.6.32. Klorofüll *a* sisalduse sihtarvude jaotus Läänemeres EUTRO PRO projekti raames teostatud modelleerimise tulemuste põhjal

Veekvaliteedi hindamiseks on kasutatud käesolevas töös riikliku keskkonnaseire rannikumere seire allprogrammi andmeid. Hinnatavaid parameetreid (üldfosfori ja üldlämmastiku sisaldus) on seiratud tööde piirkonnale lähedastel merealadel suvekuudel aastatel 1993 kuni 2001. Viimastel aastatel on suvised mõõdistused avamerel ära jäetud ja rohkem kontsentreeritud rannikumere seirele valitud piirkondades, mis kahjuks ei piirne uuritava alaga.

Tabelis 3.6.7 toodud kvaliteedinäitajate keskmised väärtused tööde piirkonnaga piirneval alal on leitud seirejaamade 23a, 23, 22, H1, 25 ja H2 andmetel ülemisest 10-

meetrisest kihist juunis-augustis 1993-2001 (jaamade asukohad on toodud joonisel 3.6.33).

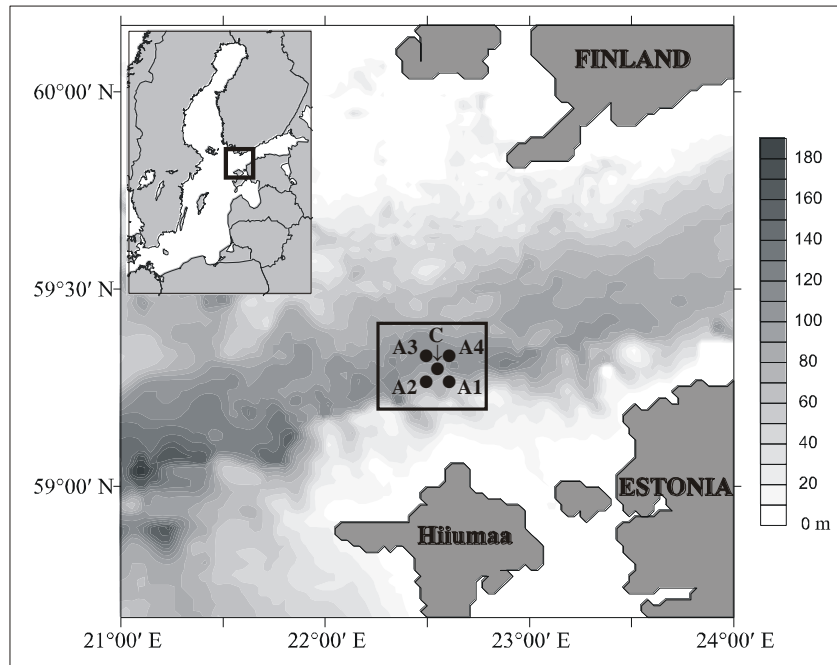


Joonis 3.6.33. Riikliku keskkonnaseire rannikumere seire jaamad (eutrofeerumise uuringud).

Tabel 3.6.7 Keskmised kvaliteedinäitajate väärtused töödega piirneval merealal riikliku keskkonnaseire andmete põhjal 1993-2001

Kvaliteedinäitaja ja ühik	Keskmine väärtus	Analüüside arv	Hinnang
Lämmastikusisaldus – Nüld ($\mu\text{mol N / l}$)	15	119	Hea
Fosforisisaldus – Püld ($\mu\text{mol P / l}$)	0,45	119	Hea

Kuigivõrd esinduslikud mõõtmised klorofüll *a* sisalduse ja Secchi sügavuse osas töödega piirnevalt alalt peaaegu puuduvad. Ka riikliku rannikumere seire raames on taolisi mõõtmisi läbi viidud suvekuudel ainult üheksakümnendate esimeses pooles. Eesti teadusfondi poolt finantseeritud uurimisgranti raames teostati interdistsiplinaarseid uuringuid madalate piirkonna lähistel 1996. aasta juulis (Lips et al., 2005). Mõõtmisi teostati 9 päeva jooksul viies mõõtmispunktis (vt Joonis 3.6.34). Kokku analüüsiti klorofüll *a* sisalduse määramiseks 39 veeproovi. Keskmine klorofüll *a* sisaldus mõõtmisperioodil oli ülemises segunenud veekihis 3,4 $\mu\text{mol/l}$, mis vastab VRD klassifikatsioonisüsteemis rahuldavale veekvaliteedile ja EUTRO PRO raames välja töötavas süsteemis halvale (probleemsele) veekvaliteedile.



Joonis 3.6.34. Mõõtmispunktide asukohad 1996.a. uuringute ajal, kust koguti veeproovid klorofüll *a* sisalduse määramiseks (punktid A1-A4 ja C).

Käesoleva aasta juulis-augustis teostati spetsiaalsed veekvaliteedi parameetrite uuringud Vinkovi ja Apollo madalate piirkonnas (mõõditustööd on kirjeldatud täpsemalt eraldi aruandes). Kokku teostati 63 Secchi ketta sügavuse mõõtmist ja 32 klorofüll *a* sisalduse määramist. Mõõtmistulemuste põhjal on arvatud keskmised nimetatud parameetrite väärtused: Secchi ketta sügavus – 4,1 m ja Chl *a* sisaldus 4,7 µg/l. Mõlemad kvaliteedinäitajad osutavad VRD klassifikatsioonisüsteemis rahuldavale veekvaliteedile uuritava merealal. EUTRO PRO raames pakutava süsteemi alusel oleks piirkond halva veekvaliteediga ehk nn „probleemne piirkond”.

Kasutatud kirjandus

Alari, V., Raudsepp, U., Kõuts, T. 2007. Wind wave measurements and modelling in Küdema Bay, Estonian Archipelago Sea. [Avaldamata käsikiri]

Booij, N., Ris, R.C., Holthuijsen, L.H. 1999. A third – generation wave model for coastal regions. 1. Model description and validation. *J. Geophys. Res.* C104: 7649 – 7666.

Seifert, T., Kayser, B., Tauber F. 1995. *Bathymetry data of the Baltic Sea*. Baltic Sea Research Institute, Warnemünde.

Soomere, T. 2003. Anisotropy of wind and wave regimes in the Baltic Proper. *J. Sea Res.*, **49**, 305-316.

Liblik, T., U. Lips, S. Keevallik, 2004. *Sooe lahe tuulerežiimi analüüs Kalbådagrundi meteojaama andmete põhjal*. Eesti Mereakadeemia toimetised nr. 1.

Soomere, T., S. Keevallik, 2003. *Anisotropy of moderate and strong winds in the Baltic Proper*. // Proc. Estonian Acad. Sci. Eng. **9**, 3, 209-219.

Soomere, T., S. Keevallik. *Tuulterežiim Muuga lahel ja selle ümbruses*. TÜ Eesti Mereinstituut, 2003. Muuga sadama seire 2002.

TÜ Eesti Mereinstituut, 2002. Sõru sadama laiendamise ja süvendamise keskkonnamõjude hindamine.

<http://www.emhi.ee>

<http://www.smhi.se>

Lips, U., 2005. Eesti rannikumere looduslikud tüübid ja veekvaliteedi klassid. *Eesti Mereakadeemia Toimetised*, 2/2005, lk. 62-74.

Gunni Ærtebjerg. Nutrient reference conditions; HELCOM PRO 5/2007 Reports and Presentations (www.helcom.fi).

Pirjo Kuuppo. Phytoplankton; HELCOM PRO 5/2007 Reports and Presentations (www.helcom.fi)

V. Fleming-Lehtinen, H. Kaartokallio. Secchi depth in the assessment of Eutrophication of the Baltic Sea: indicators, functional relationships and reference conditions; HELCOM PRO 5/2007 Reports and Presentations (www.helcom.fi)

A. Erichsen, J.H. Andersen, C. Murray. Modelling of reference conditions in the open parts of the Baltic Sea; HELCOM PRO 5/2007 Reports and Presentations (www.helcom.fi)

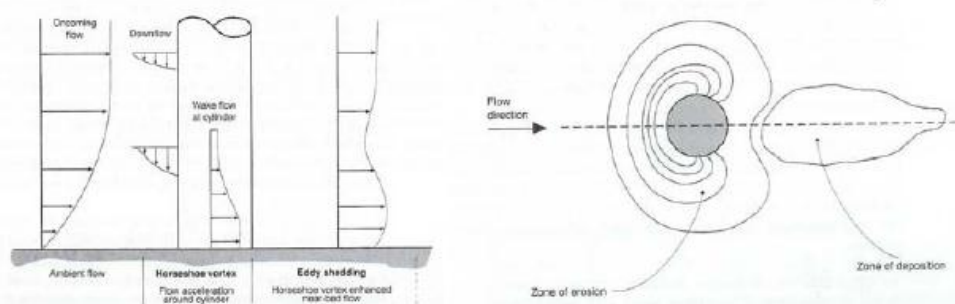
Lips, I., U. Lips, K. Kononen and A. Jaanus (2005). The effect of hydrodynamics on the phytoplankton primary production and species composition at the entrance to the Gulf of Finland (Baltic Sea) in July 1996. *Proc. Estonian Acad. Sci. Biol. Ecol.*, 54, 3, p. 210-229.

4. PEATÜKK 5.2. Mõjud lokaalsele hüdrodünaamikale ja vee kvaliteedile

5.2.1.. Tuulikute mõju lokaalsele hüdrodünaamikale

Tuulikud on kolmelabalisel toru tüüpi mastiga. Ühikvõimsus: 3-6 MW. Masti kõrgus ca 125 m. Tiiviku läbimõõt ca 125 m. Kas tuulikud rajatakse vundamendile (vajalik kui pinnas on raskesti läbitav) või süvistatakse tuuliku toru pinnasesse, pole veel lõplikult otsustatud. Mõju hindamisel on eeldatud, et tuulikute vahekaugus üksteisest on ligikaudu 6-8 rootori diameetrit.

Lokaalse hüdrodünaamilise mõju arvestamiseks on läbi viidu mitmeid uuringuid ja koostatud sellealaseid käsiraamatuid. Näiteks, on joonisel 5.2.1 toodud hoovuse ja tuuliku vastasmõju poolt põhjustatud erosiooni ja täiskandumise skeem. Erosiooniga haaratud piirkonna ulatus on ca 2 tuuliku toru diameetrit ja täiskandumise ala asub tuulikust 1-4 toru diameetri kaugusel. Seega on märgatav setete liikumine suhteliselt lokaalse iseloomuga. Kui eeldada, et tuuliku toru diameeter on 3-4 m, siis ulatuks hüdrodünaamiline mõju maksimaalselt 15 meetri kaugusele tuulikust. Kui rajada tuulikule vundament, mille diameeter ületab tuuliku toru diameetrit 2-3 korda, on hüdrodünaamiline mõju märgatav sama palju kordi suuremal alal. Teisalt on erosioon ja täiskandumine seotud otseselt pinnase iseloomuga tuulikute ümbruses ning tegelik hüdrodünaamilise mõju hindamine praeguses etapis raskendatud. Selge on, et mõju jääb suhteliselt lokaalseks ja omab rohkem tähtsust tuulikute püsivuse hindamisel kui keskkonnamõju kontekstis.



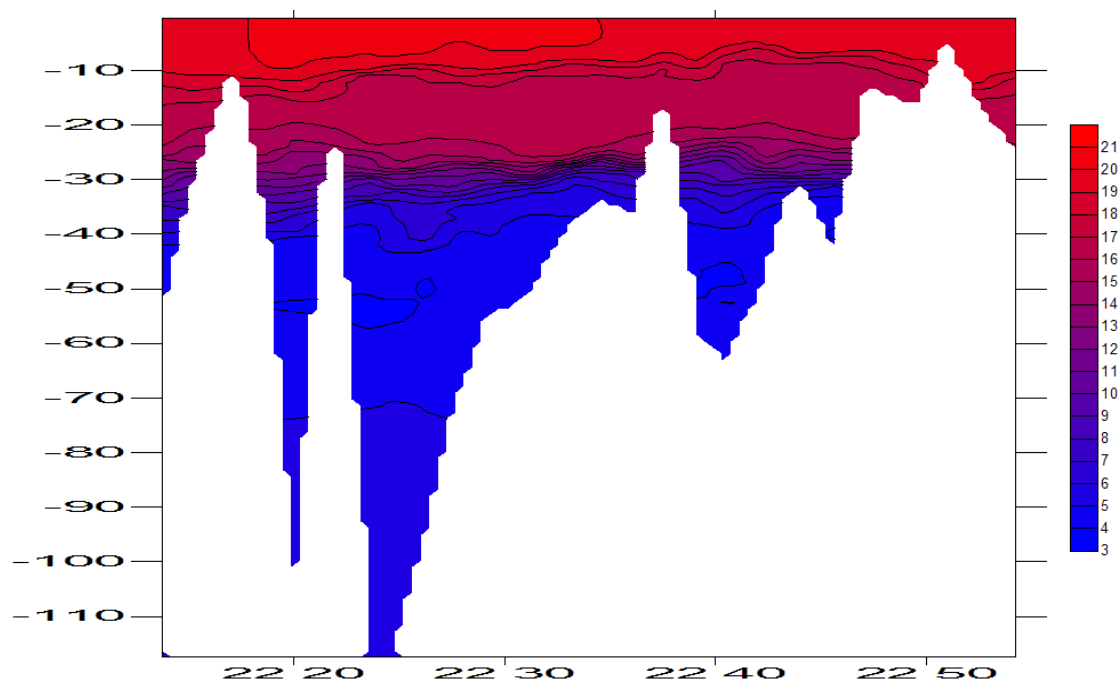
Joonis 5.2.1. Pinnase erosioon ja täiskandumine püsivast suunast liikuva hoovuse ja toruja tuuliku vastasmõju tagajärjel (Whitehouse, R, 1998).

Tuulikute mõju hindamiseks lokaalsele lainetuse režiimile, kasutatakse võrdluseks Scorby Sands'is, Suurbritannias, tehtud mõõtmiseksperimente ja mudelarvutusi (CEFAS, 2005). Antud eksperimentide käigus selgitati välja tuuliku kere mõju lainete difraktsioonile, refraktsioonile ning *shoaling'ule*.

Kasutades mudelarvutustes siledat, konstantse sügavusega merepõhja, leiti, et oluline lainekõrgus väheneb tuulikutest allalainet kuni 5 %. Reaalse topograafia korral

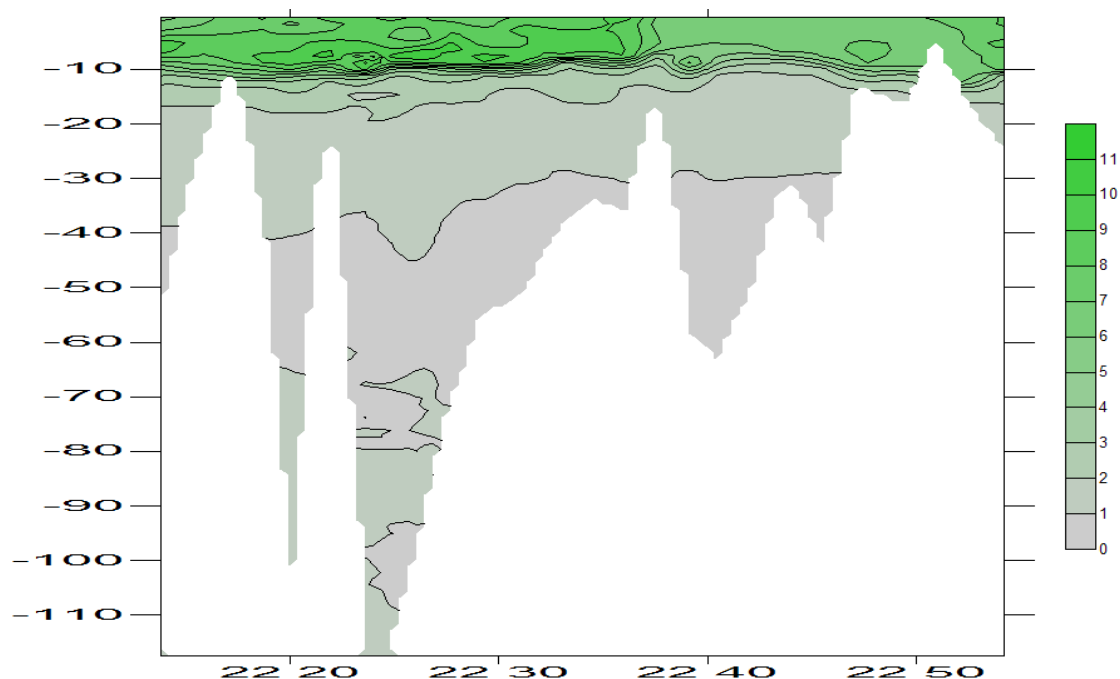
väheneb oluline lainekõrgus ainult 2 %. Samuti näidati, et lainete refraktsioon madalas vees tingitud tuuliku kerest on suurusjärgu võrra tähtsam lainete difraktsioonist või lainete omavahelisest interferentsist. Et tuulikud asetsevad omavahel 6-8 rootori diameetri kaugusel (mis on kordades suurem lainepikkusest), siis on vähetõenäoline, et lainete interferents omaks mingit tähendust.

Kokkuvõtteks võib väita, et tuulikute mõju hüdrodünaamikale üksikshaaval võttes on väga lokaalse tähtsusega. Arvestades aga, et plaanis on rajada tuulepark kokku 200 tuulikuga, võib eeldada, et mingisugune mõju veemasside vertikaalsele segunemisele piirkonnas saab olema. Käesoleva aasta suvel teostatud mõõtmised Apollo ja Vinkovi madalate piirkonnas (kirjeldatud eraldi aruandes) näitasid, et segunemine on niigi madalate piirkonnas intensiivsem, kui naaberladel. Näiteks on allpool toodud temperatuuri ja klorofüll *a* fluorestsentsi vertikaalsed lõiked 16. augustist 2007, millelt on näha, et madalate piirkonnas paikneb termokliin sügavamal ja fluorestsentsi väärtused on väiksemad, kui madalike vahel.



Joonis 5.2.2. Temperatuuri vertikaalne lõige Vinkovi ja Apollo madalike vahel 16. augustil 2007.a. Vertikaalteljel on sügavus, horisontaalteljel pikkuskraad ja minutid ning joonise paremas ääres on toodud temperatuuri väärtuste värviskaala.

Et saada kvantitatiivset ettekujutust tuulikute mõju kohta, võib väga jämedalt kasutada ülaltoodud mõju diameetri ja tuulikute vahelise kauguse võrdlust. Mõju diameeter (d) on umbes 15 m, tuulikute vaheline kaugus (D) ca 750-1000 m. Ehk veesamba vertikaalne segunemine on mõjutatud tuulikute poolt mitte rohkem kui $(d/D)^2 \times 100 \% = 0,04 \%$ tuulepargi pindalast. Seega võib ka summaarselt (arvestades kogu tuulepargi mahtusid) hinnata tuulikute hüdrodünaamilist mõju väga väikeseks. Madalate endi mõju hüdrodünaamikale on kindlasti tuhandeid kordi suurem.



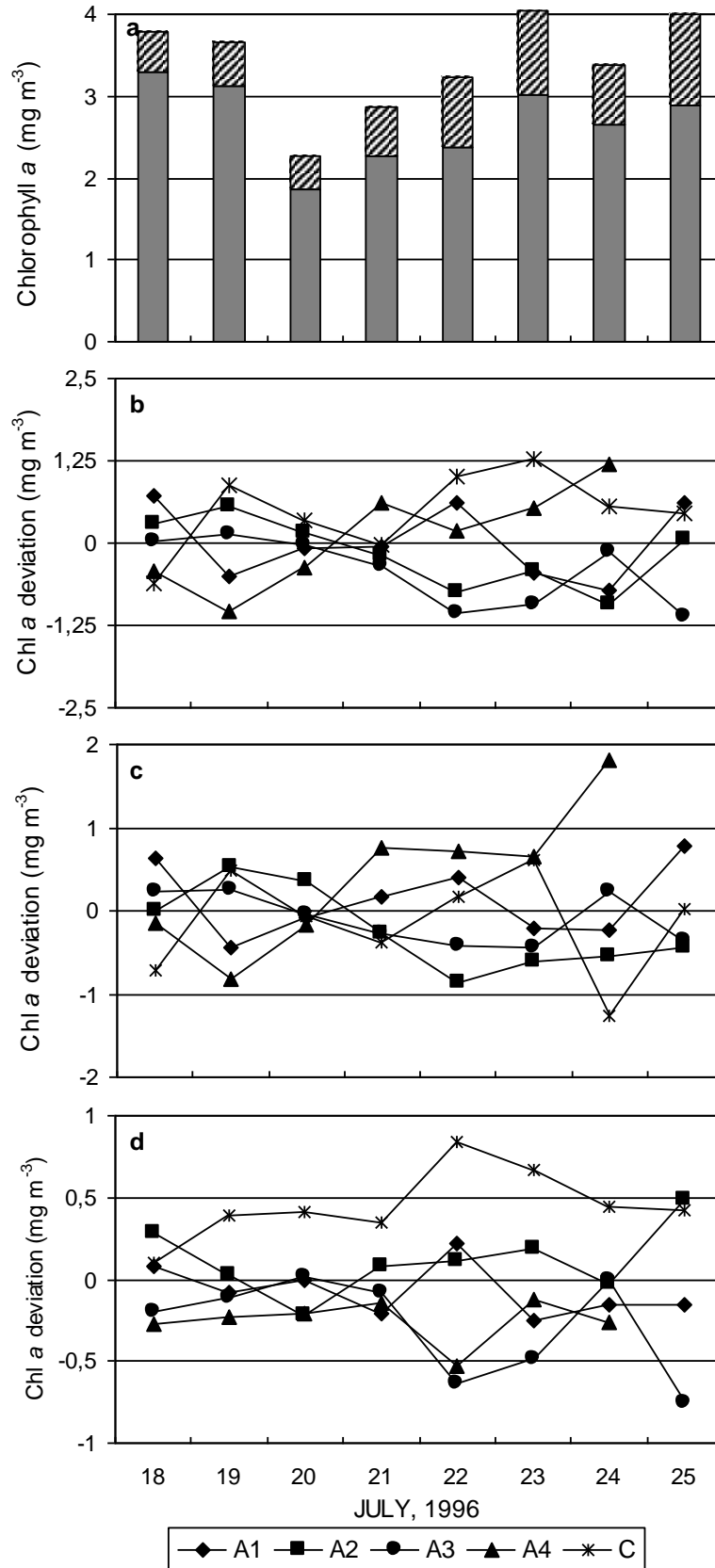
Joonis 5.2.3. Klorofüll a fluorestentsi vertikaalne lõige Vinkovi ja Apollo madalike vahel 16. augustil 2007.a. Vertikaalteljel on sügavus, horisontaalteljel pikkusraad ja minutid ning joonise paremas ääres fluorestsentsi väärtuste värviskaala (mg m^{-3}).

5.2.2. Tuulikute mõju veekvaliteedile

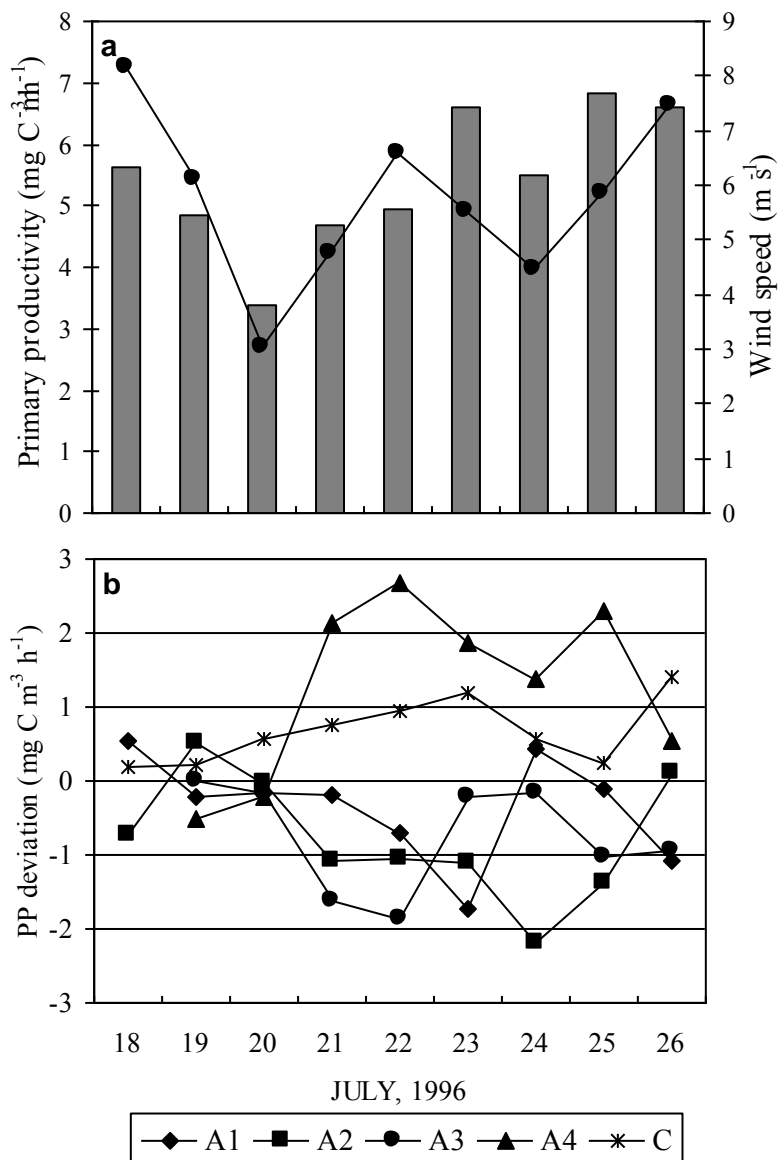
Veekvaliteedile võib teatud mõju olla tuulepargi rajamise faasis, mil teostatakse ka (kuigi suhteliselt väikeses mahus) pinnasetöid. Eeldatavasti on need kavandatava tuulepargi piirkonnas puhtad, mis tähendab, et otsest mõju veekvaliteedile ohtlike ainete vabanemisel veesambasse ei ole ette näha. Heljumi leviku poolt kaudselt mõjutatud ala ulatust on hinnatud järgmises peatükis.

Nagu ülalpool kirjeldatud, asub uuritav ala väga suure loodusliku muutlikkuse piirkonnas, kus Läänemere avaosa veed puutuvad kokku Soome lahe veemassiga (vt näiteks joonised 3.6.30-3.6.32). Lisaks võib tuua loodusliku muutlikkuse iseloomustamiseks andmed klorofüll a sisalduse ja primaarproduktiooni muutlikkuse kohta vaadeldava mereala vahetust lähedusest 1996.a. teostatud interdistsiplinaarsete uuringute andmetel.

Nagu joonistelt 5.2.4 ja 5.2.5 on näha, muutuvad nii klorofüll väärtused kui ka primaarproduktiooni väärtused väga suures ulatuses võrreldes nende parameetrite keskmise väärtusega (ca 30-40 % keskmise ümber). Analüüsist selgub ka, et produktioon on suhteliselt suures sõltuvuses eelneva 24-tuuni keskmisest tuule kiirusest, st tuule poolt tekitatud vertikaalsest segunemisest (ilmselt sellega kaasnevast vertikaalsest toitainete voost).



Joonis 5.2.4. Keskmise päevane klorofüll *a* sisaldus (a) ja hälbed keskmise suhtes vetikate erinevates suurusklassides (b – summaarne, c – <math><20 \mu\text{m}</math> ja d – >math>>20 \mu\text{m}</math>) jaamades A1-A4 (vt. Joonis 3.6.34) 18.-25. juuli 1996.a. (Lips et al., 2005).



Joonis 5.2.5. Keskmise päevane primaarproduksioon (a - tulbad) ja eelmise 24-tunni keskmine tuulekiirus ning primaarproduksiooni hälbed keskmise suhtes (b) jaamades A1-A4 (vt. Joonis 3.6.34) 18.-25. juuli 1996.a. (Lips et al., 2005).

Võttes aluseks vertikaalse segunemise võimaliku muutuse kvantitatiivse hinnangu (vertikaalne segunemine on mõjutatud tuulikute poolt 0,04 % tuulepargi pindalast) ja veekvaliteedi parameetrite loodusliku muutlikkuse piirkonnas (nii ruumis kui ajas, 1996.a. andmete põhjal), siis võib väita, et tuulikute mõju veekvaliteedile tuulepargi ekspluateerimise ajal on loodusliku muutlikkuse taustal tühine.

Kasutatud kirjandus

Whitehouse, Richard, Scour at marine structures - A manual for practical application, Thomas Telford publications, London, 1998.

Centre for Environment, Fisheries & Aquaculture Science (CEFAS). 2005.
Assessment of the Significance of Changes to the Inshore Wave Regime as a
consequence of an Offshore Wind Array.

Lips, I., U. Lips, K. Kononen and A. Jaanus (2005). The effect of hydrodynamics on
the phytoplankton primary production and species composition at the entrance to the
Gulf of Finland (Baltic Sea) in July 1996. *Proc. Estonian Acad. Sci. Biol. Ecol.*, 54, 3,
p. 210-229.

5. PEATÜKK 5.3. Hinnang süvendamisel ja ehitamisel tekkiva heljumi levikule

Heljumi leviku ja selle mõju hindamisel on eelduseks, et tuulepargi rajamisel on süvendamise ja muude pinnasetööde maht suhteliselt piiratud. Peamine heljumi levikut mõjutav protsess on tuulehoovused. Vähemtähtsad avamere tingimustes on lainetus ja selle poolt indutseeritud hoovused, kuna ümbritsev mereala on suhteliselt sügav.

Tegelik süvenduseaegne heljumi levik sõltub peamiselt just süvendusperioodil valitsevatest tuuletingimustest ning süvendatava materjali lõimiselisest koostisest. Hetkel täpsed andmed setete lõimiselise koostise kohta puuduvad. Allpool toodud hinnangutes on kasutatud eeldust, et peamine osa vette sattuvast materjalist moodustab liiv-peenliiv. Kui võtta osakeste diameetriks 130 µm (peenliiv), siis saab osakeste settimiskiiruseks 0,4 cm/s (Khurts et al., 2004).

Kasutades saadud settimiskiiruse hinnangut ja arvestades, et settiv materjal mõjutab just madala mere põhjakooslusi (mereala sügavustega 20 m ja väiksem), võib leida ligikaudse hinnangu, kui kaugele veesambasse sattunud materjal maksimaalselt levib (sügavamates kui 20 m piirkondades on lainete poolt indutseeritud setete resuspensioon vähetõenäoline). Maksimaalsed hoovuste kiirused (vt peatükk 3.6) tuulepargi piirkondades on saadud kuni 60 cm/s. Hoovuste keskmised kiirused aga on suurusjärgus 20-30 cm/s. Mere sügavuse 20 m juures annaks ülaltoodud maksimaalsete parameetrite kasutamine heljumi leviku ulatuse hinnanguks kuni 3 km. Keskmise hoovuskiiruse 25 cm/s juures oleks heljumi leviku ulatus 1,25 km.

Seega, võttes arvesse vaadeldavate piirkondade kaugust rannikust, võib järeldada, et heljumi levik on tööde piirkonna lähistel suhteliselt lokaalse tähtsusega (madalate piirkond) ja Hiiumaa rannikumerre heljumi mõju ei peaks ulatuma. Maksimaalselt oleks heljumi leviku ulatus kuni 3 km. Analoogete tulemusi heljumi leviku lokaalsest iseloomust on andnud ka teised heljumi leviku modelleerimise ja seire tööd (näiteks: Paldiski Lõunasadama süvendusjärgne ja 6 kai pikenduse merekeskkonna seire 2005-2006 (TTÜ MSI, 2006).

Heljumi leviku valdavat suunda saab hinnata lähtudes tuuleandmete statistikast. Kuna heljumi levik on ulatuslikum just tugevate tuulte puhul, siis toome lühidalt ära tugevate tuulte jaotuse ilmakaarte järgi peatükis 3.6 toodud analüüsi põhjal. Suurima osa tugevatest tuultest moodustavad edelatuuled, mille osakaal ületab 30 % kogu tugevate tuulte sündmustest. Läänetuulte osakaal omab suurt sesoonsust: aprillist juulini on see nende osakaal 1,9-2,5 % ning septembris-oktoobris ja detsembris-jaanuaris 12-15 %. Tugevate loodetuulte osakaal kõigist tugevatest tuultest on aasta lõikes vahemikus 10-18 %. Tugevate põhjatuulte osakaal kõigist tugevatest tuultest on suuremal osal aastast vahemikus 13-20%. Tugevate lõunatuulte osakaal kõigist tugevatest tuultest on suuremal osal aastast vahemikus 14-21%. Kirde-, ida- ja kagutuuli on tugevate tuulte seas kokku alla paari protsendi.

Joonistel 3.6.25 on toodud kirjeldatud tuultele vastavad hoovuste kiiruse ja suuna statistilised jaotused. Piirkonnas 1 (Neupokojevi madal) oli hoovuse kiirus üle 60 cm/s suunatud peamiselt edelasse-lõunasse või põhja-kirdesse. Väiksemal määral oli hoovus suunatud itta, kuid selline suund oli võimalik näiteks tugeva edela-lääne tuule korral. Piirkonnas 2 esines hoovusekiirusi üle 60 cm/s edela- ja kirdesuunas vastavalt põhja-loode ja edela tuule korral. Piirkonnas 3 ja Vinkovi madalal olid hoovuskiirused suuremad kui 60 cm/s peamiselt idasuunalise hoovuse korral, kuid vähesel määral ka lõunasuunas (viimasel puhul oli valitsevaks tuulesuunaks põhja-loodetuul). Apollo madala piirkonnas olid hoovused suuremate kiirustega suunatud kas loodesse-läände või itta (viimasel juhul valitsesid läänetuuled).

Arvestades vaadeldava viie piirkonna erinevat asetust maismaa (madala rannikumere) suhtes on heljumi leviku suunatud ranniku poole nendest piirkondadest kõige tõenäolisem erinevate tuulte korral. Tugevad lääne- (ka edela)tuuled põhjustavad heljumi leviku Kõpu poolsaare suunas Neupokojevi madalalt. Piirkondadest 2, 3 ja Vinkovi madalalt on suunatud heljumi transport Hiiumaa ranniku suunas tugevate loode-, Vinkovi madalalt ka põhjatuulte korral. Apollo madalalt on hoovus suunatud Eesti mandriosa rannikumere suunas tugevate läänetuulte korral.

Järeldused

- Heljumi levik tööde piirkonnast ja selle mõju on suhteliselt lokaalse tähtsusega, ulatus ei ületa ka tugevate (10 m/s) puhuvate tuulte korral 3 km
- Heljumi levik on suunatud rannikumere suunas Neupokojevi ja Apollo madalatelt tugevate läänetuulte korral, piirkonadest 2 ja 3 ning Vinkovi madalalt tugevate loode (ka põhja-loode) tuulte korral

Soovitused

- Eesmärgiga hoida heljumi leviku mõju piiratud alal, on soovitatav süvandustöid ja muid pinnasetöid mitte teostada tugevate tuulte tingimustes – tuulekiirus pikaajaliselt üle 10 m/s, eriti, kui tuulesuund on läänest või loodest-põhjast.

Kasutatud kirjandus

Kuhrts, C; W. Fennel; T. Seifert. 2004. Model studies of transport of sedimentary material in the western Baltic. *Journal of Marine Systems* 52, 167-190.

TTÜ Meresüsteemide Instituut, 2006. Paldiski Lõunasadama süvendusjärgne ja 6. kai pikenduse merekeskkonna seire.

6. PEATÜKK 5.13. Potentsiaalsed keskkonnariskid tuulepargi ehitamisel ja peale seda, s.h. navigatsiooniriskid ning jää mõjuga seonduvad riskid. Võimaliku õlilaigu leviku prognoos tuulepargi osade kaupa.

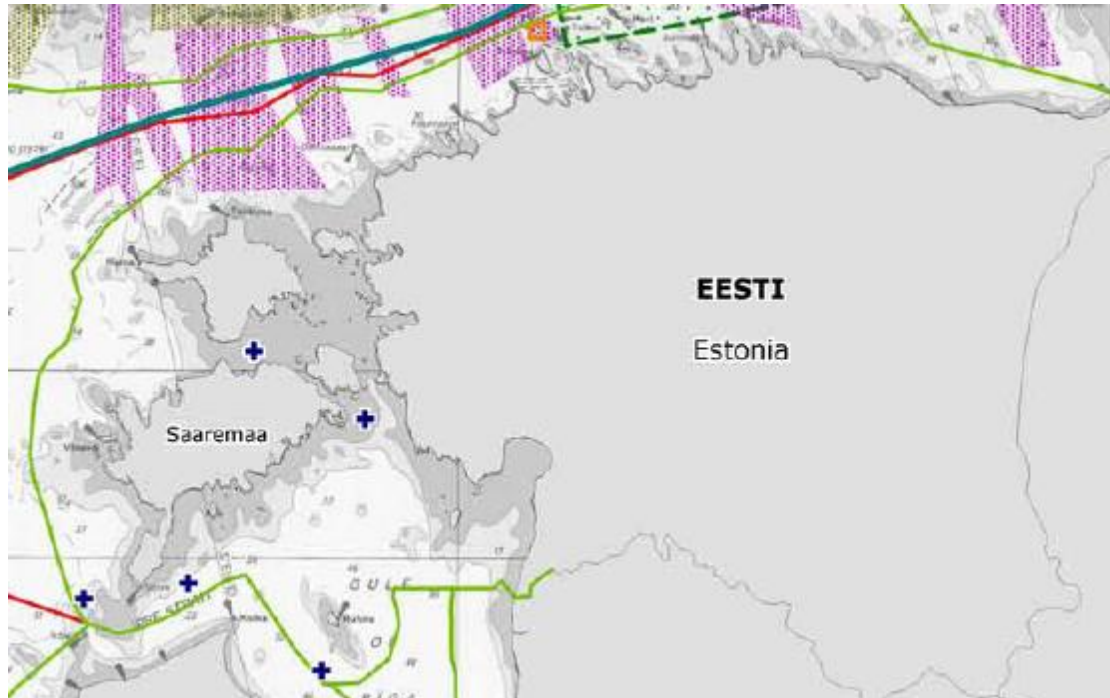
5.13.1. Potentsiaalsed keskkonnariskid, sh navigatsiooniriskid

Potentsiaalsed keskkonnariskid võiks kronoloogiliselt jagada kolme rühma:

- ✓ Keskkonnariskid tuulepargi ehitamisel;
- ✓ Ekspluateerimisel;
- ✓ Eksploatatsioonist eemaldamisel.

Keskkonnariskid tuulepargi ehitamisel seisnevad põhiliselt pinnase süvendamise ja tuulikute paigaldamisega seonduvates võimalikes avariides. Kuna tegemist on hüdrodünaamiliselt aktiivse (lainetusele avatud) piirkonnaga, siis tuleks ehitusaegsete avariide tõenäosuse minimeerimiseks töid teostada üksnes vaiksete tuuleoludega. Ehitusaegsel perioodil on kõrgendatud ka laevaõnnetuste risk piirkonnas, kuna piirkond on tiheda laevaliiklusega. Seetõttu tuleks rajatava tuulepargi alad juba ehitusaegselt määratleda, kui tavaliiklusele mittelaevatavad tsoonid. Selleks tuleks esitada tuulepargi ehitustegevuse projekt Veeteede Ametile, kes töötab välja vajalikud nõuded (näiteks nõue koostada veeteede ja/või navigatsioonimärgistuse projekt) meresõidu ohutuse tagamiseks piirkonnas ja reguleerib navigatsiooniteabe abil laevaliiklust.

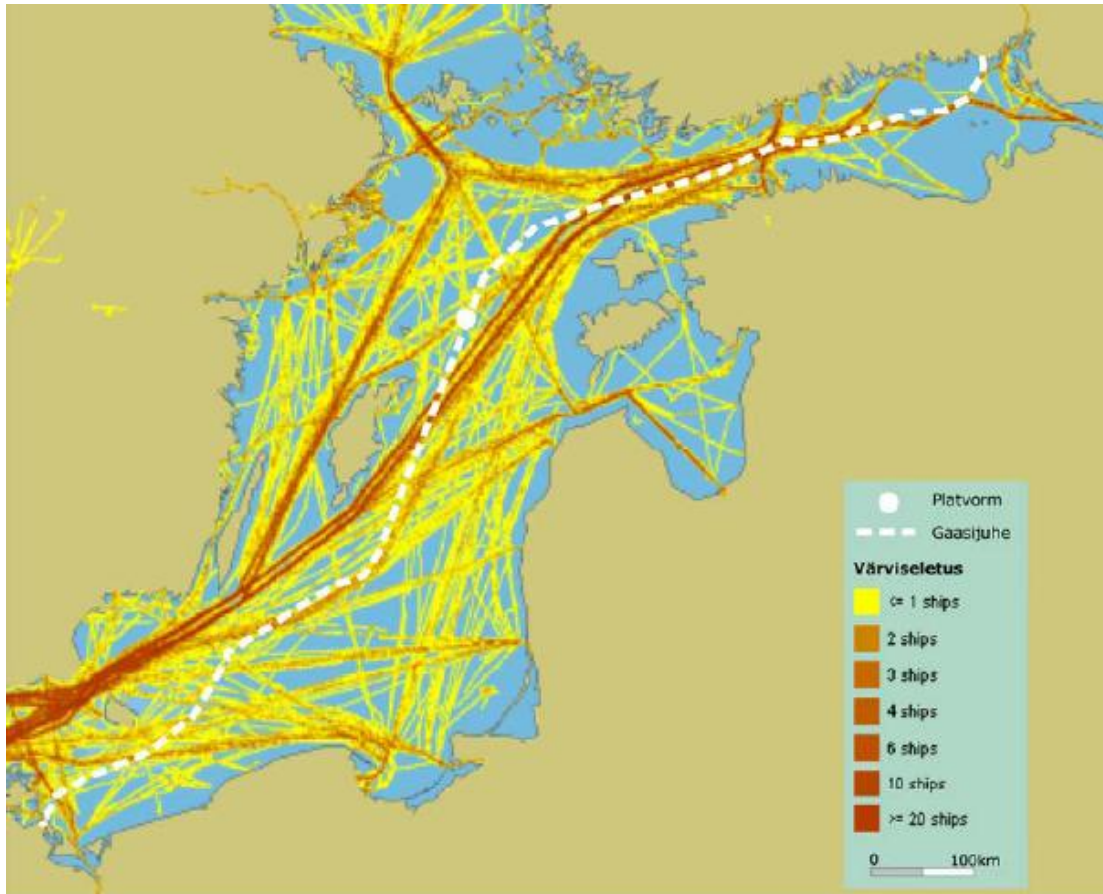
Tuulikute paigaldamise piirkonnas võivad ehitustegevusele probleemiks olla ka võimalikud maailmasõdadeaegsed miinid. Nord Stream projekti teabematerjalides antakse muuhulgas infot Läänemere mahajäetud miiniväljade ja miiniohtlike piirkondade kohta. Viimastega piirnevad või isegi kattuvad ka osad planeeritava tuulepargi alad (Nord Stream, 2006).



Joonis 5.13.1. Miiniohtlikud piirkonnad, märgitud lilla viirutusega (Nord Stream, 2006).

Keskkonnamisriskid eksploateerimisel on põhiliselt seotud navigeerimisriskide ja sellest tulenevalt ka õlireostuse riskidega. Rajatava tuulepargi lähipiirkonnast sõidab läbi kogu Soome lahe sadamatesse suunduv meretransport. Soome lahte sisenevate ja väljuvate laevade hulk oli 2006. aasta andmete põhjal ligikaudu 37000 laeva aastas (HELCOM, 2007).

Suur osa laevadest möödub tuulepargi vahetust lähedusest, mistõttu peaks tuulepargi piirkonna võimalikul (kui Veeteede Amet seda vajalikuks peab) veeteede projekteerimisel arvestama ka laevaliiklusstatistikat piirkonnas. Ehituspiirkonna ja tegevuse mõjupiirkonna laevastatistikat kavatakse lähiajal uurida ka Nord Stream projekti raames. Nord Stream projekti piirkonna täpsema laevaliikluse informatsiooni saamiseks viiakse läbi põhjalikumad uuringud, mis sisaldavad ka Läänemere regiooni AIS võrgustiku andmeid (Nord Stream, 2006).



Joonis 5.13.2. AIS-iga kahe ööpäeva jooksul registreeritud laevade trajektoorid ja selle abil saadud liiklustiheduse hinnangud (Nord Stream, 2006).

Taanis tehtud uuringus (Christensen et al., www.ramboll-wind.com) märgitakse ära kolm enam levinud põhjust võimalikule laeva otsasõidule tuulikule:

- ✓ Inimlik viga;
- ✓ Laeva juhtimissüsteemirike;
- ✓ Laeva masinarike.

Inimeksimused on seotud peamiselt keerulistes ilmastike oludes navigeerimisega. Juhtimissüsteemi või masinarikke korral võib laev abi mitte kohale jõudmisel lihtsalt triivida tuulikuteni. Samas on võimalus tehnilise rikke korral laevameeskonnal ette võtta ennetavaid meetmeid (ankur alla lasta).

Taani, Rødsandi tuulepargi kohta tehtud analüüsis leiti, et triiviv laev võib kokku põrgata tuulikuga ligikaudu iga 6 aasta tagant (Christensen et al., www.ramboll-wind.com). Teise sarnase uuringu käigus saadi tulemuseks isegi 3-aastane intervall (Randrup-Thomsen et al., www.ramboll-wind.com).

Antud modelleerimistulemuste (Christensen et al., www.ramboll-wind.com) verifitseerimistel leiti, et tuulepargi lähipiirkonnas jooksis madalikule 10 aasta jooksul 2 laeva. Õnnetusse sattunud laevad oleks võinud põhimõtteliselt põrkuda ka tuulikutega, kui sügavused oleks lubanud (Christensen et al., www.ramboll-wind.com). Loode-Eesti rannikumerre planeeritava tuulepargi juures on sügavused mitmel pool laevadele navigeerimiseks piisavalt suured. Seega tuleks antud

piirkonnas, vältimaks laevade liialt tuulepargi lähedusse sattumist, teha muudatusi laevaliikluse korralduses.

Inimeksimusest põhjustatud laeva kokkupõrkamise sageduseks tuulikuga on hinnatud kord 47 aasta jooksul. Antud sagedus peaks olema Loode-Eesti rannikumeres aga mõnevõrra suurem (Randrup-Thomsen et al., www.ramboll-wind.com), kuna seal valitsevad keerulisemad hüdrometeoroloogilised tingimused, kui eelpool viidatud uuringus käsitletud piirkonnas. Näiteks 2005. aastal oli Läänemeres toimunud laevaõnnetuste põhjuseks 42% juhtudest inimfaktor (HELCOM, 2007).

Mõningase orientiiri inimeksimusest annab ka Taanis, Gedseri madaliku lähedale paigaldatud hüdrometeoroloogia mast, mille otsa sõitis viie aasta jooksul kaks laeva. Vee sügavus masti juures oli 6,5 meetrit. Mast ise oli 48 meetrit kõrge, märgistatud tulega ja ka radarilt nähtav (Christensen et al., www.ramboll-wind.com).

Kuna tuulepargi alad paiknevad laevasõidu piirkonnas või asuvad selle vahetus läheduses, siis tuleks selgelt määratleda piirkonna veeteede skeem. Ilmselt väheneks laevaõnnetuste risk oluliselt, kui piirata laevaliiklust kogu tuulepargi osade ja Hiiumaa vahelisel merealal. Nimetatud mereala peaks laevasõiduks avatuks jääma Hiiumaa ja Väinamere sadamatesse suunduvatele või sealt tulevatele laevadele. Kuid ka nende aluste jaoks peaks olema laevateed antud piirkonnas selgelt kindlaks määratud, projekteerida tuleks veeteed ja need navigatsioonimärgistusega reguleerida.

Tuulikute eksploatatsioonist kõrvaldamisel ja/või uute tuulikutega asendamise planeerimiseks on vaja koostada pikaajaline tegevuskava, mis hõlmaks selgelt kogu tuulepargi tuulikute elutsükli nende püstipanemisest kuni mahavõtmiseni. Tegevuskava peaks kirjeldama ka väga pikaajalisi, näiteks 50 aasta perspektiive ja arenguid seoses tuulepargi rajamise ja eksploateerimisega. Tegevuskava peaks olema aktsepteeritud Veeteede Ameti ja Keskkonnaministeeriumi poolt.

Soovitused

- ✓ Arendaja peab esitama Veeteede Ametile ehitustegevuse projekti. Veeteede Amet annab juba arendajale seejärel ette nõuded meresõidu ohutuse tagamiseks piirkonnas nii ehitustegevuse ja eksploateerimise ajal. Tuulikute alad tuleks juba ehitusaegselt määratleda, kui tavaliselt oleks mittelaevatavad tsoonid.
- ✓ Arendaja peab koostama pikaajalise tegevuskava, kus oleks lahti kirjutatud tuulepargi tuulikute oleltsükkel nende püstipanemisest kuni maha võtmiseni või uutega asendamiseni. Vastav tegevuskava peaks olema aktsepteeritud Keskkonnaministeeriumi ja Veeteede Ameti poolt.

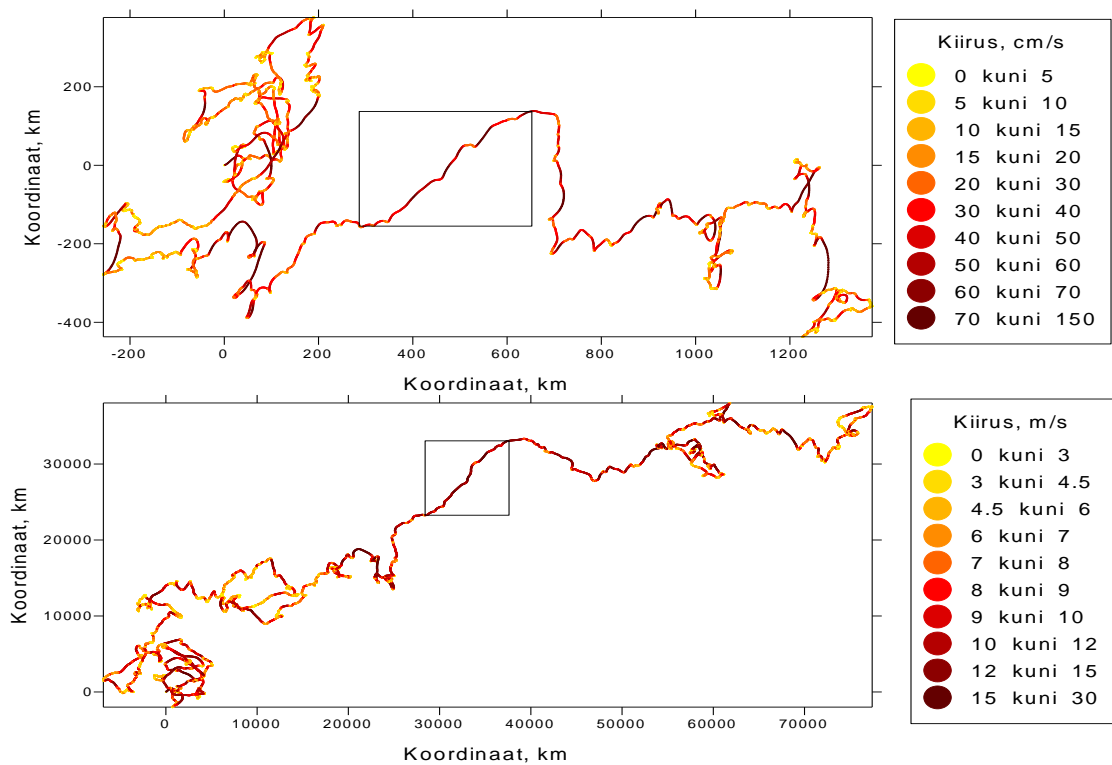
5.13.2. Võimaliku õlilaigu leviku prognoos tuulepargi osade kaupa.

Reostuse leviku prognoosiks on kasutatud numbrilisi meetodeid. Antud töös kasutati matemaatilist mudelit, mille lähteandmeteks olid reostuse algkoordinaat, alg- ja lõppaeg ning HIROMB mudeli arvatud hoovuse- ja tuulekiiruse komponendid, mille kirjeldus on toodud peatükis 3.6.

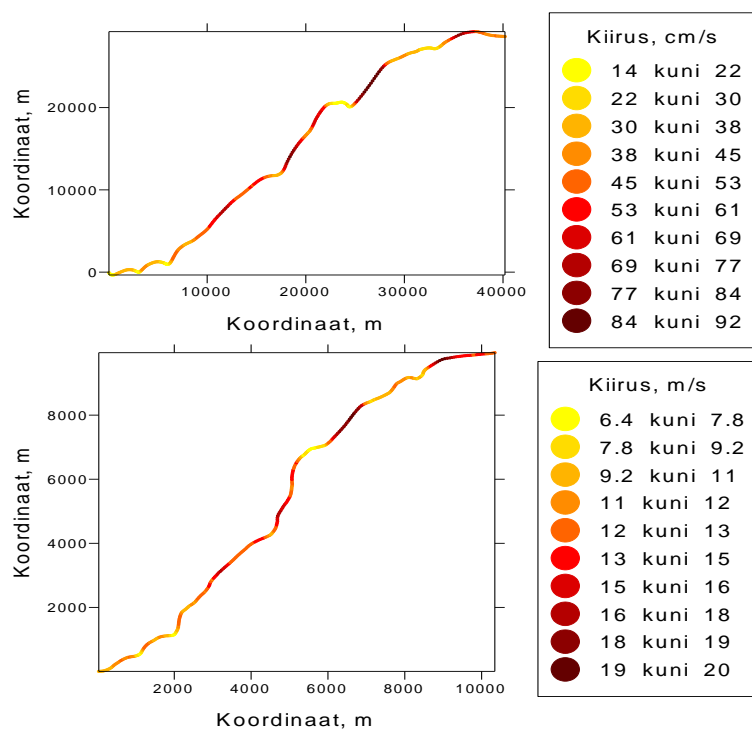
Käesolevas töös rakendatud mudeliga modelleeriti reostuse levikut Lagrange'i osakeste liikumisena kiirusväljas, mille moodustasid pinnahoovuse kiirusväli ja tuule kiirusväli. Osakest mõjutab hoovuse kiirus ning tuule kiirus korrutatud koefitsiendiga (käesolevas töös on kasutatud koefitsienti 0,015). Reostuse dispersioon arvestati juhusliku liikmena osakesele mõjuvas kiirusväljas.

Reostuse leviku modelleerimise eesmärk oli tuvastada oht Eesti rannikualadele, kui õnnetus juhtub kavandatava tuulepargi ükskõik missuguses piirkonnas. Seega algkoordinaadid jäid vaadeldud piirkondadesse (1-5) ning otsiti rannikule jõudmise aega erinevates reaalsetes tuultetingimustes. Modelleerimiseks kasutatavad ajaperioodid määrati progressiivvektordiagrammidest, mil hoovuse või tuulesuund soosib rannikualadele jõudmist. Lisaks, valiti sellised perioodid, mil hoovuse ja tuule kiirused olid suuremad ning suund vähemuutlik. Nimetatud tingimustel areneb välja eeldatavalt püsiv triiv ning õlilaigu jõudmine rannikule on kõige kiirem. Samuti on nendes tingimustes reostuslevi modelleerimise täpsus suurem, kuna mudelis ei ole arvesse võetud protsesse, mis naftaprodukte (õlilaiku) looduses pikaajaliselt mõjutavad (aurumine, uppumine, tegelik disperseerumine, lagunemine jne). Ajasamm modelleerimisel oli 1 tund ning ruumisammud 1' laius- ja 1,67' pikkussihis. Reostuse hulk oli kõikides realisatsioonides valitud 100000 „osakest“.

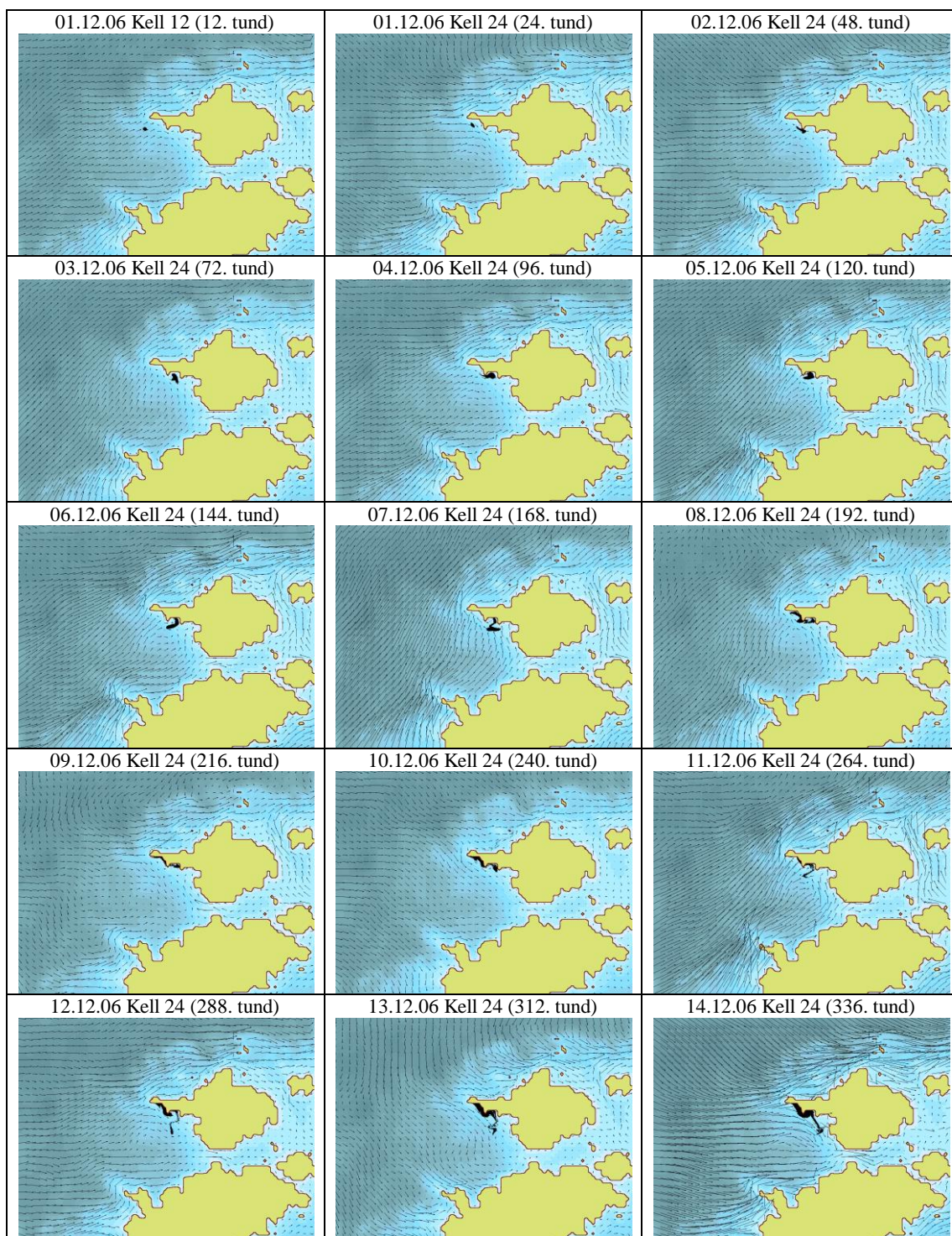
Joonistel 5.13.3-5.13.17 on välja toodud valitud perioodide modelleerimise tulemused, mille puhul erinevates piirkondades tekkinud võimalik reostus kõige kiiremini rannikule jõudis. Joonistel on kujutatud reostusleviku prognoosimisel vaadeldud piirkondade ja ajaperioodide progressiivvektordiagrammid (annab ettekujutuse, mis suunast puhvate tuultega ja nendele vastavate hoovustega on tegu) koos reostusleviku tulemustega.



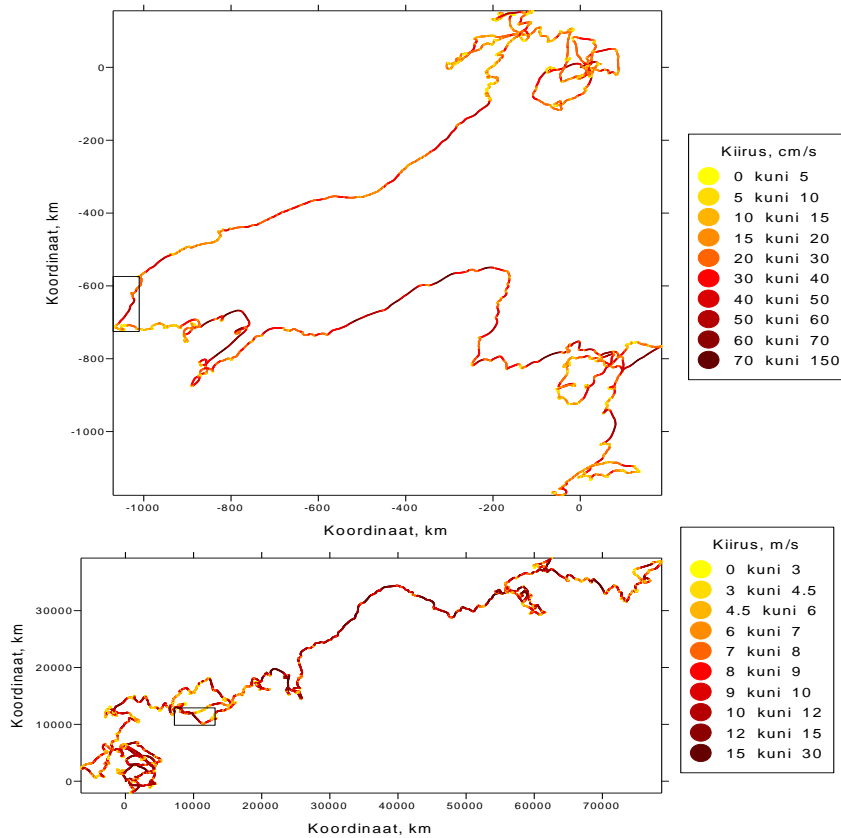
Joonis 5.13.3. Hoovuse (ülemine) ja tuule (alumine) progressiivvektordiagrammid 1. piirkonnas (Neupokojevi madal). Musta kastiga on näidatud reostuslevi modelleerimiseks valitud ajaperiood.



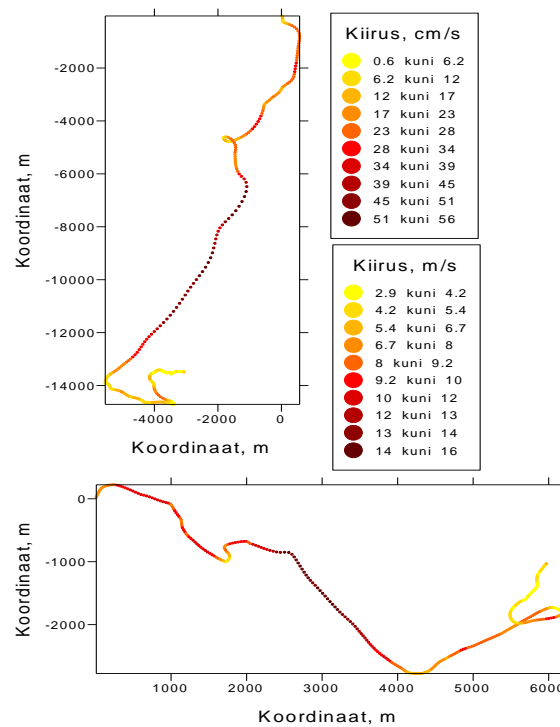
Joonis 5.13.4. Hoovuse (ülemine) ja tuule (alumine) progressiivvektordiagramm 1. piirkonnas (Neupokojevi madal) ajavahemikul 01.12.2006-15.12.2006.



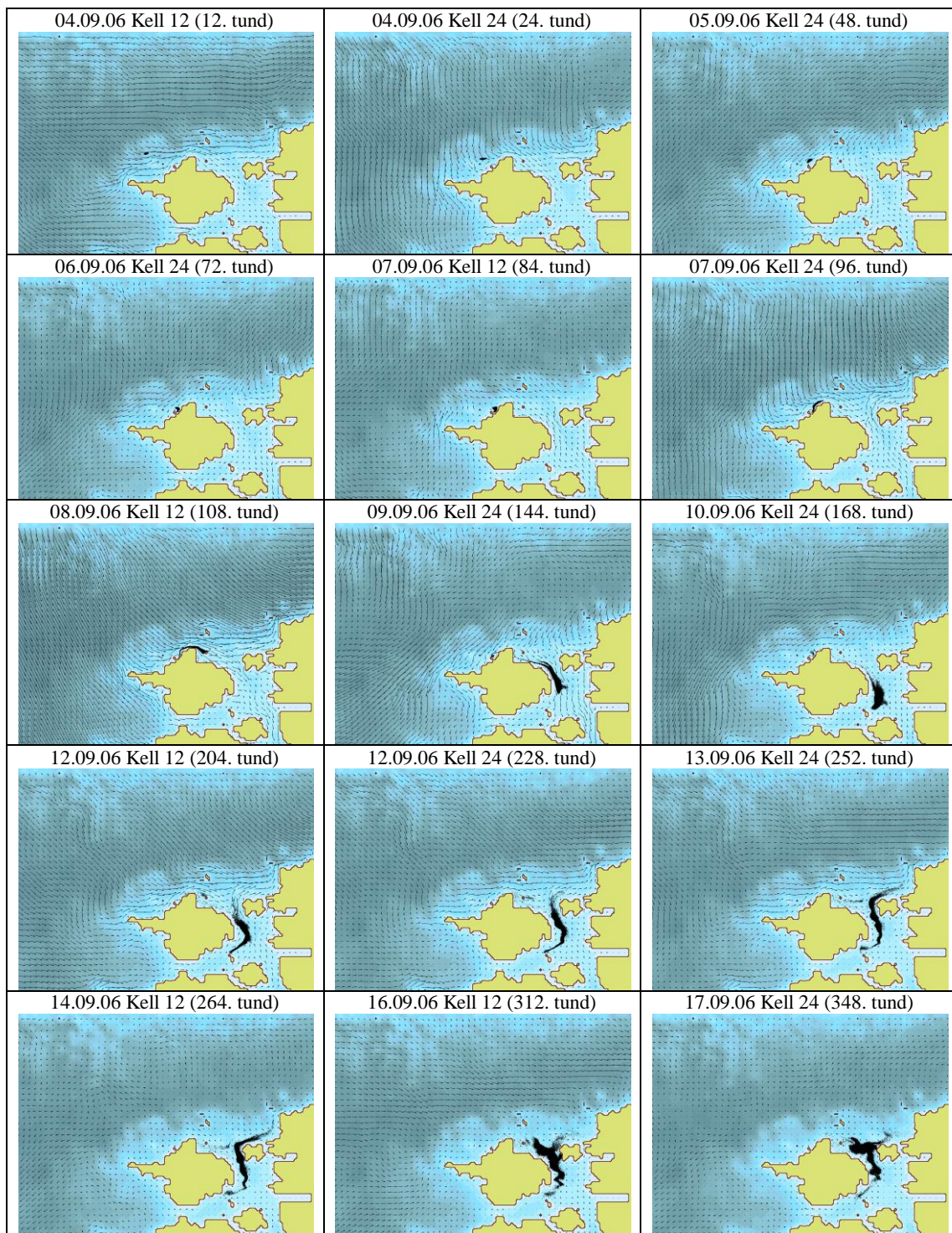
Joonis 5.13.5. Reostuslevi 1. piirkonnas (Neupokojevi madal) reaalse te tuulte tingimustes perioodil 01.12.2006-15.12.2006.



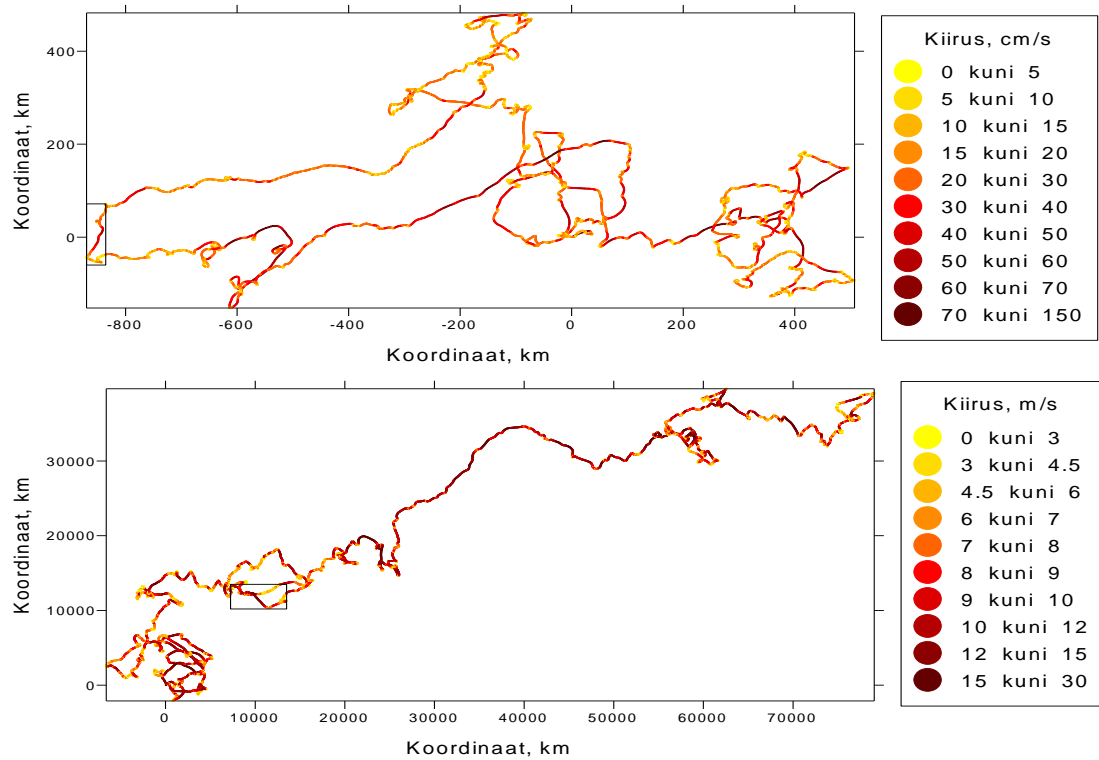
Joonis 5.13.6. Hoovuse (ülemine) ja tuule (alumine) progressiivvektordiagrammid 2. piirkonnas. Musta kastiga on näidatud reostuslevi modelleerimiseks valitud ajaperiood.



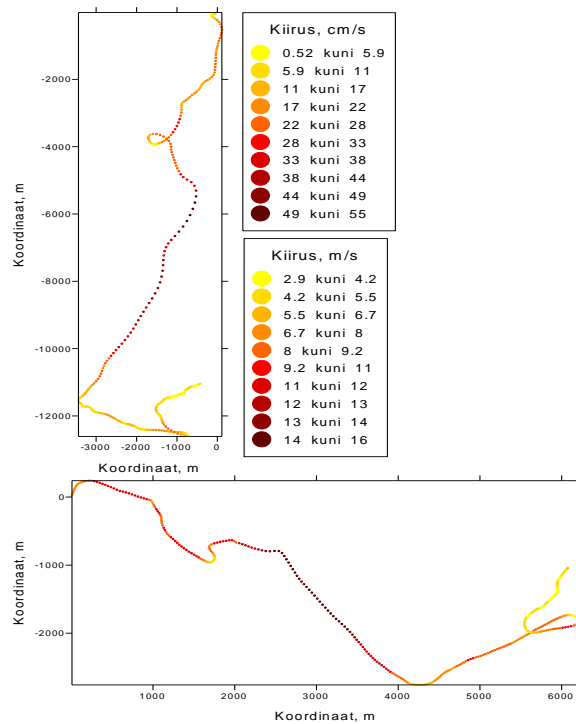
Joonis 5.13.7. Hoovuse (ülemine) ja tuule (alumine) progressiivvektordiagramm 2. piirkonnas ajavahemikul 04.09.2006-18.09.2006.



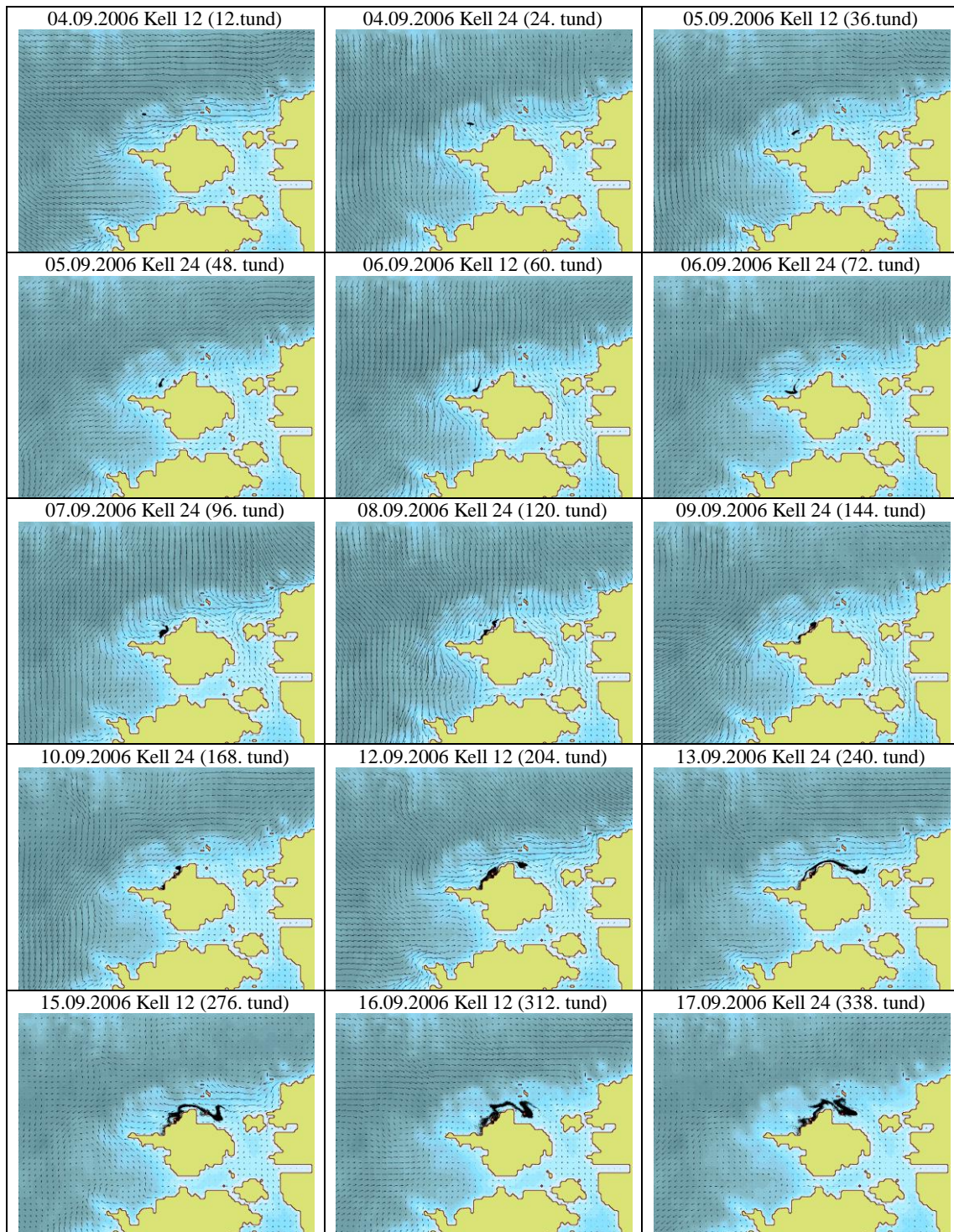
Joonis 5.13.8. Reostuslevi 2. piirkonnas reaalsete tuulte tingimustes perioodil 04.09.2006-18.09.2006.



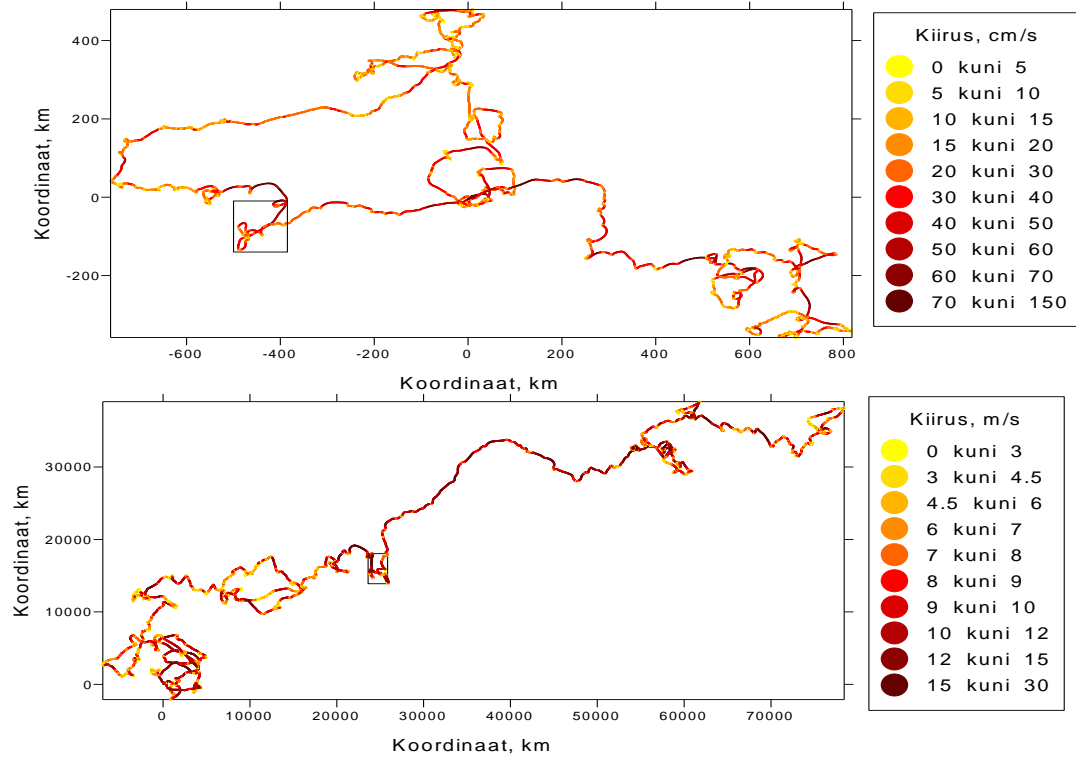
Joonis 5.13.9. Hoovuse (ülemine) ja tuule (alumine) progressiivvektordiagrammid 3. piirkonnas. Musta kastiga on näidatud reostuslevi modelleerimiseks valitud ajaperiood.



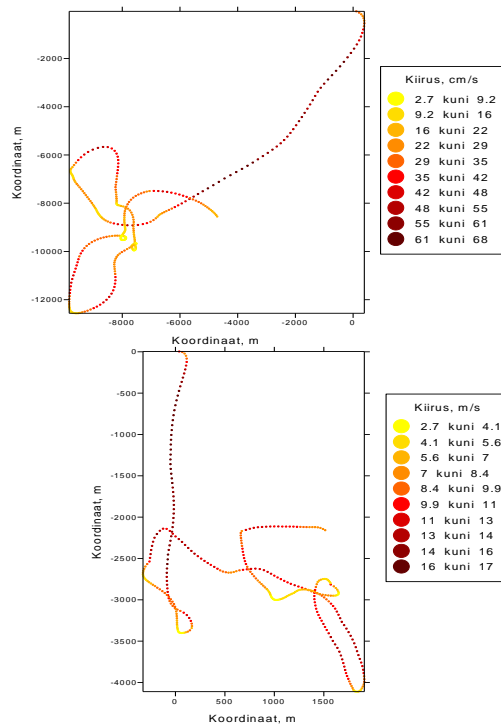
Joonis 5.13.10. Hoovuse (ülemine) ja tuule (alumine) progressiivvektordiagramm 3. piirkonnas ajavahemikul 04.09.2006-18.09.2006.



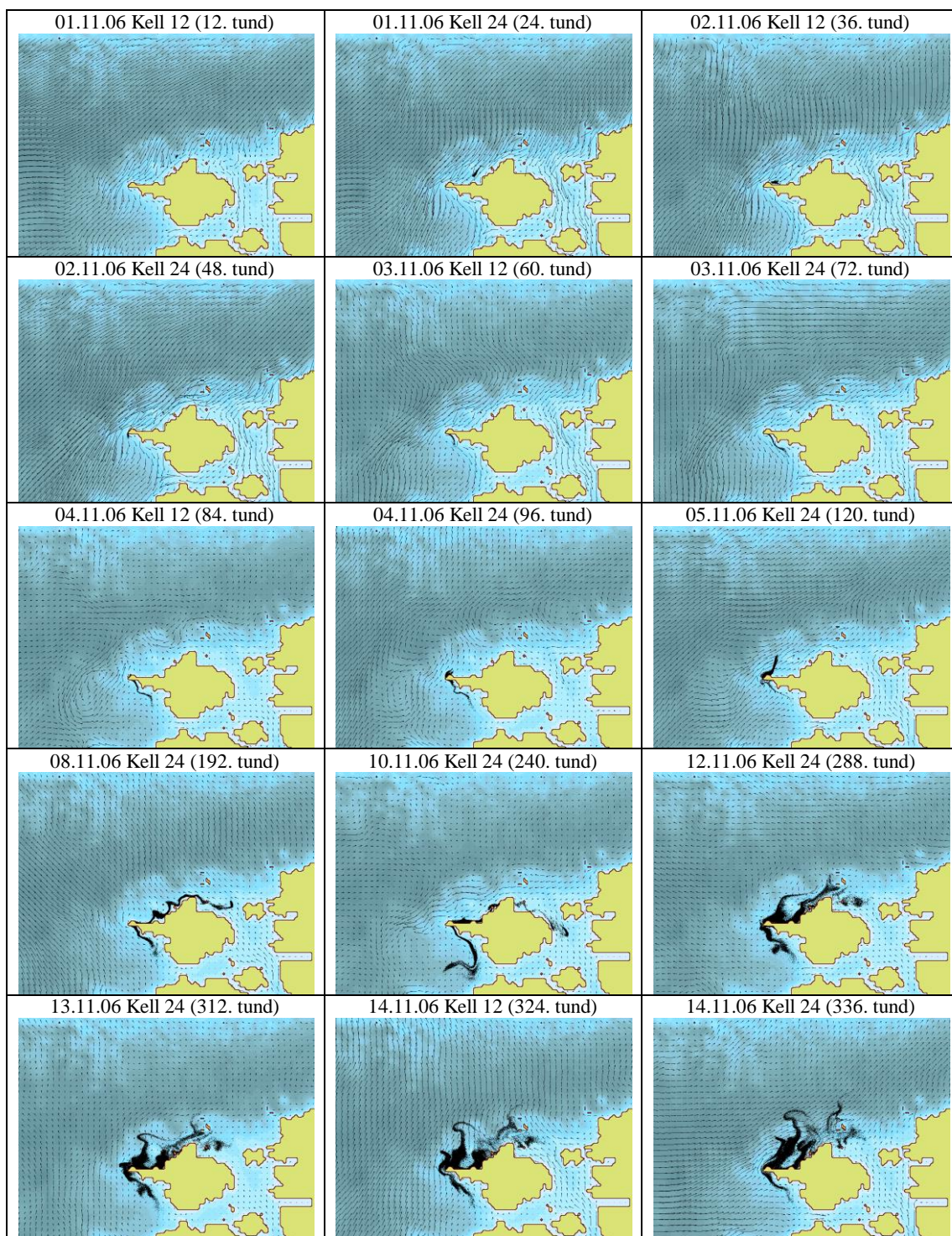
Joonis 5.13.11. Reostuslevi 3. piirkonnas reaalsete tuulte tingimustes perioodil 04.09.2006-17.09.2006.



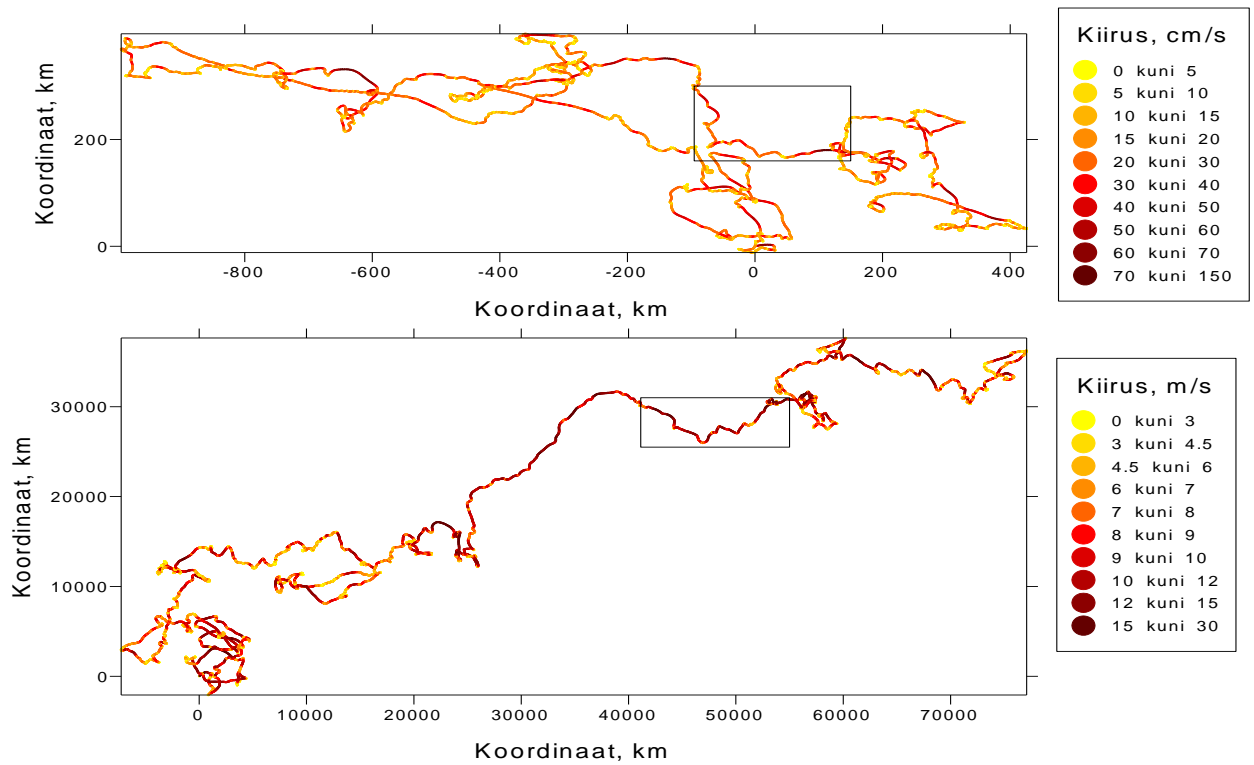
Joonis 5.13.12. Hoovuse (ülemine) ja tuule (alumine) progressiivvektordiagrammid 4. piirkonnas (Vinkovi madal). Musta kastiga on näidatud reostuslevi modelleerimiseks valitud ajaperiood.



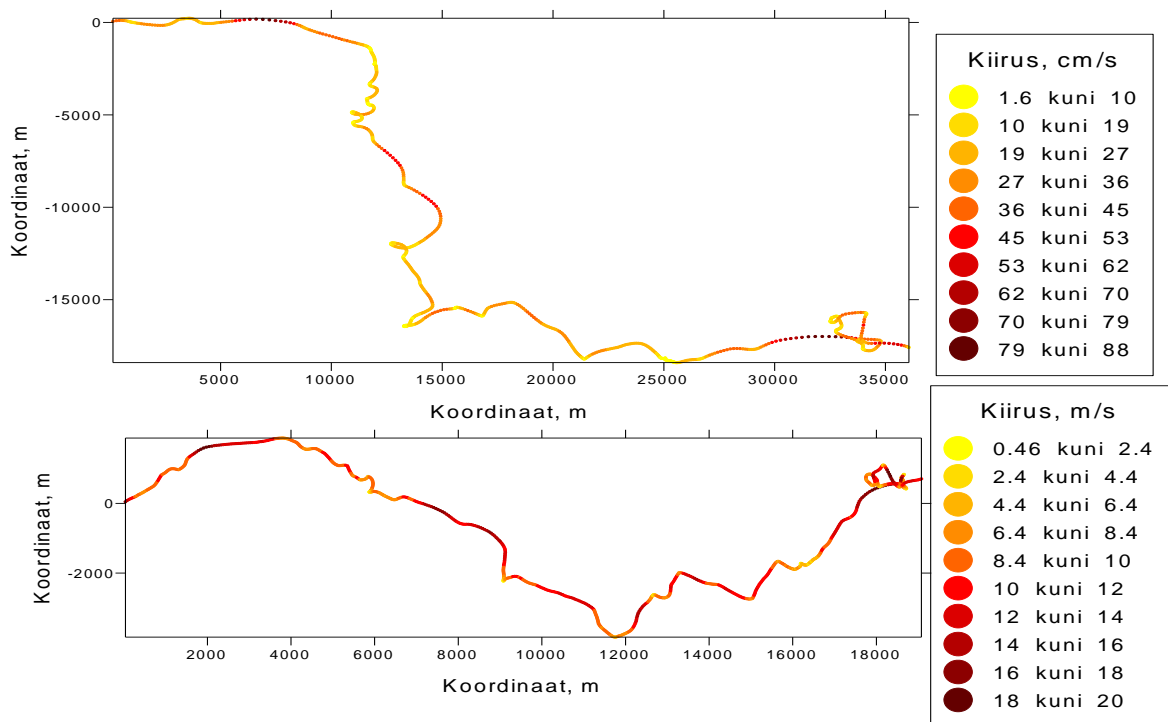
Joonis 5.13.13. Hoovuse (ülemine) ja tuule (alumine) progressiivvektordiagramm 4. piirkonnas (Vinkovi madal) ajavahemikul 01.11.2006-15.11.2006.



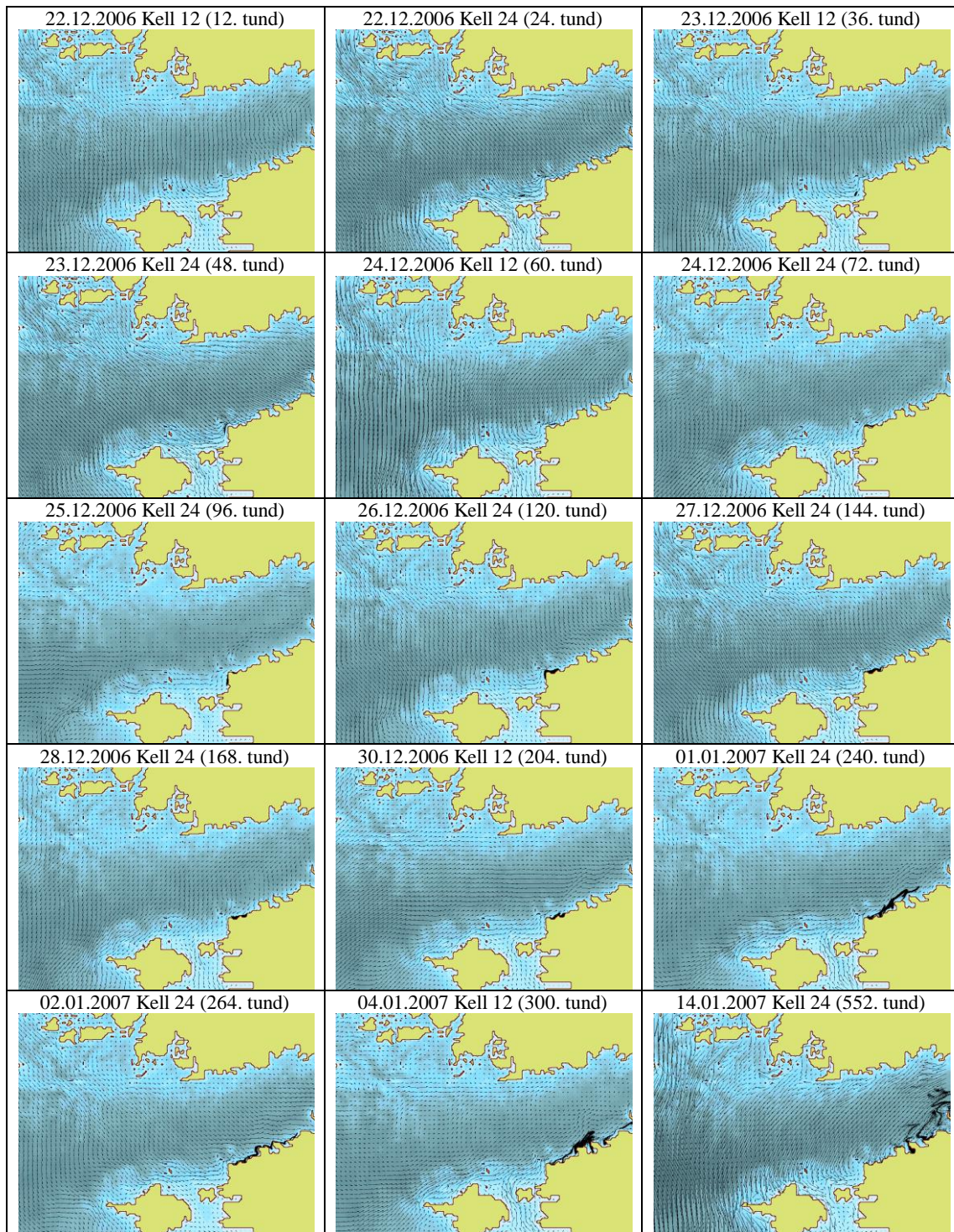
Joonis 5.13.14. Reostuslevi 4. piirkonnas (Vinkovi madal) reaalse tuulte tingimustes perioodil 01.11.2006-15.11.2006.



Joonis 5.13.15. Hoovuse (ülemine) ja tuule (alumine) progressiivvektordiagrammid 1. piirkonnas (Apollo madal). Musta kastiga on näidatud reostuslevi modelleerimiseks valitud ajaperiood.



Joonis 5.13.16. Hoovuse (ülemine) ja tuule (alumine) progressiivvektordiagramm 5. piirkonnas (Apollo madal) ajavahemikul 22.12.2006-15.01.2007.



Joonis 5.13.5. Reostuslevi 5. piirkonnas (Apollo madal) reaalsete tuulte tingimustes perioodil 22.12.2006-15.01.2007.

Reostuse leviku modelleerimisel käesolevas töös leiti, et väikseim aeg, mis kulub reostusel rannikualadele jõudmiseks sõltuvalt algkoordinaadist on 36 tundi. Selline olukord tekkis võimaliku reostuse korral 4. piirkonnas (Vinkovi madal), mil ajavahemikule 01.11.2006-15.11.2006 (keskmine hoovuse kiirus vaadeldud perioodil 29 cm/s ja tuule kiirus 9,7 m/s, tuule valdav suund oli põhjast-loodest) rakendatud reostuse leviku mudeli järgi jõudis reostus nimetatud ajaga Hiiumaa põhjarannikule, Tahkuna poolsaarest läände.

Ligikaudu samasuguse tulemuse andis ka 2. madaliku piirkonnas tekkinud võimaliku reostuse leviku modelleerimine ajavahemiku 04.09.2006-18.09.2006 tuulte tingimustes (keskmine hoovuse kiirus 17 cm/s, keskmine tuule kiirus 7.9 m/s, valdav tuule suund loodest-läänest). Nendel tingimustel jõudis reostus Luidja lahte.

Neupokojevi madala piirkonnast jõudis reostus rannikualadele 84 tunniga, kasutades perioodi 01.12.2006-15.12.2006 tuuli (keskmine hoovuse kiirus 43 cm/s, keskmine tuulekiirus 12,0 m/s, valdav tuule suund edelast). Ülejäänud suundadest puhuva tuule korral võttis reostuse sattumine rannikule aega rohkem kui 5 ööpäeva (120 h). Kuid põhimõtteliselt, kui reostus selle aja jooksul ei haju ega ei kao muude protsesside tagajärjel, siis reostus võib nimetatud piirkonnast jõuda nii Hiiumaa edelarannikule kui ka Saaremaa põhjarannikule.

3. madaliku piirkonnas võttis reostuse rannikule jõudmine aega 120 tundi, mil reostus kattis ribana Tahkuna poolsaare lääne- ja loodeserva (04.09.2006-18.09.2006). Vaadeldud perioodi keskmine hoovuse kiirus oli 16 cm/s ja tuule kiirus 8,0 m/s ning tuule valdav suund oli loodest-läänest.

Apollo madalikul toimuv õnnetus võib sõltuvalt valitsevast perioodist põhjustada reostuse mandri loodeservas Dirhami poolsaarel 48-72 tunniga (perioodi 22.12.2006-15.01.2007 tuulte korral) või Hiiumaa põhjarannikule 40-48 tunniga (november 2006). Esimese perioodi keskmine hoovuse kiirus oli 23 cm/s, tuulekiirus 10,1 m/s ja valdav tuule suund oli läänest ning novembri 2006 keskmine hoovuse- ja tuulekiirus nimetatud piirkonnas oli vastavalt 20 cm/s ja 9,1 m/s ning valdav tuule suund oli loodest. Teiste perioodide tuulte tingimustes leiti, et võimalik reostusallikas Apollo madalikul võib viia reostuse jõudmiseni rannikule, kus ohustatud piirkondadeks on lisaks Loode-Eestile ka Vormsi saar, Hiiumaa kirdeosa ning Saaremaa kirderannik ja Muhu saare põhjarannik. Kuid kuna reostuse nendesse piirkondadesse jõudmine võtab aega rohkem kui 5 ööpäeva tuleks tegeliku ohu hindamiseks arvesse võtta kindlasti ka naftaproduktidele mõjuvaid muid protsesse (aurumine jne).

Järeldused

Õlireostuse leviku modelleerimise tulemused võib kokku võtta järgmiselt:

- Võimaliku õlireostuse jõudmine rannikule võib toimuda 36 tunni jooksul peale reostuse tekkimist
- Vinkovi madalal tekkiva võimaliku reostuse korral on suurim oht õlilaigu levikul rannikule tugevate (10 m/s või rohkem) loode-põhja tuulte korral; ohustatud rannikualaks on Hiiumaa põhjaranniku Tahkuna poolsaarest läänes

- Piirkondades 2 ja 3 tekkiva võimaliku reostuse korral jõuab reostus rannikule kõige kiiremini tugevate ja mõõdukate (tuule kiirus 8 m/s ja rohkem) loode- ja läänetuulte korral; ohustatud rannikupiirkonnaks on Hiiumaa põhjarannik, Luidja laht
- Neupokojevi madalal tekkiva võimaliku reostuse korral jõuab reostus rannikule kõige kiiremini tugevate edelatuulte korral (kiirus üle 10 m/s, mida esineb tuulestatistika kohaselt suhteliselt sageli); ohustatud piirkonnaks on Kõpu poolsaare rannikualad
- Apollo madala piirkonnas tekkiv reostus võib kõige tõenäolisemalt sattuda rannikule Dirhami piirkonnas või Hiiumaa põhjarannikul, kui valdavaks on tugevad lääne- või loodetuuled (kiirus 10 m/s või rohkem)

Soovitused

- Kuna õlireostuse tekkimiseks on teatud oht tuulepargi rajamise ajal, siis oleks soovitatav töid mitte teostada pika-ajaliselt puhuvate tugevate (üle 10 m/s) tuulte tingimustes (suunad eelkõige – põhjast, loodest, läänest, edelast)
- Tuulepargi eksploatatsiooni käigus võib tekkida ainult väga väikese ulatusega õlireostus, mille likvideerimiseks peaks tuulepargi eksploateerijal olema võimalused reostuse likvideerimiseks selle tekkimisest vähemalt ööpäeva jooksul, mis välistaks igasuguse reostuse sattumise rannikule

Kasutatud kirjandus

HELCOM, 2007. Towards a Baltic Sea with environmentally friendly maritime activities. Draft HELCOM overview 2007.

Christensen, C. F; L.W. Andersen; P.H. Pedersen. Ship collision risk for an offshore wind farm. (<http://www.ramboll-wind.com>).

Randrup-Thomsen, S; L. W. Andersen; J. K. Gaarde. Risk of Oil Pollution due to Ship Collision with Offshore Wind Farms (<http://www.ramboll-wind.com>).

Nord Stream, 2006. Offshore Pipeline through the Baltic sea. Project information document.