TTÜ MERESÜSTEEMIDE INSTITUUT

Leping nr NS/12-02

Paldiski mnt. 1, Tallinn 10137
tel: 066 222 49 fax: 066 136 57
e-post: tarmo.kouts@sea.ee

PALDISKI LÕUNASADAMA SÜVENDUSAEGNE SEIRE 2002/2003

Direktor: Prof. Jüri Elken

Projekti juht ja aruande toimetaja: Tarmo Kõuts

Tallinn
2003

Sisukord

Lühikokkuvõte 3

1. Süvendustööd Paldiski Lõunasadama akvatooriumis ja laevateel 4
Tarmo Kõuts(TTÜ Meresüsteemide Instituut)

2. Merevee optilised omadused ja läbipaistvus 23
Liis Sipelgas (TTÜ Meresüsteemide Instituut)

3. Hoovuste ja hõljumi leviku numbriline modelleerimine 67
Urmas Raudsepp (TTÜ Meresüsteemide Instituut)

4. Põhjataimestiku seire 114
Georg Martin (TÜ Eesti Mereinstituut)

5. Põhjaloomastiku seire 118
Jonne Kotta, Ilmar Kotta (TÜ Eesti Mereinstituut)

6. Kalastiku seire 125
Toomas Saat, Redik Eschbaum, Aare Verliin (TÜ Eesti Mereinstituut)

7. Linnustiku elupaikade seire 137
Hella Kink, Toomas Metslang, Avo Miidel, Toivo Tubli (TTÜ Geoloogia Instituut)

8. Linnukoosluste seire 162
Ivar Jüssi (Eestimaa Looduse Fond)

9. Meresetete jaotumuse seire pinnasepuiste paigas 174
Tarmo Kõuts (TTÜ Meresüsteemide Instituut), Jaan Lutt (Veeteede Amet)

Lühikokkuvõte

Paldiski Lõunasadama akvatooriumis ja laevateel teostati ajavahemikul 16.september 2002.a kuni 25.mai 2003.a süvendustöid kogumahuga 1 705 799 m^3. Süvendatud pinnas veeti pinnasepuistealale Pakri lahe suudmes. Süvendamine toimus intensiivselt kahes jaos: 2002.a sügisel ja sügistalvel ning 2003.a kevadel. Süvenduse ja pinnasepuiste käigus sattus vette suures koguses peenefraktsioonilisi meresetteid, mis hõljumina suurendasid oluliselt vee hägusust. Kogu süvendusperioodil oli vähenenud vee läbipaistvus ning sügavamatesse veekihtidesse jõudva päikesekiirguse hulk vähenes vastavalt hõljumi hulga suurenemisele vees. Kõige rohkem oli hõljumi suurest kontsentratsioonist mõjutatud Paldiski Lõunasadama akvatoorium, Pakri lahe idarannik kuni Paldiski Põhjasadamani ning Pakri lahe lõunaosa.

Pakri laht on selgeveeline mereala, kus vee läbipaistvused ulatuvad 5 - 6m. Süvendusperioodil registreeriti kaks põhilist veekvaliteedi halvenemisperioodi; kohe tööde alguses, kui rakendati frees-pump tehnoloogiat ja kevadise süvendusperioodi keskel kui sadama akvatooriumist teisaldati põhiliselt peenefraktsioonilisi setteid. Vee läbipaistvus sadama akvatooriumis langes mõlemal juhul 0.3m-ni (hõljumi kontsentratsioon vees kuni 92mg/l). . Kevadise süvendusperioodi lõpuks paranes vee läbipaistvus sadama akvatooriumis 1.2 meetrini. Sama perioodilisusega halvenes ja paranes veekvaliteet ka linnustiku elupaikades Pakri lahe rannikul.

Põhja-, kirde- ja idatuultega kandus hõljum Pakri lahe lõunaossa, lõuna-, edela- ja läänetuultega piki Pakri poolsaare idarannikut põhja poole. Vastavate tuulerežiimide ümberlülitused tingisid vastavalt hõljumipilve ja setete ümberjaotumise Pakri lahes. Intensiivne resuspensioon ja hõljumi väljakanne Pakri lahest toimus tormituultega, seega on vähetõenäoline, et süvendustööde ajal vette paisatud setted akumuleeruks pikaajaliselt Pakri lahes. Lühemaajaliselt võib hõljum settida lahe lõunaosa või Pakri poolsaare lääneranniku madalmeres. Süvendustööde sügisese intensiivperioodile järgnenud merepõhja elustiku analüüs näitas, et põhjataimestikule süvendustööd olulist mõju ei olnud avaldanud. Samuti ei olnud märgata olulist hõljumist põhjustatud mõju põhjaloomastiku koosluste arvukusele, biomassile ega struktuurile. Samas fikseeriti süvenduse käigus vette paisatud peenefraktsioonilise sette olemasolu praktiliselt kõigis mereelustiku seirevaatluse jaamades ja mõju mereelustikule võib avalduda alles järgnevatel vegetatsiooniperioodidel..

Pakri lahe lõunaosa on kalade sigimisala ja kevadisel süvendusperioodil sattus hõljumit sinna aprillis. Mai alguse tormi ja järgnevate lääne- ning edelakaarte tuultega puhastus Pakri lahe lõunaosa suure tõenäosusega sinna akumuleerunud hõljumist. Mais domineerisid tuuleolud, mis soodustasid hõljumi transporti Paldiski Lõunasadamast piki rannikut põhja poole. Külma talve tõttu kalade sigimise algus hilines ning seetõttu võib arvata, et süvenduse mõju kalade kudemistingimuste halvenemisele oli suhteliselt väike. Mudelarvutused näitasid, et suhteliselt väike kogus süvendustöödega vette sattunud hõljumist kandus sügisese süvendusperioodi ajal Pakri saarte ümbrusesse ja Pakri saarte vahelisse madalasse merre.

Antud töö raames tehtud seiremõõdistus pinnasepuistealal on teadaolevalt esimene sellelaadne Eesti rannikumeres. Teisaldatavast materjalist sattus pinnasepuistealale jämepurd. Peenemad settefraktsioonid kanti laiali ulatuslikule merealale, sealhulgas ka Pakri neeme madalmerre, kus täheldati mõju rannikumere põhjataimestikule ja linnustiku elupaikadele. Sügisel süvendusperioodil paiknesid veelinnud hägusa vee tõttu Pakri neeme looderanniku madalmerest valdavalt Lahepere lahte. Pakri lahe lõunaossa kandunud hõljum võis põhjustada seal toituvate sõtkaste avukuse vähenemise 2002. a. sügisel, eriti novembri esimesel poolel.

1. Süvendustööd Paldiski Lõunasadama akvatooriumis ja laevateel

1.1 Süvendustööde mõjust merekeskkonnale

Süvendustööd ja merre puiste on nii Eesti kui rahvusvaheliste seaduste järgi olulise keskkonnamõjuga tegevused ja seetõttu nõutakse tööde perioodil ja peale neid kompleksset keskkonnaseiret. Paldiski Lõunasadama süvendustööde aegne seire on kavandatud multidistsiplinaarsena, haarates perioodi enne süvendustöid, vahetult tööde ajal ja peale tööde lõppu. Süvenduse ja puistega otseselt vette paiskuv hõljum on peamiseks merekeskkonda mõjutavaks faktoriks - eelkõige muutub vee läbipaistvus, hoovustega edasi kandudes ulatub keskkonnamõju küllalt kaugele süvendus- ja puistekohast (Foto 1.1 ja 1.2). Tuulelainetusest tingituna on vee liikumise kiirused lokaalselt palju suuremad triivhoovuse kiirustest, mistõttu tekib merepõhja setteosakeste kaasahaare ehk resuspensioon. Turbulentne liikumine laineprofiili ülemineku tagajärjel intensiivistab resuspensiooni veelgi ja sõltuvalt osakese suurusest ning tihedusest on see lühemat või pikemat aega veesambas hõljuvas olekus.

Hõljumiosakesed hajutavad veepinnale langevat ja vees levivat päikesekiirgust nii, et veealune valgusrežiim on modifitseerunud võrreldes loodusliku olukorraga. Valgustingimused omakorda mõjutavad bioproduktsiooni intensiivsust, hapnikutingimusi vees ja mereelustiku toitumistingimusi. Süvendamise mõju mereelustikule on küllalt keerulise iseloomuga. Seega on otseseid ja üheseid hinnanguid merevee füüsikaliste omaduste põhjal teha keerukas ja sageli ebatäpne. Ökosüsteemi peab käsitlema terviklikult analüüsides nii füüsikalisi, keemilisi kui bioloogilisi protsesse.

Mõju merepõhja elustikule avaldub eelkõige lühiajalise mõjuna ehk vahetult süvendamis- ja puistekohas häviva ja settiva hõljumi alla jääva põhjataimestiku ja –loomastiku ulatusena. Pikaajaline mõju avaldub mereelustiku koosluste struktuuri muutuse kaudu muutunud elutingimustes, milledeks on nii muutunud merepõhja iseloom kui lühema- või pikemajalised muutused veealuses valgusrežiimis. Pikaajalise iseloomuga mõjud, näiteks merepõhja loomastiku puhul, avalduvad alles aastate jooksul. Kalastiku osas toimub süvendus- ja puistetööde piirkonnas kudemis- ja toitumistingimuste muutus, mis eelkõige mõjutab kalalarvide nooremaid järke.

Suhteliselt pikaajalised ja aeglased muutused (protsessid) leiavad aset merepõhja ja ranniku geoloogias, siiski on olemas ka lühiajaliselt täiesti märgatav süvenduse ja pinnasepuiste mõju. Süvendustööde käigus rajatav süvend merepõhjas hakkab sobiva settematerjali olemasolul suuremal või vähemal määral täituma, mille tagajärjel tekib uus lokaalne setete tasakaal. Puisteplatsile veetakse setteid juurde ja need katavad merepõhja ideaaljuhul ühtlase kihina piisavas sügavuses, nii et on välistatud nende edasiliikumine ja resuspensioon. Tegelikkuses võib olukord olla erinev ja setted kanduda puiste ajal hoovustega madalasse vette, kust neid teatud tingimustes potentsiaalselt lainetuse ja hoovuste tõttu edasi transporditakse või veesambasse hõljuvasse olekusse haaratakse. Puistekoht peab paiknema selliselt et viimati nimetatud protsesse ei tekiks.

Süvendustööde käigus aset leidvad mõjud merekeskkonnale (protsessid, muutused) on väga erinevate ajaskaaladega, hõljumi levik ja resuspensioon toimub vahemikus mõned minutid kuni mõni päev. Mõju mereelustikule avaldub kuude kuni aastate jooksul ja geoloogilised muutused ulatuvad sageli kümnetesse aastatesse.

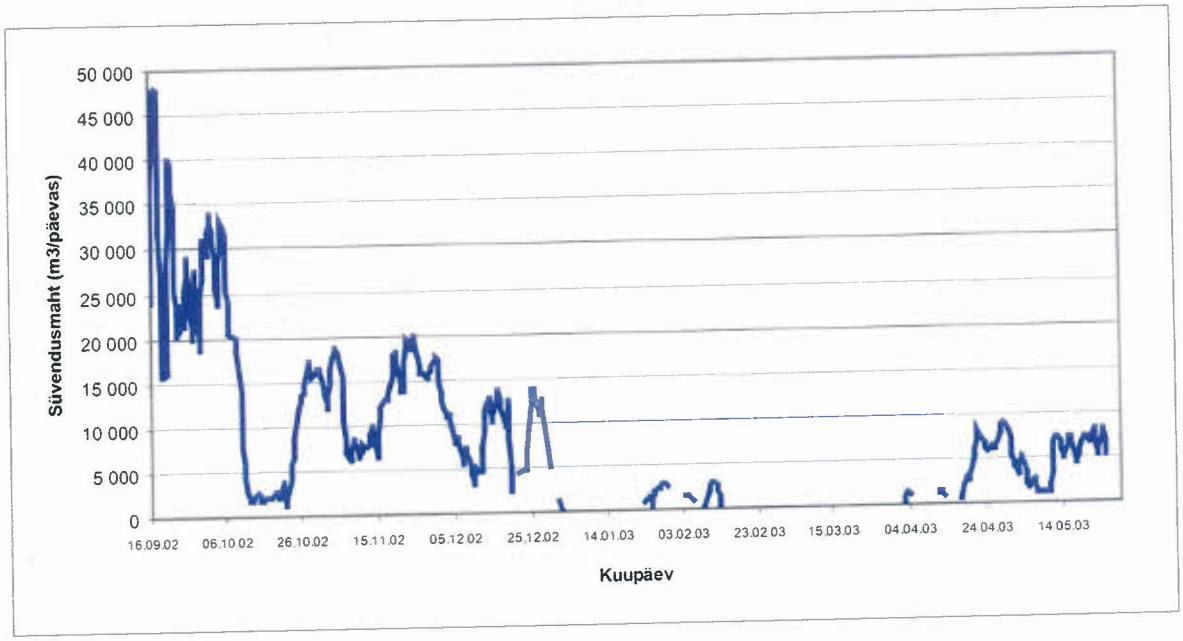
Foto 1.1 Õhuvaade süvendusalale Paldiski Lõunasadamas süvendustööde I etapil (05.oktoobril 2002.a), hästi on jälgitav sadama akvatooriumist välja leviv hõljumirikas vesi (foto A.Kask).

Foto 1.2 Õhuvaade süvendusalale Paldiski Lõunasadama väravas ja kai välisküljel süvendustööde IV etapil (20.mail 2003.a), hästi on jälgitav hõljumirikka veemassi teke süvendajate ümbruses (foto A.Kask).

Kuigi enne süvendustööde teostamist hinnatakse kogu tegevuse keskkonnamõjusid, ei ole siiski päris selge milliseks kujunevad keskkonnamõjud lõpptulemusena. Paldiski Lõunasadama süvenduse KMH-d teostanud eksperdid tõid muuhulgas välja ka asjaolu, et Eestis tegelikult puudub kogemus milliseks kujuneb nii suure mahuga süvendustööde mõju merekeskkonnale. Kombineerides erinevaid mõõte- ja numbrilise modellerimise meetodeid koostati Paldiski Lõunasadama süvendusaegse seire programm, mille raames koguti andmeid ja modelleeriti hõljumi levikut Pakri lahe merekeskkonnas. Vaatlustega kirjeldati hõljumirikka vee mõju linnustiku käitumises nii nende elupaikade seirena kui ka veelindude rände, toitumise ja pesitsusdünaamikat vaadeldes. Kuigi merepõhja elustik ja veel enam kalastik reageerib tehnogeensetele muutustele alles teatava aja jooksul, teostati merepõhja taimestiku ja loomastiku seirevaatlusi süvendustööde ajal, samuti nagu kalade seirepüüke. Süvendusaegse seire raames kogutud andmestik peab andma võimalikult adekvaatse ülevaate süvenduse käigus toimuvatest protsessidest ning nende dünaamikast. Seire tulemused on esitatud käesoleva aruande peatükkides, kusjuures iga alajaotuse juures vaadeldakse eraldi ka vastava temaatika seire metoodikat.

1.2 Süvendustööde mahud

Süvendustööd Paldiski Lõunasadamas ja laevateel, toimusid ajavahemikul 16.september 2002.a kuni 25.mai 2003.a ja need viis läbi Hollandi firma ***Van Oord ACZ*** koos partneritega. Tööde käik ööpäevaste süvendusmahtudena on esitatud Joonisel 1.1, millelt on näha et töid tehti ajas küllalt erineva tempoga. Algselt planeeriti tööd lõpetada detsembri lõpuks ja kuigi projektijärgne süvendusmaht ka selleks ajaks välja võeti, ei õnnestunud vajalikke lõputöid jääolude karmistumise tõttu läbi viia ning tööd seiskusid 02.jaanuaril 2003.a. Süvendustööde käiku on edasiste seiretulemuste hindamiseks otstarbekas periodiseerida, võttes aluseks süvendustööde intensiivsuse ehk ööpäevase süvendusmahu (Tabel 1.1). Põhiosas, mahuliselt kokku 86.2% tehti süvendustööd ära 2002.a jooksul. Päeva keskmise süvendusmahu järgi võib selle tööperioodi jagada kaheks etapiks: I etapp 16.september – 18.oktoober 2002.a, päeva keskmine süvendusmaht 20 681m^3 ja II etapp 19.oktoober 2002.a – 02.jaanuar 2003.a, päeva keskmine süvendusmaht ligi kaks korda eelmisest väiksem – 10 363m^3. Kokku süvendati I etapi jooksul 40% ja II etapi jooksul 46% süvendustööde kogumahust, samal ajal, nagu ka juba öeldud, praktiliselt kogu projektijärgne süvendusmaht (Tabel 9.1). Ilma soojenedes, jaanuari lõpus, veebruari alguses (Joonis 1.3) püüti järelejäänud töid teha, kuid reaaalsed ööpäevased süvendusmahud olid väga väikesed ja jääolud ikkagi segasid tööde läbiviimist. Seda tööperioodi loeme antud töös III etapiks kestusega 24.jaanuar – 14.veebruar 2003.a, mille jooksul teostati süvendustöid 2% ulatuses kogumahust, päeva keskmiseks süvendusmahuks sel perioodil saadi vaid 1 607 m^3. Jääolud võimaldasid süvendustööde läbiviimist alustada jällegi aprilli algusest ja viimase, IV etapi, 02.aprill – 25.mai 2003.a raames viidigi süvendustööd lõpule ehk saavutati projektijärgsed sügavused Paldiski Lõunasadama akvatooriumis, laevade pöördealal ja laevateel. Viimase etapi käigus võeti pinnast välja 12% süvenduse kogumahust ja päeva keskmine süvendusmaht oli 4 704m^3, mis on ligi kaks korda väiksem II etapi vastavast näitajast (Tabel 1.1).



Joonis 1.1 Päeva keskmised süvendusmahud (m3/päevas) Paldiski Lõunasadama süvendusperioodi vältel

Tabel 1.1 Paldiski Lõunasadama süvendustööde ajaline käik ja mahud

	ajavahemik	kestus päeva-des	süvendajad	perioodi süvendus-maht (m^3)	osatähtsus kogu-mahus	päeva keskmine (m^3)	päeva min (m^3)	päeva max (m^3)
I etapp	16.09.2002-18.10.2002	33	VOL+AJ	682 457	40%	20 681	1 623	47 800
II etapp	19.10.2002-02.01.2003	76	KAT+BAS+SEV+AJ+BEL	787 564	46%	10 363	350	19 902
III etapp	24.01.2003-14.02.2003	21	SEV+BEL	24 100	2%	1 607	50	3 000
IV etapp	02.04.2003-25.05.2003	54	KAT+BAS+SEV+BEL	211 678	12%	4 704	300	9 169

Lühendid: VOL - VOLVOX HOLLANDIA; AJ – AJAX-R; KAT – KATEGATS; BAS – BASTION; SEV – SEVERNAJA; BEL - BELOMORSKAYA

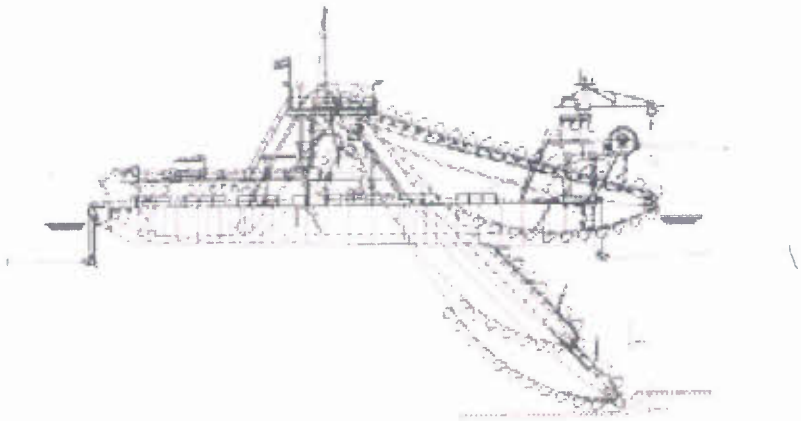
1.3 Ülevaade rakendatud süvendustehnoloogiatest

Süvendajaks on üldjuhul iseliikuv või pukseeritav alus, mis on võimeline pinnast veekogu põhjast välja tõstma. Eristatakse ühe- ja mitmekopalisi koppsüvendajaid (baggereid), pinnasepumpasid (hüdromehaanilisi põhjasüvendajaid ehk pinnaseimejaid) ning suuremate kivide jms väljatõstmiseks kisusüvendajaid (greifereid).

Ühekopaline süvendaja töötab hariliku ekskavaatori põhimõttel või tõstab pinnast greiferiga (Foto 1.3). Mitmekopalise süvendaja kopad on kinnitatud kettidele, mille abil nad liiguvad üle ühises

raamis paiknevate ülemise ja alumise trumli (Joonis 1.2). Pinnasepumpadel on imitoru otsas spetsiaalne frees või hüdrauliline kobesti, millega valmistatakse pinnas pumpamiseks vajalikku konditsiooni. Süvendajaid hoitakse tööasendis ankrute ja trossidega, mille abil võimalik ka aluse asendit töö ajal teatavates piirides jooksvalt muuta. Pinnasepumbad võivad töötada ka liikudes. Süvendatud pinnase äravedu teostatakse üldjuhul spetsiaalsete pinnaseveo pargastega (Foto 1.6), pumpsüvendajad on tavaliselt pinnase lastiruumidega (maht kuni 8000 m^3) juba ise varustatud, teatud juhtudel transporditakse pinnast ka mööda torujuhet. Süvendajate jõudlus on tüübist ja võimsusest olenevalt 250 kuni 5000m^3 mõningatel juhtudel isegi kuni 20 000m^3 pinnast tunnis, töösügavused ulatuvad kuni 50m.

Foto 1.3 Suure jõudlusega pumpsüvendajat VOLVOX HOLLANDIA kasutati Paldiski Lõunasadama süvendusel 2002.a septembris-oktoobris (Van Oord ACZ)



Joonis 1.2 Mitmekopalise süvendaja AJAX-R põhimõtteskeem, kokku kasutati Paldiski Lõunasadama süvendusel nelja erineva jõudlusega mitmekopalist süvendajat (A/S Ajax R)

Foto 1.4 Suure jõudlusega mitmekopalist süvendajat KATEGATS kasutati Paldiski Lõunasadama süvenduse II ja IV etapil (Van Oord ACZ)

Foto 1.5 Ühekopaline süvendaja BASTION (foto T.Kõuts)

Paldiski Lõunasadama süvendustööde käigus kasutati kokku kuut erinevat süvendajat: VOLVOX HOLLANDIA (Holland), KATEGATS (Venemaa), SEVERNAJA (Venemaa), AJAX-R (Taani), BASTION (Venemaa) ja BELOMORSKAJA (Venemaa). Kokku süvendati ajavahemikul 16.september 2002.a kuni 25.mai 2003.a 1 705 799 m pinnast, ülevaade süvendajatest, nende tehnoloogiast ja süvendusmahtudest on esitatud

Tabelis 2. Rakendatud süvendajate jõudlus on olnud väga erinev alates mitmekopalisest BELOMORSKAYA'st, mis oli maksimaalselt võimeline välja võtma 2 700m^3 pinnast kuni VOLVOX HOLLANDIA'ni mille päevased süvendusmahud ulatusid 47 500m^3 ehk ligi 18(!) korda enam. On arusaadav, et antud juhul tuleb seire tulemuste interpreteerimisel igal ajaperioodil arvestada kasutatud tehnoloogia ja süvendusmahtudega.

Tabel 1.2 Paldiski Lõunasadama süvendusel kasutatud süvendajad ja nende osa kogumahus

	tähis	maht (m3)	osatähtsus kogu-mahus	tehnoloogia	päeva keskmine (m3)	päeva min (m3)	päeva max (m3)
VOLVOX HOLLANDIA	VOL	626 137	37%	frees-pump	25 755	8 017	47 500
KATEGATS	KAT	513 550	30%	mitmekopaline	10 050	650	6 390
SEVERNAJA	SEV	233 900	14%	mitmekopaline	3 754	50	8 100
AJAX-R	AJ	138 866	8%	mitmekopaline	3 086	530	9 600
BASTION	BAS	124 246	7%	ühekopaline	1 852	524	3 400
BELO-MORSKAJA	BEL	69 100	4%	mitmekopaline	1 002	300	2 700
KOKKU		*1 705 799*	*100%*				

Foto 1.6 Täislastis pinnaseveo pargas MAGNI R teel pinnasepuiste platsile 15.novembril 2002.a (foto T.Kõuts)

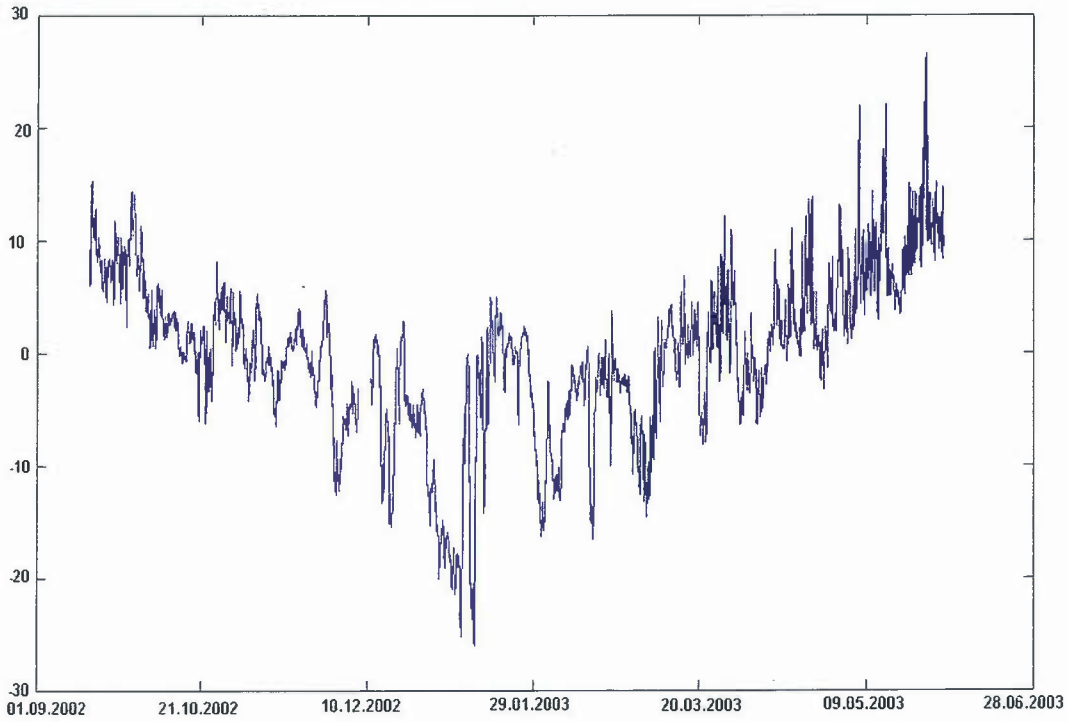
Kõigile kirjeldatud süvendustehnoloogiatele saavad takistuseks aluspõhja kivimid ja suured kivirahnud. Süvendustööd aluspõhjani ei jõudnud, valdavaks süvendusmaterjaliks oli projektijärgselt peen-kruusliiv (81%, Tabel 9.1). Siiski oli süvendataval merealal piisavalt suuri kivirahne mis tuli välja tõsta ujuvkraana või muude tõstemehhanismidega.

Keskkonnakaitselisest seisukohast osutus suure jõudlusega frees-pump tehnoloogia (VOLVOX-HOLLANDIA) ühtlasi ka kõige suuremaks hõljumitekitajaks, see on ka arusaadav sest hõljum tekkis ühelt poolt merepõhja kobestamise tagajärjel, teiselt poolt jälle setetega segatud vee lastiruumist ülevoolu tulemusel. Samal ajal sõltub hõljumi tekke intensiivsus süvendatava pinnase koostisest. Nii kasutati IV etapil vaid mitmekopalisi süvendajaid, aga vee hõljumisisaldus Pakri lahes tõusis kohati sügiseste näitajateni. Põhjuseks oli ilmselt peenefraktsioonilise sette süvendamine ja puiste.

1.4 Süvendusperioodi hüdrometeoroloogilised tingimused

Süvendusperioodi ilmaolude jälgimiseks paigaldati Paldiski Lõunasadama kai tipus automaatne ilmajaam AANDERAA, varustatud anduritega tuule kiiruse, suuna, õhu- ja veetemperatuuri ning veeseisu mõõtmiseks. Tuule kiiruse ja suuna andurid asetsesid ca 10m kõrgusel merepinnast. Automaatne ilmajaam varustati GSM modemiga nii et mõõdetud tuuleandmeid sai kasutada reaalajas numbrilise modelleerimise meetoditega hõljumi leviku prognoosimisel. Seoses kai pikendamise ehitustöödega tuli detsembri lõpus veeseisu andur maha monteerida ja veetaset kevadisel süvendusperioodil jälgiti episoodiliselt Paldiski Põhjasadama peeli järgi.

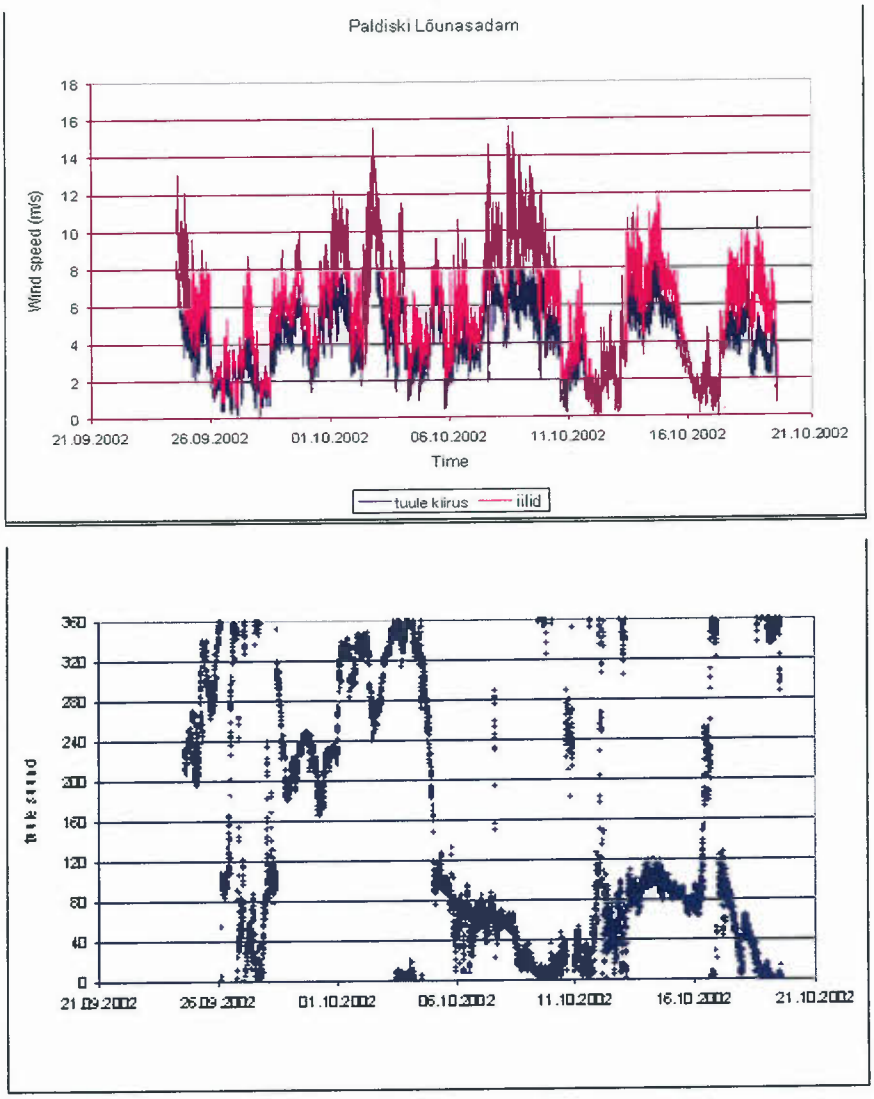
Kõige rohkem mõjutas süvendustööde käiku õhutemperatuuri varajane langus, mis omakorda tingis pikaajalise statistika põhjal väga varajase jää moodustumise Pakri lahel. Esimesed jäänähted Pakri lahe madalas rannameres registreeriti juba 20.oktoobril. Edasine õhutemperatuuri pidev langus novembris ja detsembris, kohati -10 kuni -15°C (Joonis 1.3), põhjustas jäätekke intensiivistumise terves Soome lahes, nii, et jaanuari alguseks oli terve Soome laht kinni külmunud. Jääkate Pakri lahel oli alguses ebastabiilne, kuid peale Soome lahe külmumist olid ka Pakri lahe jääolud juba karmid. See asjaolu mõjutas süvendustöid sel määral et need tuli seisata kuni jääolude kergemaks muutumiseni. Võimalus süvendustöid jätkata tekkis sulaperioodil jaanuari lõpus, mil õhutemperatuur tõusis 0°C tasemele ligi nädalaks ajaks (Joonis 1.3), kuid jäämass lahes oli siiski nii suur et nädalane sula seda eriti ei mõjutanud. Peale sulaperioodi õhutemperatuur langes uuesti -8 kuni -12°C ja süvendustööde jätkamine tuli lükata kevadesse. Aprilli alguses, kui õhutemperatuur tõusis stabiilselt üle 0°C (Joonis 1.3), süvendustöid jätkati ja need viidi lõpule mais.



Joonis 1.3 Õhutemperatuuri ajaline käik Paldiski Lõunasadama süvendusperioodil

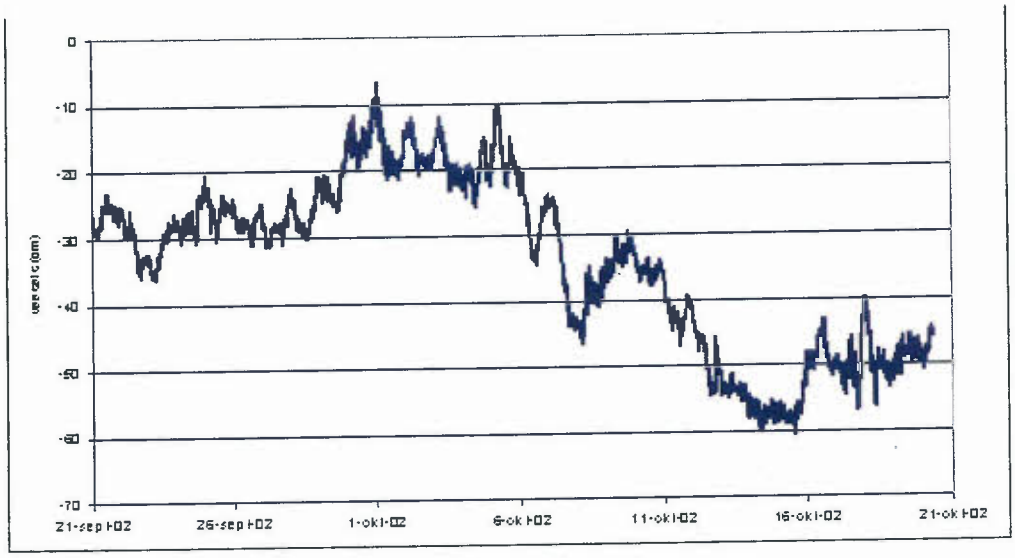
1.4.1 I etapi ilmaolud

Pakri lahe ja Paldiski Lõunasadama ümbruse süvendus- ja puistetööde esimesel kuul valitsesid Pakri lahel piirkonnale iseloomulikud muutlikud sügisesed ilmastikutingimused, milles domineeris saabuvale sügis-talvele omane kohalik kliimakompleks. Süvendustööde esimesel perioodil 20.septembrist kuni 04.oktoobrini valitsesid mõõdukad lääne-, loode- ja põhjatuuled kiirusega 2-8m/s (Joonis 1.4), oktoobri algus oli aga tuulisem. Reeglina vaheldusid tuulised päevad tuulevaiksematega. Alates 05.oktoobrist pöördus tuul itta ja kirdesse ning püsis nii kuni selle vaatlusperioodi lõpuni. Sarnaselt muutliku iseloomuga oli ka tuule kiirus (Joonis 1.4). Ligikaudu kolmepäevased tuulised perioodid vaheldusid vaiksematega, mil tuul mõneks ajaks täielikult vaibus. Regulaarsed tuule tugevuse muutused jäid oktoobri kuu jooksul vaiksemaks: esimene tugev tuul kuu alguses oli kiirusega 14 kuni 15 m/s, ning 19.- 20. oktoobril oli kiirus 8 kuni 10 m/s.



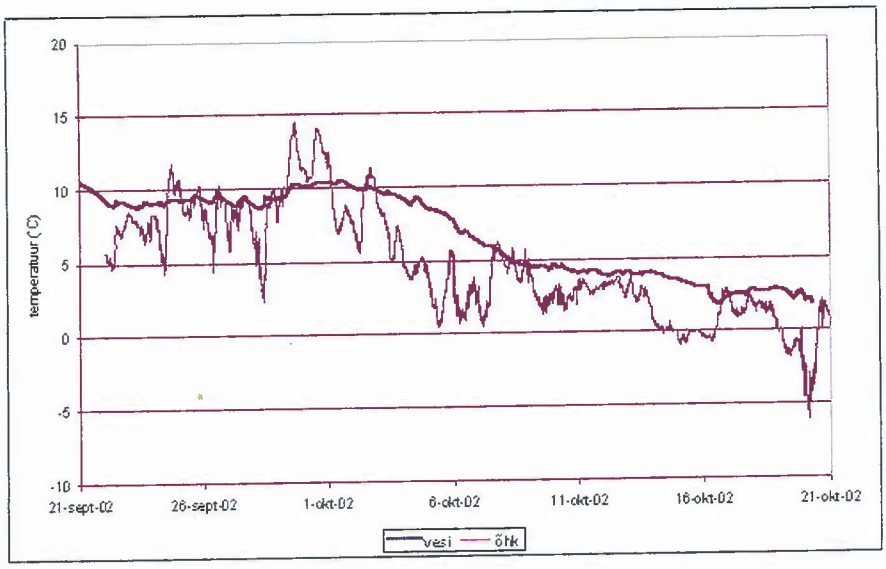
Joonis 1.4 Tuule kiirus, -iilid ja suund Pakri lahel, süvendustööde I etapil

Suhteliselt kauakestvate idakaarte tuulte mõjul langes merevee tase oktoobris märgatavalt, jõudes väga lähedale Pakri lahes mõõdetud madalaimale väärtusele: –70 cm (Joonis 1.5).



Joonis 1.5 Merevee kõrguse ajaline käik süvendustööde I etapil

Soome lahe lõunarannikule iseloomulik peamiselt atmosfääri temperatuurirežiimist sõltuv madala rannikumere veemasside suhteliselt kiire jahtumine, mis toimub tavaliselt novembrikuus, leidis sel aastal aset juba oktoobris. Kuu alguse veetemperatuur 11.5 °C langes 19.oktoobriks 1 – 3°C ning madalas rannameres registreeriti juba 20.oktoobril Pakri lahe jaoks väga varajaselt esimene jää (Joonis 1.6). Jää oli küll esialgu suhteliselt hapra jääkirme vormis, üldnimetusega vastne jää, kuid see fakt iseenesest viitas võimalusele, et eeloleva talve jääolud võivad kujuneda eelnevatest talvedest raskemateks.

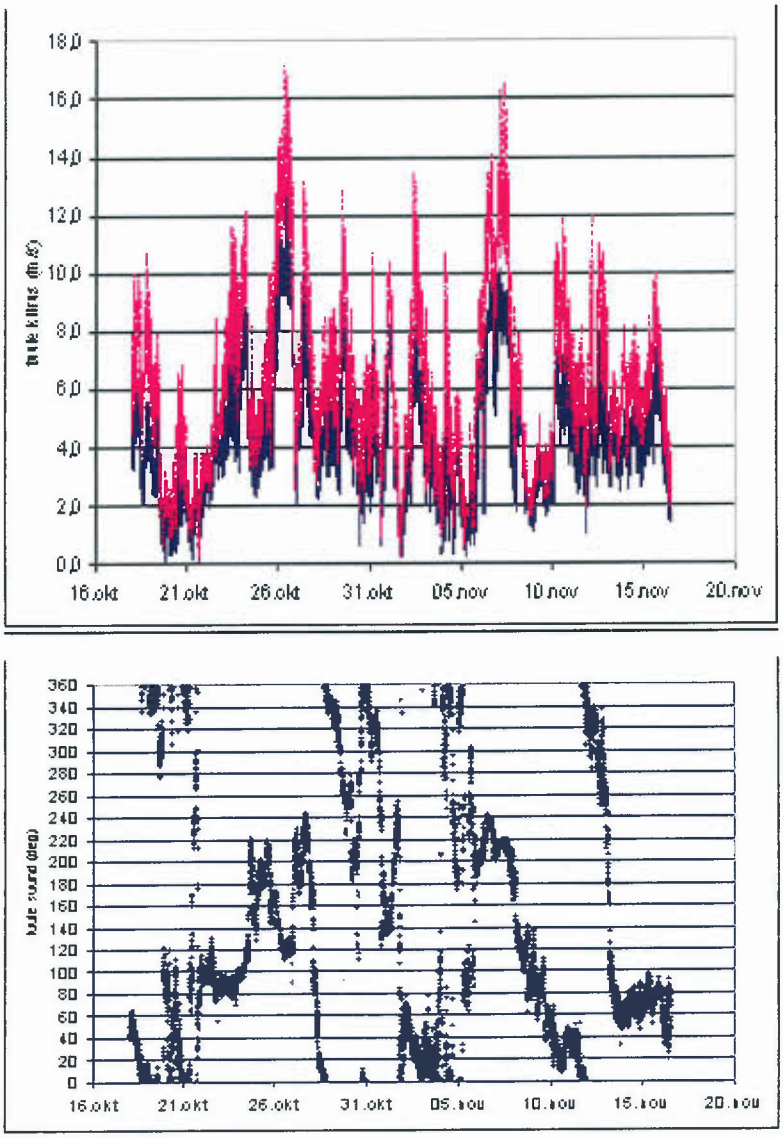


Joonis 1.6 Juba süvendustööde I etapil registreeriti veemasside intensiivne jahtumine Pakri lahes

1.4.2 II etapi ilmaolud

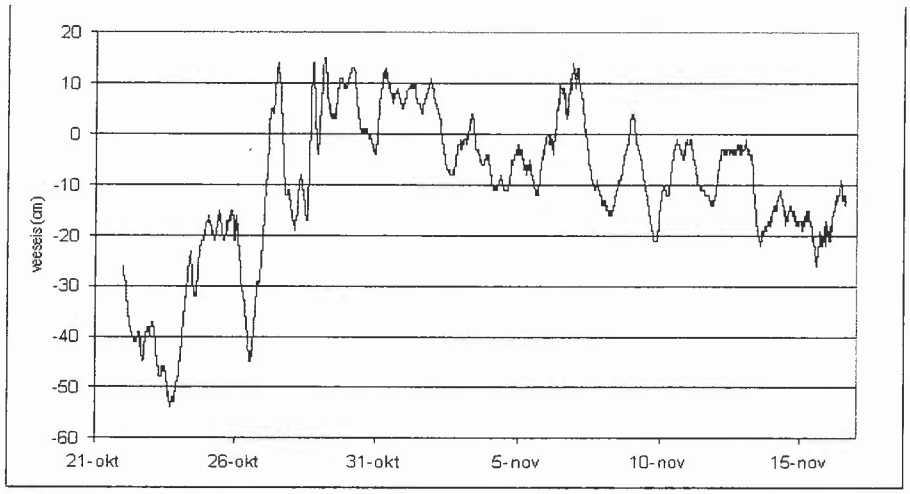
Süvendustööde teisel etapil valitsesid sügis-talvele iseloomulikud vahelduvad tuuled (Joonis 1.7). Kolm tuulevaikset perioodi: 21.oktoobri, 5.novembri ja 10.novembri paiku, vaheldusid kahe intensiivse tuulesündmusega 25.oktoobril ja 7.novembril, kui tuule kiirus tõusis 17m/s sadama piirkonnas ning üsna tõenäoliselt oli lahel veelgi suurem. Mõlemad tuulesündmused olid seotud lõunatuultega. Põhja- ja idatuultele, samuti kagutuulele vaadeldava perioodi lõpul, 15.-16.novembril, olid iseloomulikud mõõdukad tuuletingimused.

Süvendustööde teisel kuul registreeriti Pakri lahel kaks küllaltki stabiilset tuulesüsteemi: esimene ajavahemikus 21. – 27.oktoobrini, kui tuul pöördus aeglaselt idast kagusse (seotud omakorda kahe tuulesündmusega - torminähuga) ning 6. – 11.november, kui tuul pöördus ühtlaselt kagust põhja (Joonis 1.7). Mõlemad situatsioonid olid küllalt sarnase kestusega ja mõlemat perioodi iseloomustas ka küllalt tugev tuul.



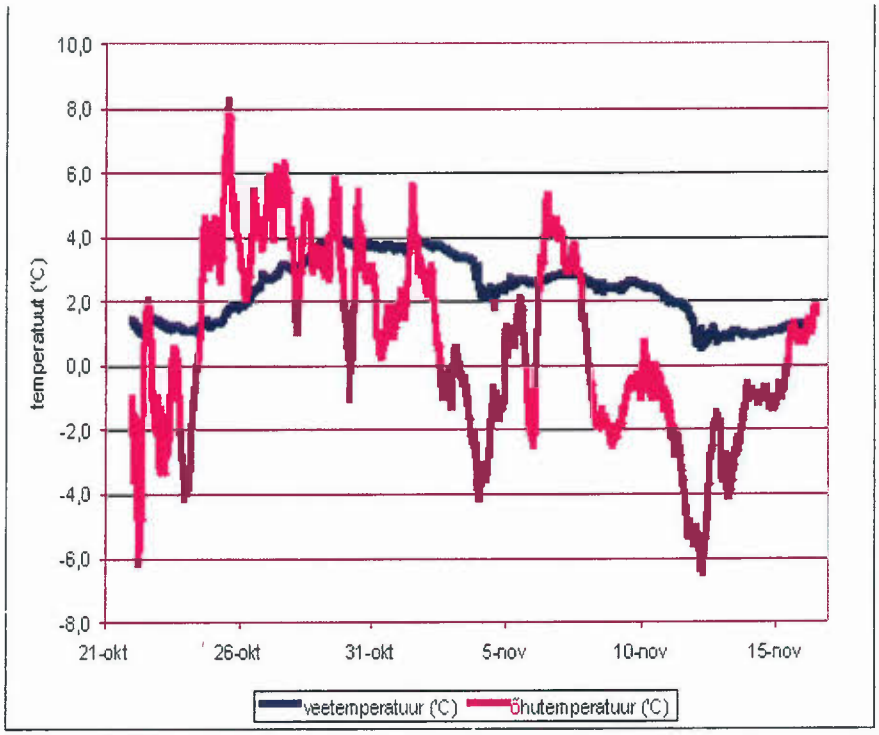
Joonis 1.7 Tuule kiirus, iilid ja tuule suund Pakri lahel süvendustööde teisel kuul (II etapp)

Oktoobri teisel poolel oli kestvate idakaarte tuulte mõjul merevee tase nii Pakri lahes kui kogu Soome lahes küllalt madal. Vaadeldaval seireperioodil registreeriti madalaim veeseis: -53 cm, 24.oktoobril (Joonis 1.8). Nagu eelnevalt juba mainitud pöördus stabiilne tuulesüsteem mere kohal idasuunast kagusse. Samuti suurenes tuule kiirus. Seetõttu hakkas tõusma ka merevesi, mille tase kerkis ajavahemikul 26.-30.oktoober 2002.a, sügise kohta madalatelt väärtustel -50 kuni -30cm keskmise veeseisu juurde 0 kuni +10cm Balti Süsteemis (Joonis 1.8). Tuule pöördumine tagasi ida kaudu põhja põhjustas aeglase kuid ühtlase veeseisu languse alates 06.novembrist, nii, et 15.novembriks oli veeseis jällegi juba -20cm lähedal. Merevee taseme tüüpiline sessoonne tsükkel näitab tavaliselt oktoobris-novembris kõrgeid kuu keskmisi, mida sel aastal aga ei olnud. 27. - 28.oktoobril mõõdeti Paldiski Lõunasadamas kõige suurem veetaseme päevane kõikumine, ligi 50cm. Pärast seda merevee kõrguse režiim stabiliseerus ja novembri keskel olid päevaste kõikumiste amplituudid 10 – 15cm, mis on isegi vähem kui tavaliselt sel perioodil.



Joonis 1.8 Merevee kõrguse ajaline käik süvendustööde teisel kuul (II etapp)

Oktoobris vaheldus madala mere veemasside kiire jahtumine küllalt stabiilse temperatuurirežiimiga. Kuu jooksul langes õhutemperatuur mitmel korral -5 kuni -6°C, mis põhjustas esimese jää tekke rannikumeres juba oktoobris, mis on varajane aeg võrraldes pikaajalise keskmisega. Oktoobri lõpus põhjustas õhutemperatuuri tõus +5 kuni +6°C koos konvektsiooniga omakorda Pakri lahe veetemperatuuri tõusu ligikaudu 2°C võrra. Novembri esimesel poolel õhutemperatuur aeglaselt langes, mis põhjustas veemasside jahtumise ning varajase mere jäätumise rannikupiirkondades, mis ei ole tavaliselt Pakri lahele iseloomulik.



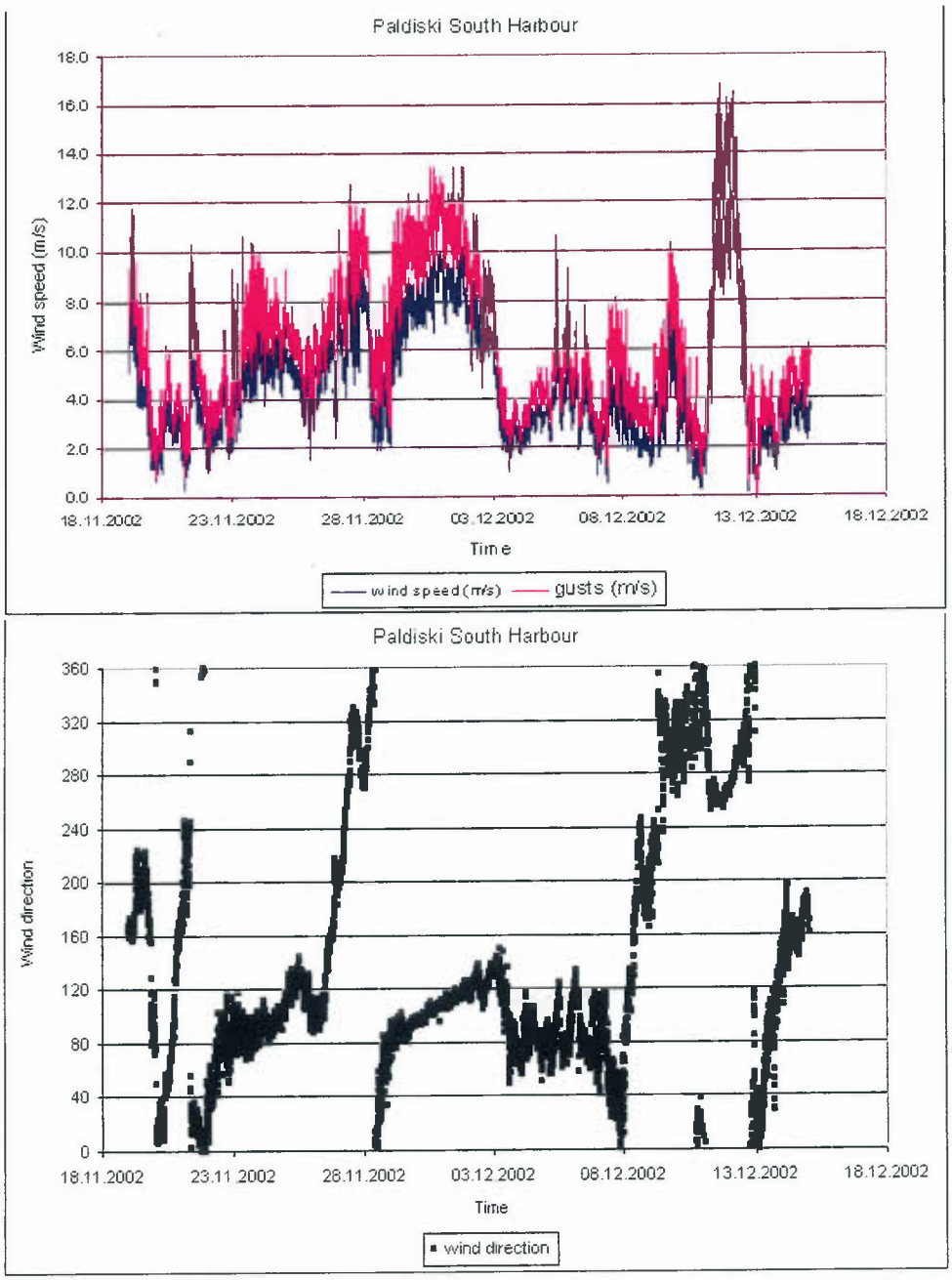
Joonis 1.9 Õhu- ja merevee pinnakihi temperatuur teisel süvenduskuul (II etapp)

Novembri teisel poolel ja detsembris valitsesid muutlikud tuuletingimused, algul puhus vahelduva suunaga tuul, 2 kuni 10m/s, praktiliselt kõigist suundadest. Perioodi 22.november kuni 02.detsember iseloomustas aegamööda tugevnev tuul, alguses 2 kuni 4 m/s lõpus 10 kuni 12 m/s, mis samal ajal pöördus 360° ja jäi lõpuks püsima itta. Idakaarte tuul püsis umbes poolteist nädalat 30.novembrist kuni 09.detsembrini. Tuule kiirus oli sel ajal 2 kuni 6 m/s, iiliti 10 m/s (Joonis 1.10). Tuleb rõhutada, et tuule mõõtmised on läbi viidud praktiliselt Paldiski Lõunasadama kail, küll sadamaväravas. Pakri lahe avatud osades on tuule kiirus tõenäoliselt olnud suurem, samas on käesoleva töö ülesandeks anda ülevaade süvendusala tuuleoludest, mis paiknes sadamavärava lähedal.

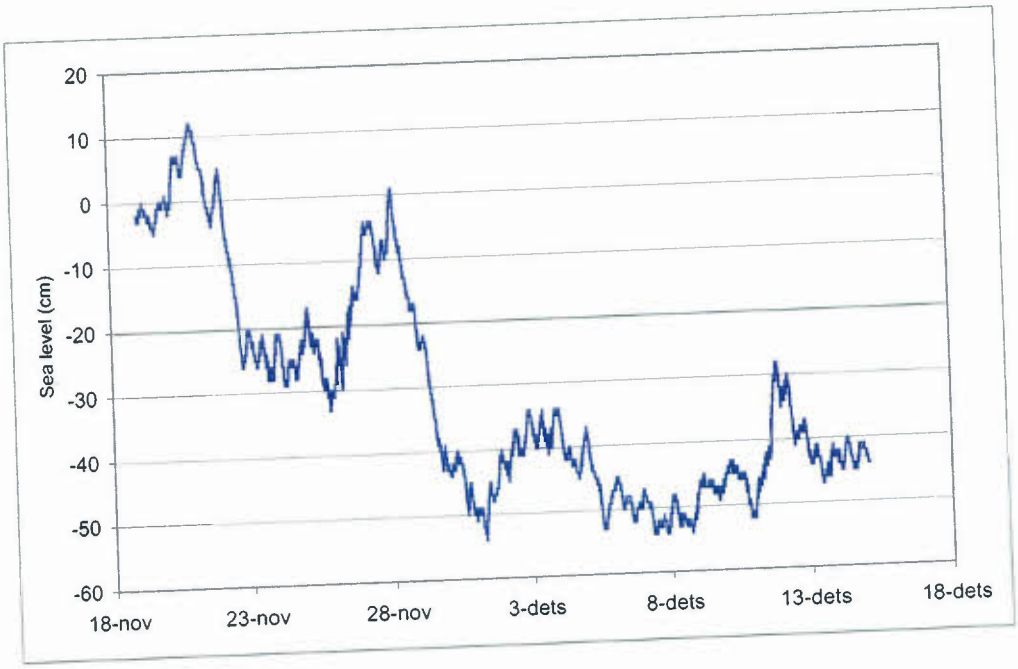
Idatuulte perioodile järgnes 09.detsembrist kuni 13.detsembrini aeg, kui tuul puhus põhjast ning tuule kiirus tõusis 14 kuni 16 m/s. Seejärel pöördus tuul jälle itta ja kagusse ning tuule kiirus vähenes, olles mõnikord ainult 2 kuni 4 m/s (Joonis 1.10).

Tuuleolud, mis valitsesid süvendustööde kolmandal kuul, on tüüpilised sügis-talvisele perioodile. Selle kuu jooksul täheldati Parki lahel kahte küllaltki stabiilset tuulesüsteemi, kui tuul pöördus aeglaselt ringi üle kõigi suundade. Mõlemad situatsioonid olid küllalt sarnase kestuse ja tuulte tugevusega. Nende kahe perioodi vahepeal oli tuul üsna varieeruv ja väikeste kiirustega.

Suhteliselt pikka aega kestnud idatuulte režiim põhjustas madala veeseisu detsembri esimesel poolel mitte ainult Pakri lahes vaid ka kogu Soome lahes ja Läänemereski. Madalaim registreeritud veetase oli sel perioodil -52 cm, mis mõõdeti kahel korral: 02. ja 08.detsembril (Joonis 1.11). Püsiv ja mõõdukas ida- ja kagutuulte süsteem mere kohal põhjustab veetaseme languse keskmisega võrreldes suhteliselt madalale.



Joonis 1.10 Tuule kiirus, iilid ja suund Pakri lahel süvendustööde kolmandal kuul (II etapp)



Joonis 1.11 Merevee kõrgus süvendustööde kolmandal kuul (II etapp)

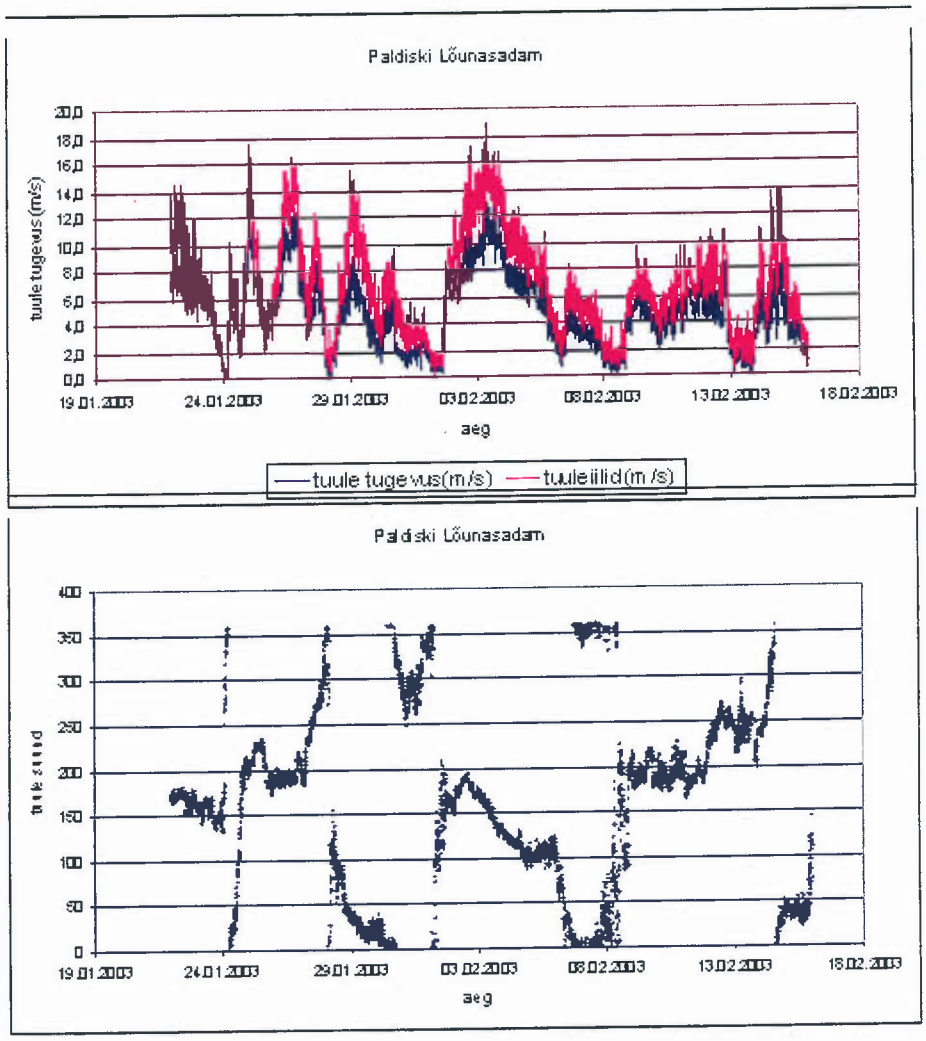
01. - 02.detsembril registreeriti ka merevee kõrguse suur ööpäevane kõikumine, see langes ligi 50cm pooleteise päeva jooksul ning stabiliseerus seejärel detsembri alguse kohta väga madalal -50cm nivool (Joonis 1.11). Ülejäänud päevadel oli veetaseme ööpäevane kõikumine vaadeldaval ajaperioodil on 10 kuni 15 cm, mis on vähem kui sellel ajal tavaliselt pikajalise keskmisena.

Vee temperatuur madalas meres oli vaadeldaval perioodil küllaltki ühtlane. Kiire jahtumine oktoobri alguses asendus üsna stabiilse temperatuurirežiimiga novembris-detsembris. Oktoobris alanud jää moodustumine jätkus novembris, mis on Pakri lahe jaoks üsna ebatüüpiline, eriti viimasel kümnendil. Õhutemperatuur oli pikaajalisest keskmisest madalam, mitmel korral isegi -10 kuni -15°C, mis intensiivistas jää moodustumist madalas rannameres. Sõltuvalt tuule suunast ja kiirusest, triivis jää mitmel korral Pakri lahete sisse, tekitades takistusi sügavuse mõõtmisel ja süvenduslaevade liikumisel. Jaanuari alguseks moodustus lahel juba stabiilne jääkate. Terve Soome laht oli selleks ajaks kinni külmunud. Süvendajate töö tegi võimatuks ka madal õhutemperatuur, mille toimel süvendajate poolt pargastele laaditud pinnas külmus sinna kokku ja transport puistealale muutus seetõttu sisuliselt võimatuks.

1.4.3 III etapi ilmaolud

Õhutemperatuur tõusis süvendustööde II etapi alguses –20 kuni -22°C-lt 0°C-ni (Joonis 1.3), mis võimaldas töid jälle läbi viia. Nädalane sula asendus veebruari alguses siiski -10 kuni -15°C pakasega, mis ei võimaldanud süvendust kuigi effektiivselt teostada. Tuuleolud olid väga muutlikud, eriti kiiruse osas – lühiajalised vaiksemad perioodid vaheldusid tugeva 10 kuni 12m/s, iiliti 18m/s puhuva tuulega. Tuulesuundadest oli sel

perioodil valdavaks lõunakaarte, edela ja läänetuul. Perioodi märkimisväärseim, 02.-05.veebruari tormituul, kuni 18m/s, puhus loodest (Joonis 1.12).

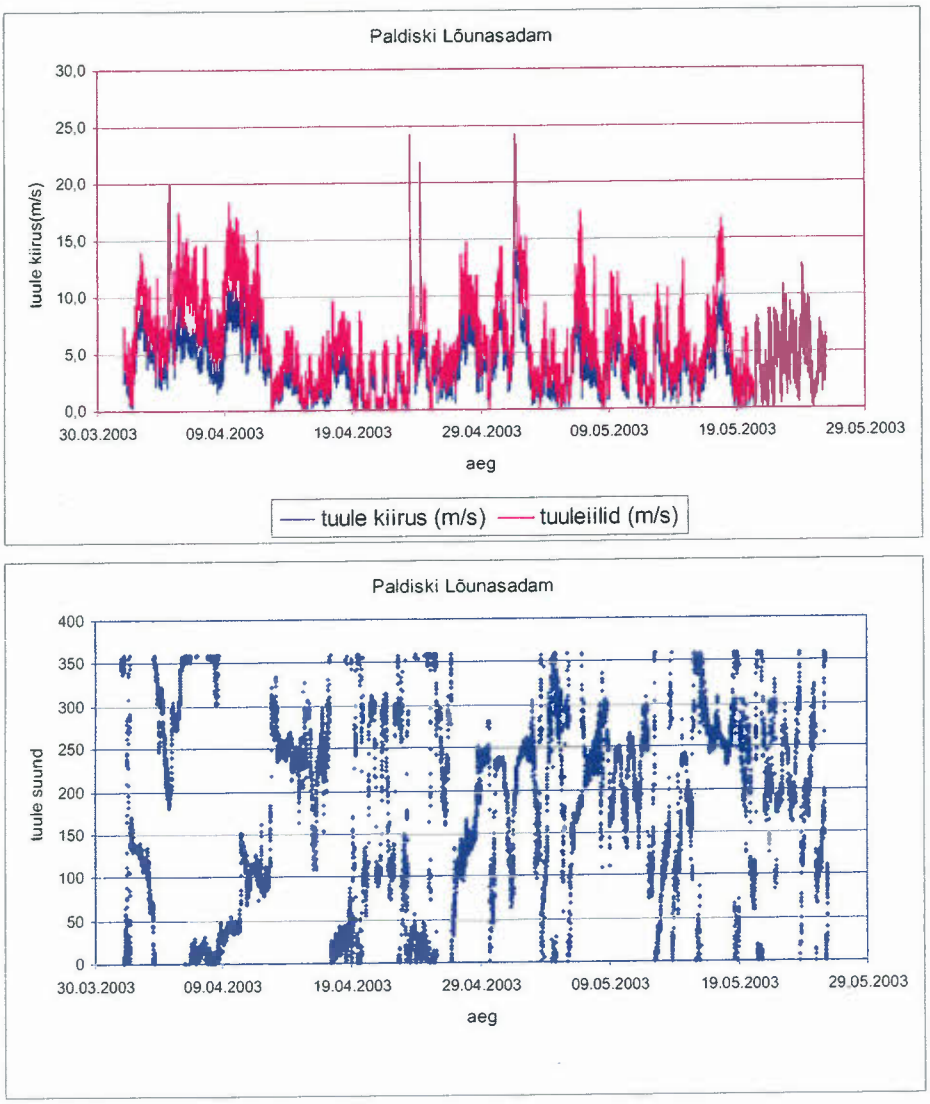


Joonis 1.12 Tuule kiirus, iilid ja suund Pakri lahel, süvendustööde III etapil

Foto 1.7 Õhuvaade Paldiski Lõunasadamale 02.märtsil 2003.a, süvendustööd on seiskunud madala õhutemperatuuri ja raskete jääolude tõttu (foto T.Kõuts)

1.4.4 IV etapi ilmaolud

Õhutemperatuuri tõus stabiilselt üle 0°C (Joonis 1.3) ja soodsamaks muutunud jääolud võimaldasid süvendustöödega jälle alustada aprilli alguses. Süvendustööde IV etapp tervikuna oli küllaltki tuuline, tihti oli tuul üle 10m/s, harvad polnud ka päevad mil tuule kiirus ületas 15m/s ja iiliti isegi 20m/s. Pikem tuuline periood, ligi nädal aega, oli kohe aprilli algusest sisuliselt kuni 11.aprillini, põhjakaarte tuul pöördus sel ajal küllalt ühtlaselt üle ida lõunakaartesse ja siis läände (Joonis 1.13). Suhteliselt vaiksemad tuuleolud valitsesid ajavahemikul 12. - 26.aprill, tuule kiirus 2 kuni 7m/s praktiliselt kõikidest suundadest, seejuures väljendusid hästi briisinähud – päeval meretuul öösel maatuul. Ajavahemikul 27.aprill kuni 07.mai oli tuul Pakri lahel väga kiire muutlikkusega. Kogu perioodi vältel tuule kiirus üldiselt kasvas kuni 12m/s, puhudes alguses lõunakaartest ja pöördudes seejärel üle lääne põhjakaartesse. Iilides ulatus tuule kiirus väga lühiajaliselt sel perioodil isegi 24m/s. Viimasel perioodil alates 08.maist olid tuuleolud küllaltki stabiilsed – tuul puhus põhiliselt lääne ja põhja vahelisest sektorist, vähemal määral ka muudest suundadest. Tuule kiirus oli mõõdukas 2 kuni
8m/s, iiliti siiski ka kuni 15m/s. Küllalt märgatav oli sel perioodil ka tuule kiiruse ööpäevane muutlikkus.



Joonis 1.13 Tuule kiirus, iilid ja suund Pakri lahel, süvendustööde IV etapil

2. Merevee optilised omadused ja läbipaistvus

Pakri lahel teostati süvendusperioodi vältel kokku 14 mõõdistust, ajavahemikul 16.september 2002.a kuni 28.mai 2003.a. Vee läbipaistvuse ja optiliste omaduste hindamiseks kasutati kolme põhimõtteliselt erinevat metoodikat: pinnamõõdistus fikseeritud punktides, mõõdistus läbivoolusüsteemiga ja satelliitseire. Järgnevalt anname ülevaate igast meetodist eraldi ja seiretulemustest süvendusperioodil.

2.1 Pinnamõõdistuste metoodika

Pinnamõõdistusega määrati mõõtejaamades (näidatud Joonisel 2.1) võetud veeproovidest hõljumi, klorofüll *a* ja lahustunud orgaanilise aine kontsentratsioonid (vastavalt mg/L, mg/m^3 ja mg/L) ning vee hägusus (m^{-1}). Laeva pardal mõõdeti vee suhteline läbipaistvus Secchi ketta (m) järgi. Allpool on toodud laboratoorsete tööde teostamise metoodika.

- *Vee hägusus spektrofotomeetrilise nõrgenemiskoefitsiendi ($c^*_{400\text{-}700}$ m^{-1}) järgi*

Suunatud kiirguse nõrgenemiskoefitsient ($c^*_{(400\text{-}700)}$) ehk spektrofotomeetriline nõrgenemiskoefitsent, mis on keskmistatud üle fotosünteetiliselt aktiivse kiirguse lainepikkuste vahemiku (400-700 nm), näitab vee üldist hägusust. Mõõtmised tehti spektrofotomeetriga Hitachi U1000. Kirjeldatud parameeter on mõjutatud nii süvenduse käigus ülestõstetud hõljumist kui ka fütoplanktoni hulgast vees. Seetõttu on oluline süvendustööde ajal hinnata nii hõljumi kontsentratsiooni kui ka klorofüll *a* hulka, mis iseloomustab otseselt fütoplanktoni arvukust.

- *Elusaine vees, klorofüll a kontsentratsioon (C_{chl} mg m^{-3})*

Klorofüll *a* kontsentratsioon (C_{chl}) määrati spektrofotomeetriliselt, nimetatud parameeter iseloomustab fütoplanktoni hulka vees. Klorofüll *a* kontsentratsiooni mõõtmiseks filtreeritakse veeproov läbi Whatman GF/C klaasist mikrofiiberfiltri (poori suurus 1.2μm), ekstraheeritakse pigmendid kuuma etanooliga (90%, 75°C) ja mõõdetakse kiirguse neeldumine lainepikkusel 665 nm (Lorenzeni meetod). Klorofüll *a* kontsentratsioon arvutatakse Lorenzen'i (1967) valemi järgi.

- *Koguhõljumi kontsentratsioon (C_S, mg/L)*

Koguhõljumi kontsentratsioon näitab vees suspenseerunud tahkete osakeste massi ruumalaühikus, mille määramiseks filtreeritakse koguselt võimalikult suur ja hästi segunenud veeproov läbi eelnevalt kaalutud Millipore'i filtri (poori suurus 0.45 μm). Seejärel kuivatatakse filter fikseeritud temperatuuril (103 – 105°C) konstantse kaaluni. Filtri kaalu suurenemine näitab koguhõljumi kontsentratsiooni (Cs) veeproovis. (Lindell et al 1999)

- *Lahustunud orgaanilise aine kontsentratsioon (C_y mg/L)*

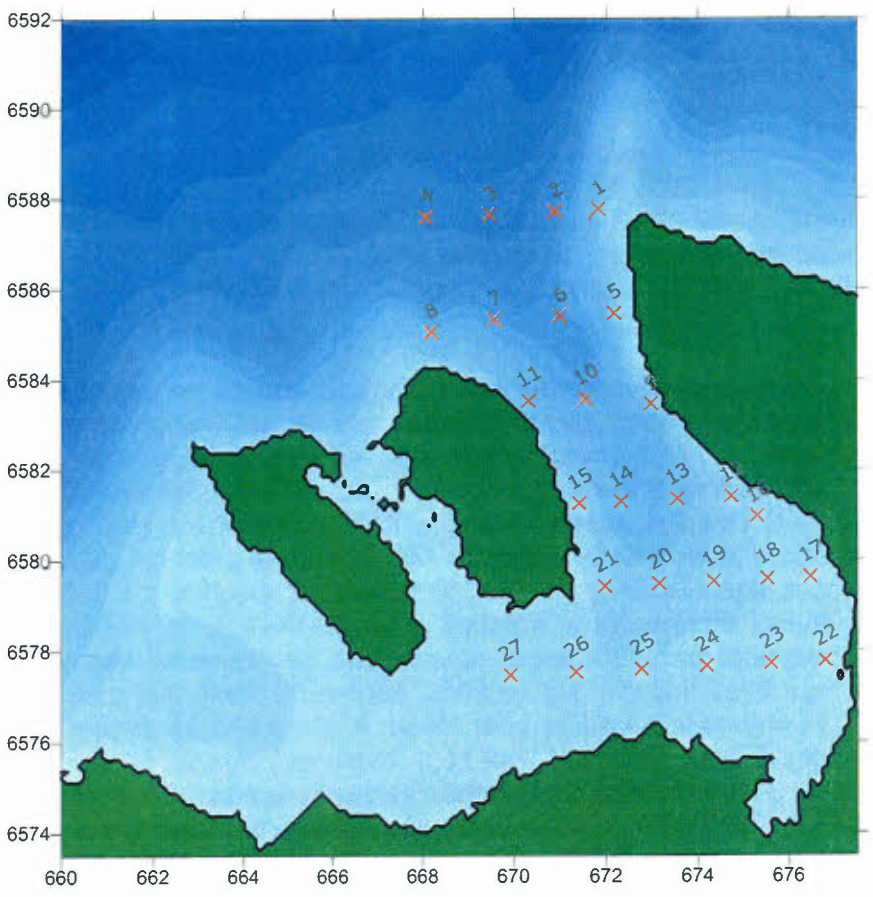
Lahustunud orgaanilise aine (C_y) ehk kollase aine "efektiivne" kontsentratsioon arvutatakse kasutades seost (Hojerslev, 1980):

$$a_y(\lambda) = a_y'(\lambda_0)C_y \exp[-S(\lambda - \lambda_0)],$$

kus λ_0 on eelnevalt filtreeritud veest spektrofotomeetriliselt mõõdetud neeldumine lainepikkusel 380 nm, $a_y^*(380)$ on erineeldumiskoefitsient, mille väärtuseks võeti 0.565 L $mg^{-1}m^{-1}$ (Hojerslev, 1980) ja S on kaldeparameeter, mille väärtus Pakri lahes on 0.017 nm^{-1} (Sipelgas et al. 2003). Spektrofotomeetriks oli antud juhul jällegi Hitachi U1000

- *Vee suhteline läbipaistvus – Secchi ketta nähtavussügavus (z_{SD}, m)*

Vee läbipaistvus mõõdetakse 40 cm-se läbimõõduga valge ketta (Secchi ketta) abil, mis lastakse vette laeva pardalt ja näit loetaks kui ketast enam silmaga näha ei ole. Secchi ketta nähtavussügavus on mõjutatud ilmastikuoludest (pilves või selge ilm, lainetus, jne.) ja nagu ka vee hägusus sõltub Secchi ketta näit nii süvenduse ajal ülestõstetud hõljumi kontsentratsioonist kui ka fütoplanktoni hulgast vees, tegemata neil kahel vahet.



Joonis 2.1 Mõõtejaamade võrk Pakri lahes, Paldiski Lõunasadama süvendusaegse seire ajal, sinise erinevad toonid esitavad Pakri lahe batümeetriat.

2.2 Pinnamõõdistuste tulemused

2.2.1 Vee suhteline läbipaistvus, Secchi ketta nähtavussügavus

Kokku mõõdeti süvendusperioodi vältel Secchi ketta näitu Pakri lahel 225 korral. Väikseim väärtus 0.2 meetrit mõõdeti 14.oktoobril Sadama akvatooriumis ja suurim näit 11 meetrit 17.detsembril jaamas 4. Secchi ketta muutlikkus süvendusperioodi jooksul jaamades 1, 4, 5, 7, 9, 11, 12, 15, 17, 20, 23, 25 ja Sadama akvatooriumis on toodud Joonisel 2.2. Kaardid Secchi ketta mõõtmistulemuste ruumilisest jaotusest mõõdistustel on toodud joonistel 2.3 - 2.12. Jooniselt 2.2 võib järeldada, et kogu süvendusperioodi jooksul oli väikseim vee läbipaistvus Sadama akvatooriumis ja jaamas 12, mis asub vahetult akvatooriumi läheduses. Parima läbipaistvusega jaamad 4, 7 ja 11, jäävad lahe suudme idapoolsesse serva.

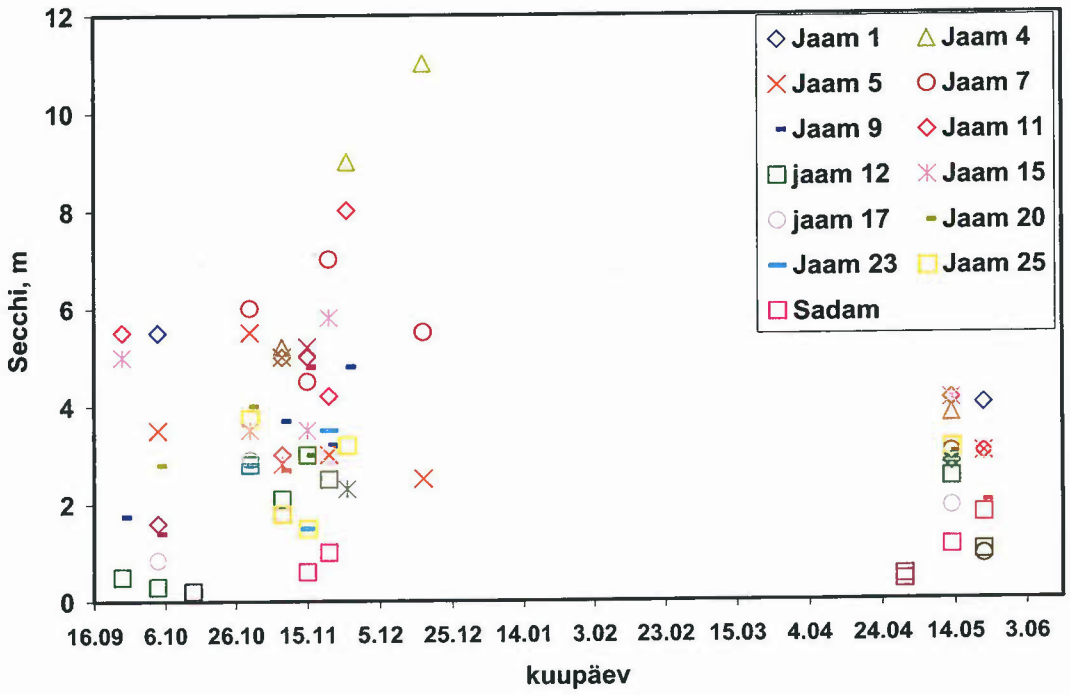
Esimese mõõdistuse ajal, 24.septembril varieerus vee läbipaistvus (Secchi ketta nähtavussügavus) 5.5 ja 0.5 meetri vahemikus, olles 5.5 meetrit avavee piirkonnas, lahest kaugel väljas, ning Pakri saare idaranniku lähistel. Madalaim Secchi ketta nähtavussügavuse väärtus mõõdeti sadamavärava läheduses, kus süvendustööd parajasti käisid (Joonis 2.3).

Teisel mõõdistusel, 4.oktoobril varieerus vee läbipaistvus 5.5 ja 0.3 meetri vahemikus, olles 5.5 meetrit avavee piirkonnas väljaspool Pakri lahte ning madalaim (0.3 meetrit) jällegi sadamaväravas. Secchi ketta nähtavussügavuse ruumiline jaotus teisel mõõdistusel on esitatud Joonisel 2.4.

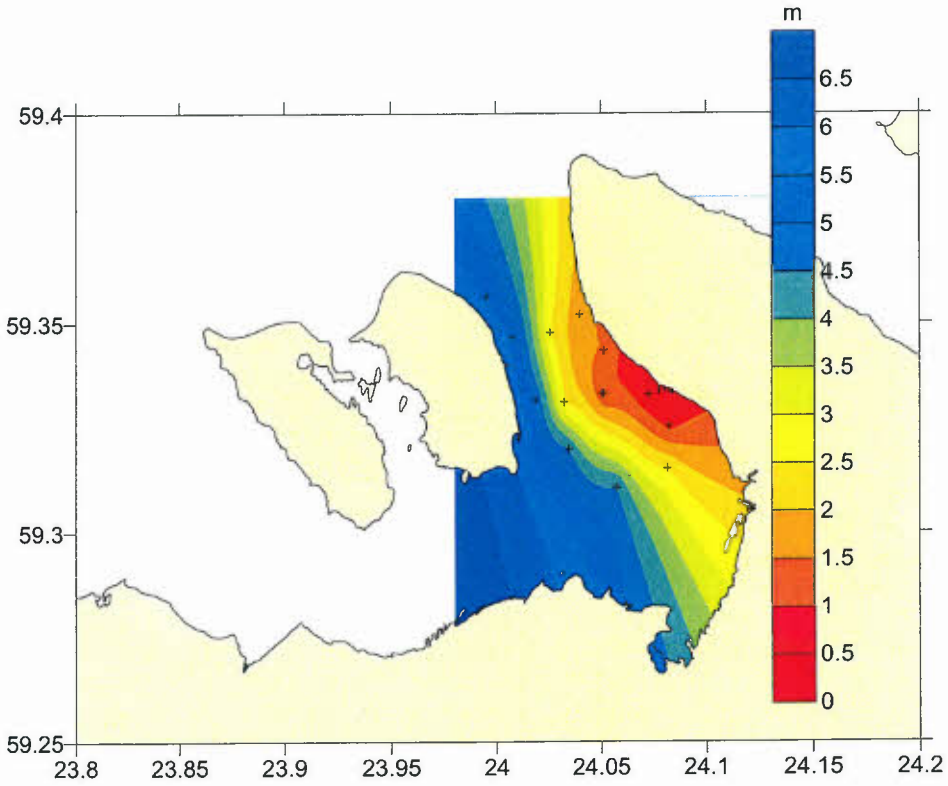
Väikseimad läbipaistvused mõõdetigi süvendustööde esimesel perioodil 16.septembrist kuni 18.oktoobrini 2002.a, mil süvendati kuu aja vältel 40% Paldiski Lõunasadama süvenduse kogumahust. Samas rakendati suure tootlikkusega lõikur-pump tehnoloogiat (süvendaja VOLVOX HOLLANDIA), kus päevased maksimaalsed süvendusmahud ulatusi isegi 47 800 m^3 /päevas ja kogu perioodi keskmine süvendusmaht oli samuti väga suur ehk 20 681 m^3 /päevas.

Järgneval, ligi kolmekuisel süvendusperioodil vee läbipaistvus mõnevõrra paranes, seda juba oktoobri teisel poolel, kui Secchi ketta nähtavussügavus sadama akvatooriumis süvendustööde vahetus läheduses oli 1.6 meetrit (Joonis 2.5) Novembri alguses püsis Secchi ketta nähtavaissügavus Sadama akvatooriumis vahemikus 0.8 - 1.2 meetrit (Joonised 2.6 ja 2.7) Viimane on hästi seletatav päevase keskmise süvendusmahu tunduva langusega, ligi kaks korda (10 363 m^3 /päevas) võrreldes esimese perioodiga, valdavalt rakendati sel perioodil mitmekopalisi süvendajaid. Viimasel mõõdistusel enne jää teket oli Secchi ketta nähtavussügavus Sadama akvatooriumis kasvanud 3 meetrini (Joonis 2.9). Uuesti kahanes vee läbipaistvus järsult kevadise töödeperioodi alguses, ajavahemikul 03.aprillist kuni 30.aprillini 2003.a, kui Secchi ketta nähtavussügavus sadama akvatooriumis oli jällegi alla 1 meetri ning püsis sellel tasemel kahel järgneval mõõdistusel 13.mail ja 22.mail (Joonised 2.11 ja 2.12). Kuigi kevadperioodi süvenduse intensiivsus ei olnud kuigi kõrge võrreldes sügisesega, keskmiselt 4 704 m^3 /päevas ja maksimaalsed süvenduse päevakogused ulatusid 9 169 m^3, oli vee suhtelise läbipaistvuse vähenemine oluline. Põhjus peitub siin asjaolus, et süvendati küllalt peenefraktsioonilist materjali, kohati isegi hõljuvas olekus muda ja mölli sadama akvatooriumist, mis vette sattudes püsib seal suhteliselt kaua. Kevadel on selline vee läbipaistvuse vähenemine olulise keskkonnamõjuga tegur, sest Pari lahes oli kalade kudemisperiood. Halb vee läbipaistvus ja sellega kaasnev kõrge hõljumi kontsentratsioon vees võivad kaasa tuua kalalarvide hävimise kui nendele sadeneb hõljum.

Viimasel mõõdistusel 28.mail 2003.a oli vee läbipaistvus sadama akvatooriumis kasvanud jällegi 1.9 meetrini, kuid Pakri lahe avaosas oli sel ajal vee läbipaistvus juba 6.5 meetrit, mis oleks selle perioodi looduslik seisund.

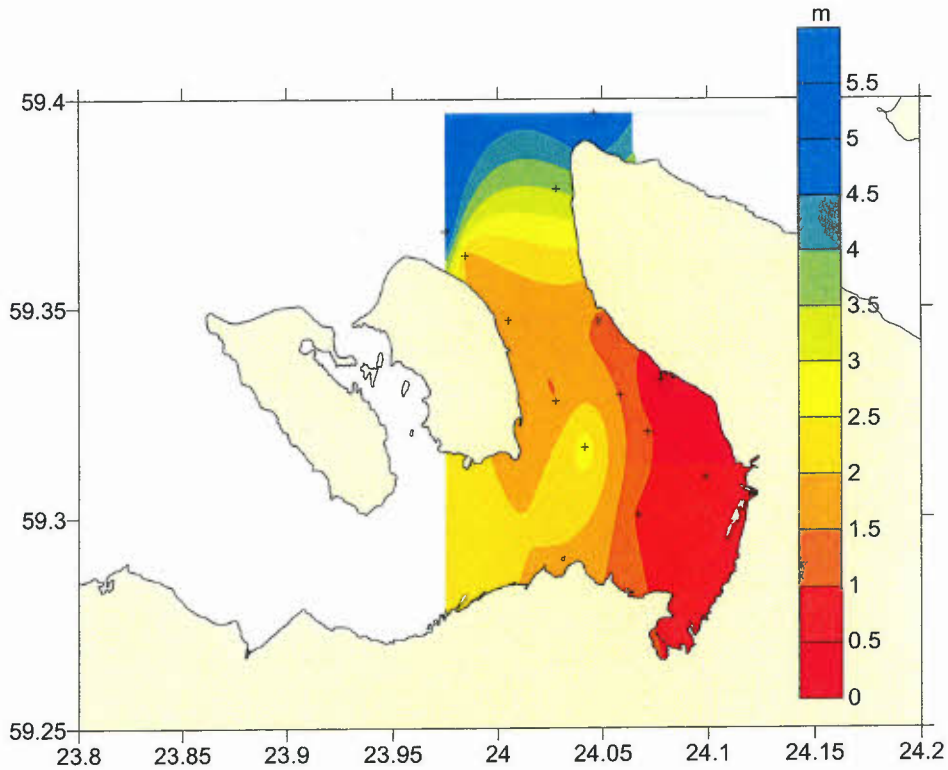


Joonis 2.2 Secchi ketta nähtavussügavuse (m) muutlikkus süvendusperioodil



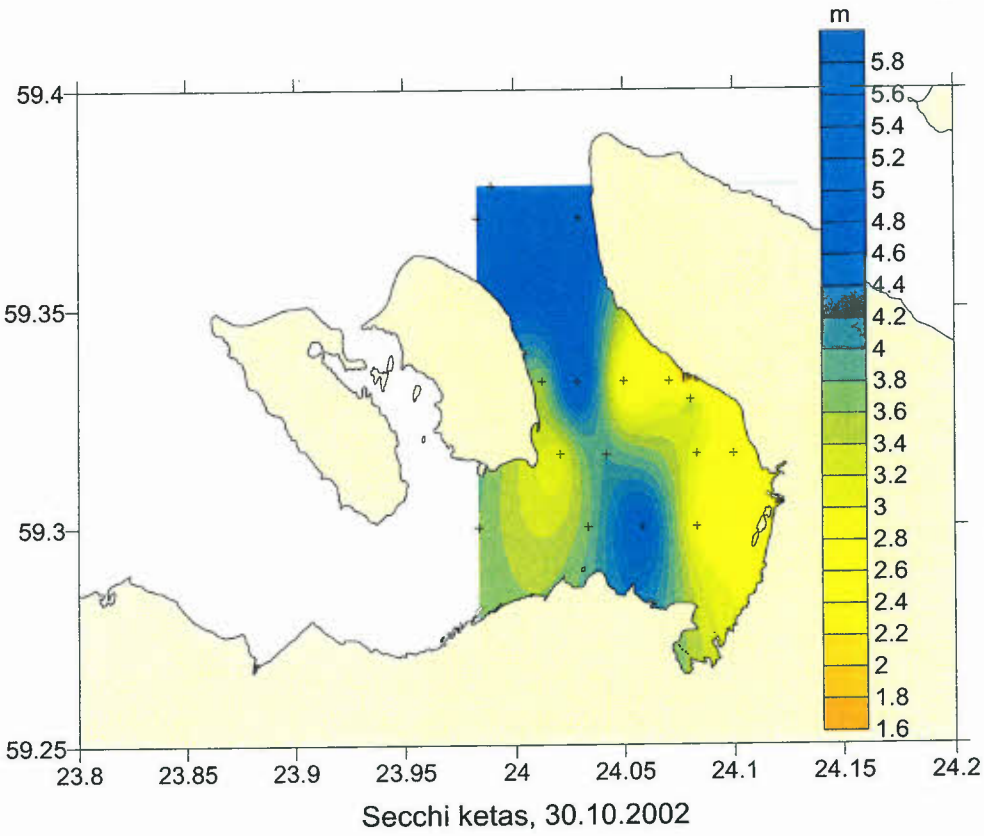
Secchi ketas, 24.09.2002

Joonis 2.3 Secchi ketta nähtavussügavuse (m) ruumiline muutlikkus Pakri lahes 24.septembril 2002.a

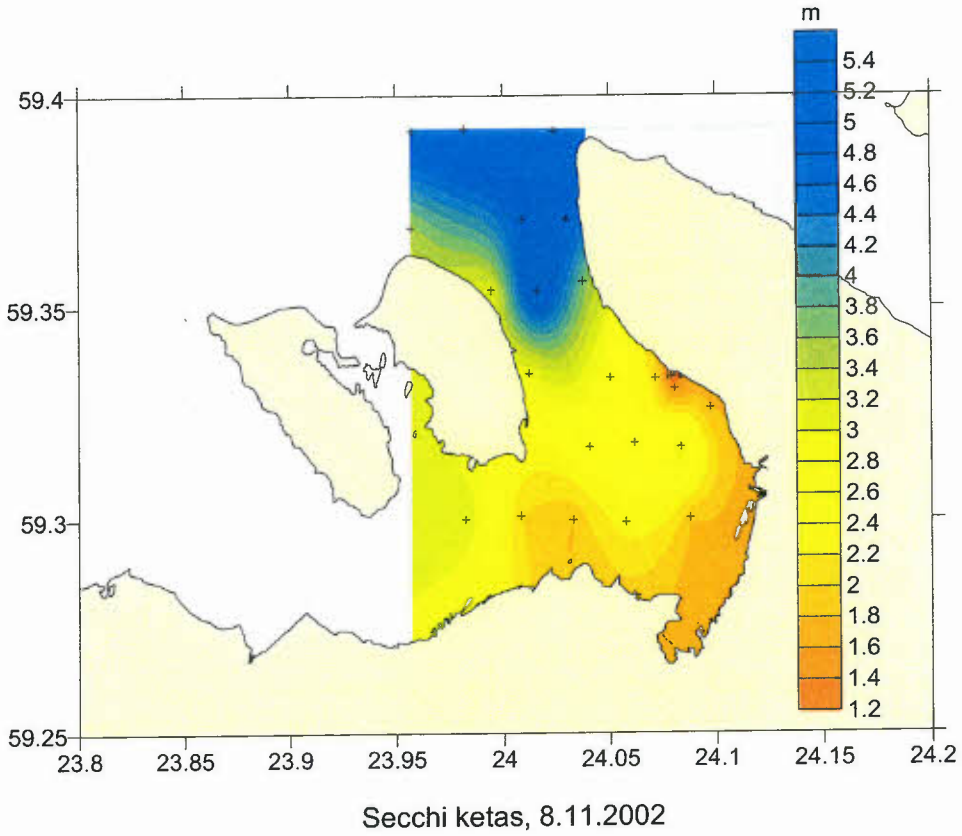


Secchi ketas, 04.10.2002

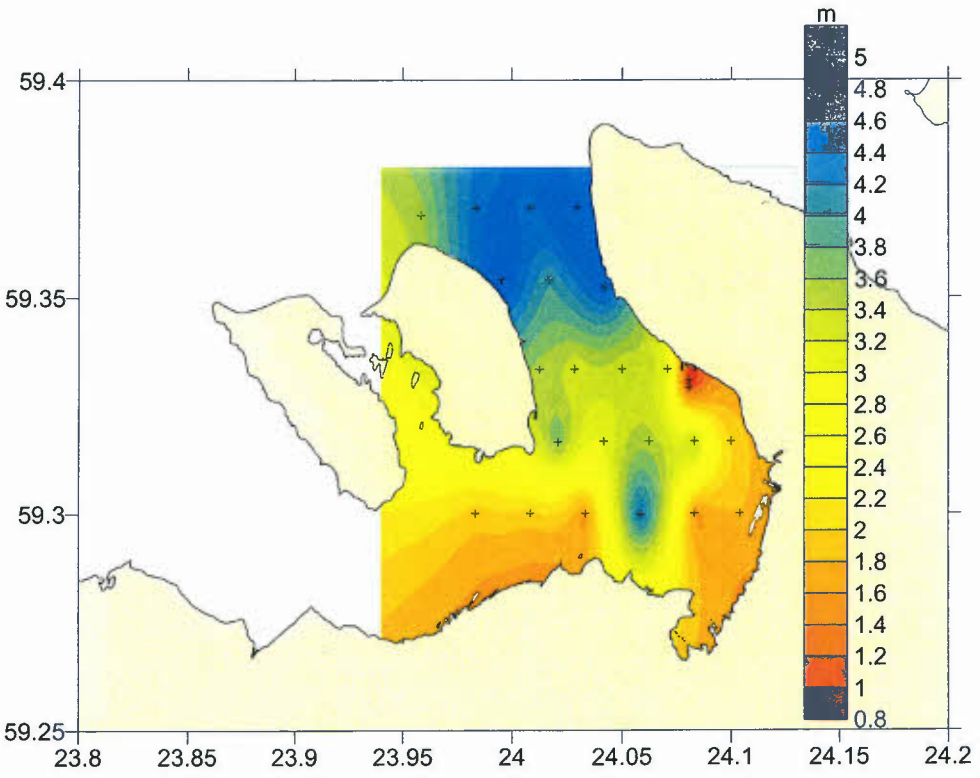
Joonis 2.4 Secchi ketta nähtavussügavuse (m) ruumiline muutlikkus Pakri lahes 04.oktoobril 2002.a



Joonis 2.5 Secchi ketta nähtavussügavuse (m) ruumiline muutlikkus Pakri lahes 30.oktoobril 2002.a

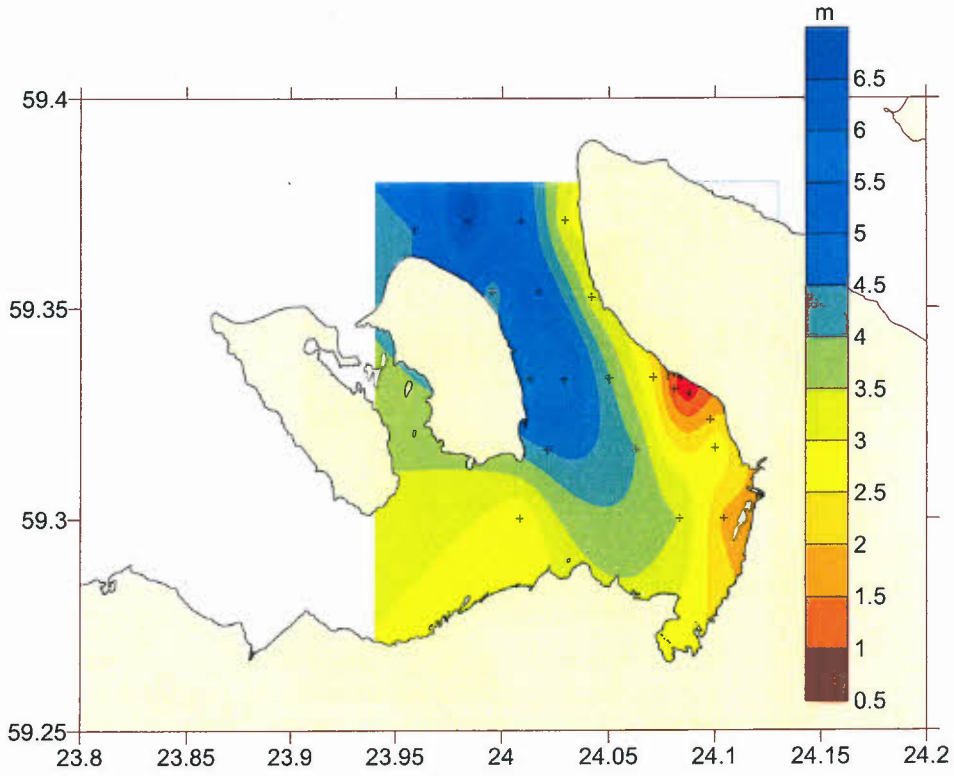


Joonis 2.6 Secchi ketta nähtavussügavuse (m) ruumiline muutlikkus Pakri lahes 08.novembril 2002.a



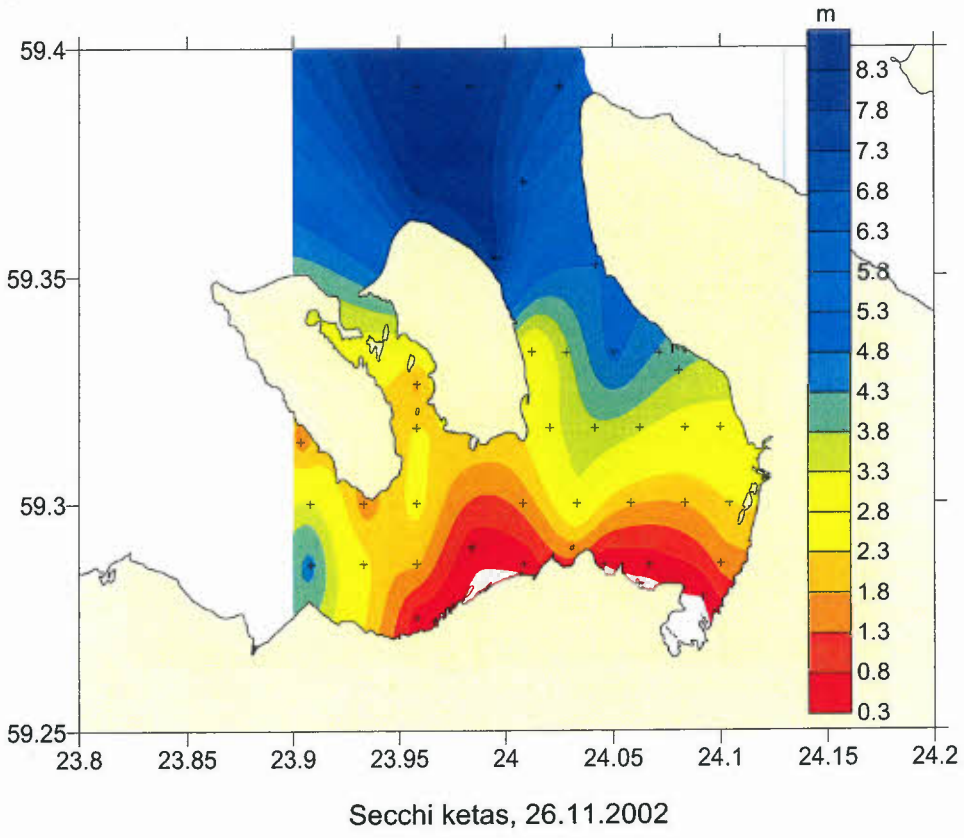
Secchi ketas, 15.11.2002

Joonis 2.7 Secchi ketta nähtavussügavuse (m) ruumiline muutlikkus Pakri lahes 15.novembril 2002.a

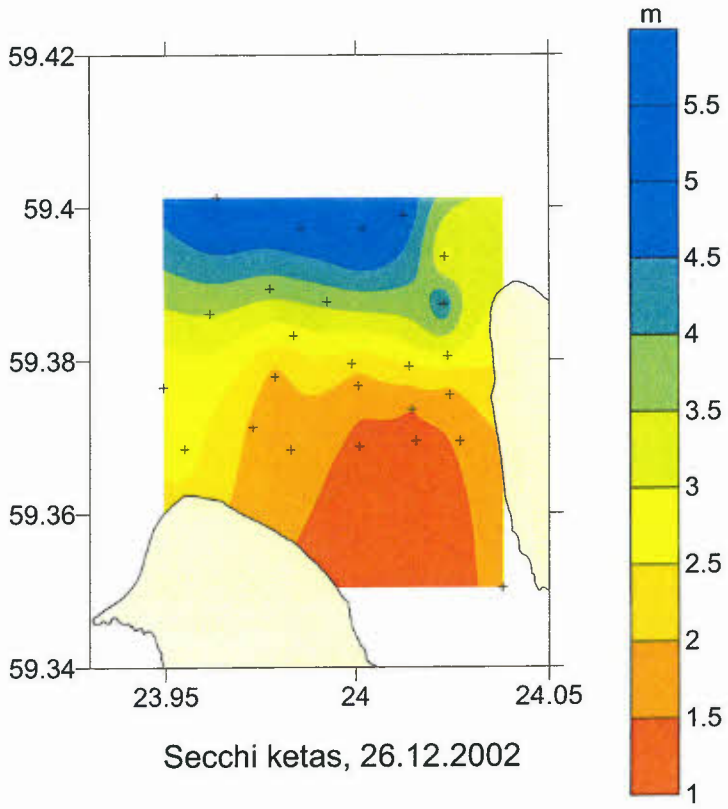


Secchi ketas, 21.11.2002

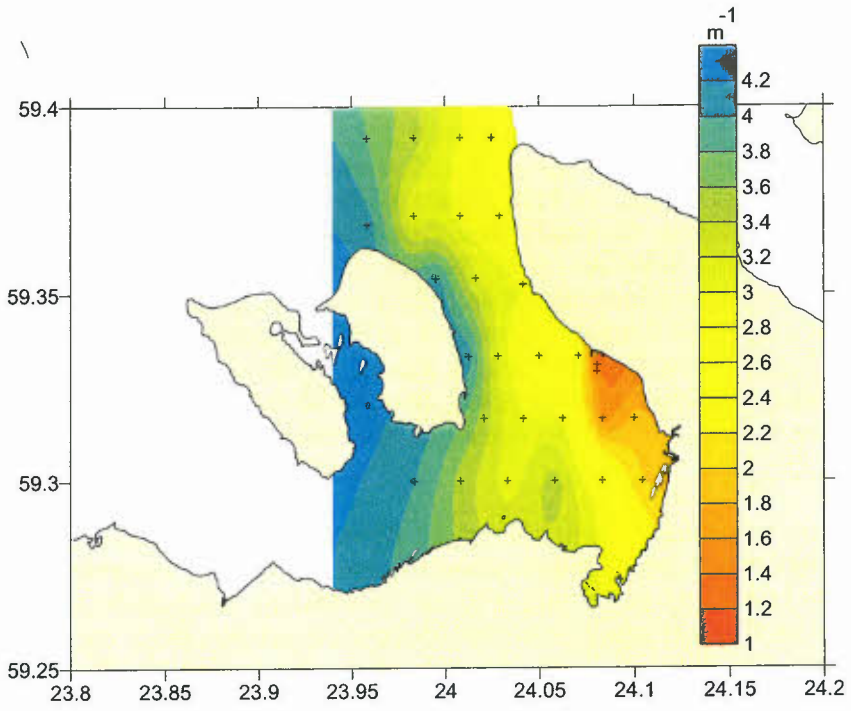
Joonis 2.8 Secchi ketta nähtavussügavuse (m) ruumiline muutlikkus Pakri lahes 21.novembril 2002.a



Joonis 2.9 Secchi ketta nähtavussügavuse (m) ruumiline muutlikkus Pakri lahes 26.novembril 2002.a

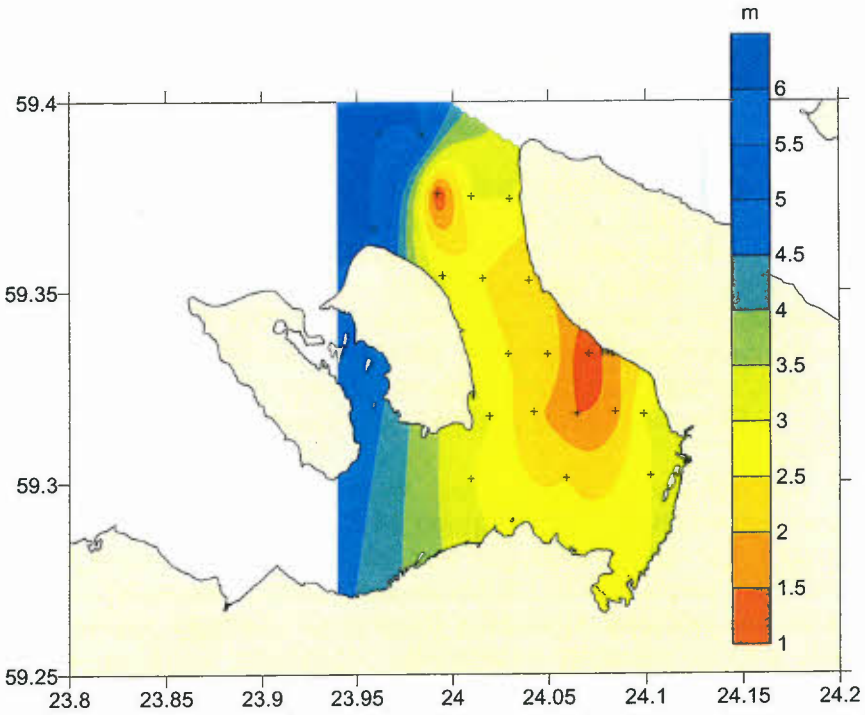


Joonis 2.10 Secchi ketta nähtavussügavuse (m) ruumiline muutlikkus Pakri lahes 26.detsembril 2002.a



Secchi ketas 13.05.2003

Joonis 2.11 Secchi ketta nähtavussügavuse (m) ruumiline muutlikkus Pakri lahes 13.mail 2003.a



Secchi ketas, 22.05.2003

Joonis 2.12 Secchi ketta nähtavussügavuse (m) ruumiline muutlikkus Pakri lahes 22.mail 2002.a

2.2.2 Vee hägusus

Merevee hägusust Pakri lahe erinevatest osadest võetud veeproovides määrati laboratoorse spektrofotomeetri abil kogu süvendusperioodil kokku 263-st proovist. Kõige hägusem oli vesi 4.oktoobril Jaamas 12, mis on vahetult Paldiski Lõunasadama akvatooriumi läheduses, vee hägususeks saadi 29.84 m^{-1}. Selgeim oli vesi 17. detsembril jaamas 4, kui vee hägusus oli vaid 0.26 m^{-1}. Vee hägususe ajaline muutlikkus jaamades 1, 4, 5, 7, 9, 11, 12, 15, 17, 20, 23, 25 ning sadama akvatooriumis läbi kogu süvendusperioodi on esitatud Joonisel 2.13. Vee hägususe horisontaalse jaotuse kaardid erinevate mõõdistuste andmete põhjal on toodud Joonistel 2.16 - 2.26. Need kaardid on heas vastavuses hõljumi kontsentratsiooni kaartidega. Merevee hägususe kõrgeimaid väärtusi mõõdeti sadamavärava läheduses. Liikudes lahe lõunaosa suunas, jäi hägusus enamasti küllaltki kõrgeks, mis tähendab, et valdav osa vette paisatud settematerjalist oli liikunud sellesse madalasse laheossa.

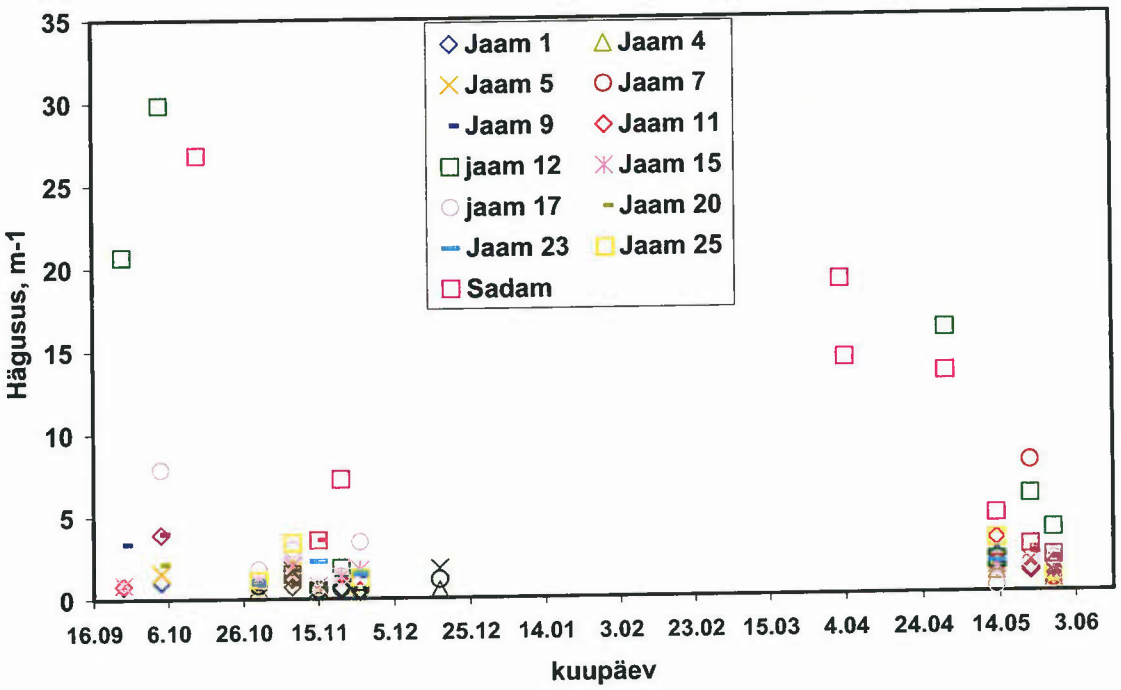
Jooniselt 2.13 eralduvad selgelt jaamad 12 ja Sadama akvatoorium kus vee hägusus kogu süvendusperioodi jooksul on olnud maksimaalne võrreldes teiste jaamadega. Ka hägususe absoluutväärtuse muutlikkus nendes jaamades on olnud suurim. See on seoses süvenduse mahu ja ka süvenduse tehnoloogiaga, mida kasutati. Süvenduse esimesel perioodil 16.septembril - 18.oktoobril, kui kasutati süvendajat VOLVOX HOLLANDIA, mis töötab lõikur-pump tehnoloogiaga ja hõljumit paisatakse veesambasse nii pinnase lõikamisel merepõhjast kui mahutist ülevoolamisel. Pumbad transpordivad mahutisse setete kõiki fraktsioone, ka peenemaid mis ülevooluga eriti intensiivselt veesambasse hõljuma pääsevad. Vee hägusus esimesel süvendusperioodil oli ligi kolm korda suurem kui peale 14.oktoobrit, mil lõikur-pump tehnoloogiat enam ei kasutatud, tõsi küll ka päevased süvendusmahud langesid märgatavalt.

Süvendustööde teisel perioodil vee hägusus hakkas kohe langema ja püsis enam vähem ühtlasel tasemel kuni jää tekkimiseni jäädes vahemikku 3.4 - 5.5 m^{-1} (Joonised 2.18 - 2.23), ka süvendustööde intensiivsus oli sel ajal küllalt stabiilne.

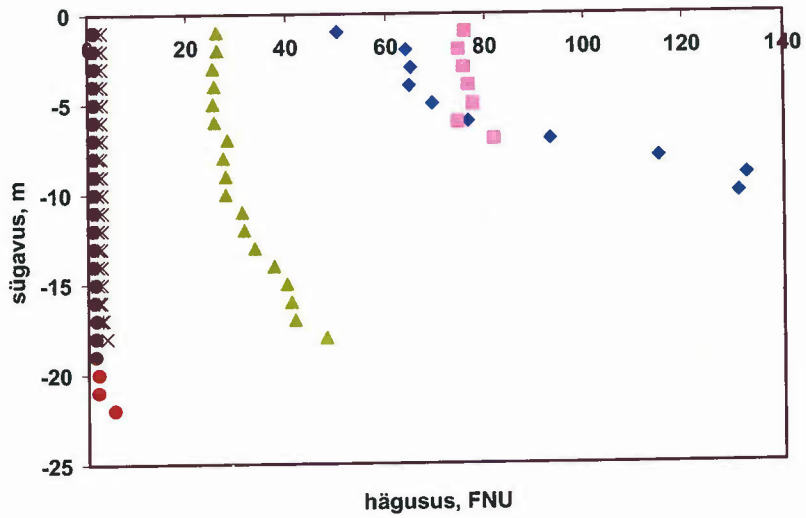
Uuesti on märgata olulist hägususe tõusu ajavahemikul 3.aprillist kuni 30.aprillini, sel ajaperioodil süvendusmahud küll väga suured ei ole, kuid vee hägusus on oluliselt mõjutatud. Hägususe ruumilise jaotuse kaartidelt näha, et vee hägusus on kõikidel mõõdistustel olnud suurim just Pakri lahe idapoolsel rannikul. Puistekohas pole selle süvendusperioodi alguses olulist hägususe tõusu märgata, kuid 22.mail on Jaamas 7, kus eelnevatel mõõdistustel oli suhteliselt selge vesi, mõõdetud keskmisest kõrgem hägusus 7.5 m^{-1} (Joonis 2.25). Seletus on antud juhul asjaolus, et Jaam 7 asub vahetult puistekohas ja veeproov on võetud vahetult peale puiste toimumist.

30.aprillil toimunud mõõdistuse raames teostati ka vee hägususe vertikaaljaotuse mõõtmist viies jaamas. Jooniselt 2.14 on näha, et hägususel on oluline vertikaalne muutlikkus vaid sadama akvatooriumis, kus hägusus kasvas kolm korda 10 meetriga, teistes jaamades hägususe vertikaalselt struktuuri ei täheldatud. Sadama akvatooriumi võib antud kontekstis käsitleda ka hõljumi allikana ja seetõttu seal eristuv vertikaalne hõljumi jaotuse struktuur vaadeldav allikasisese protsessina. Ka 2001.a teostatud süvendusaegne seire (TÜ Eesti Mereinstituut, 2001) näitas et hõljumi dünaamika süvendustööde ajal on Paldiski Lõunasadama akvatoorimis erinev olukorrast lahes, kusjuures nimetatud töö raames saadi et just läbi sadama värava toimuval veevahetusel on oluline roll hõljumi allikafunktsioonina, sel ajal toimusid süvendustööd sadama akvatooriumis sees.
Joonisel 2.15 on esitatud vee hägususe ajalist muutlikkust Paldiski Lõunasadama akvatooriumis ööpäeva vältel. Hägususe muutused ulatuvad kohati kolmekordseks, küllalt lühikese aja jooksul, enamasti on muutused siiski 50% piires. Sadama

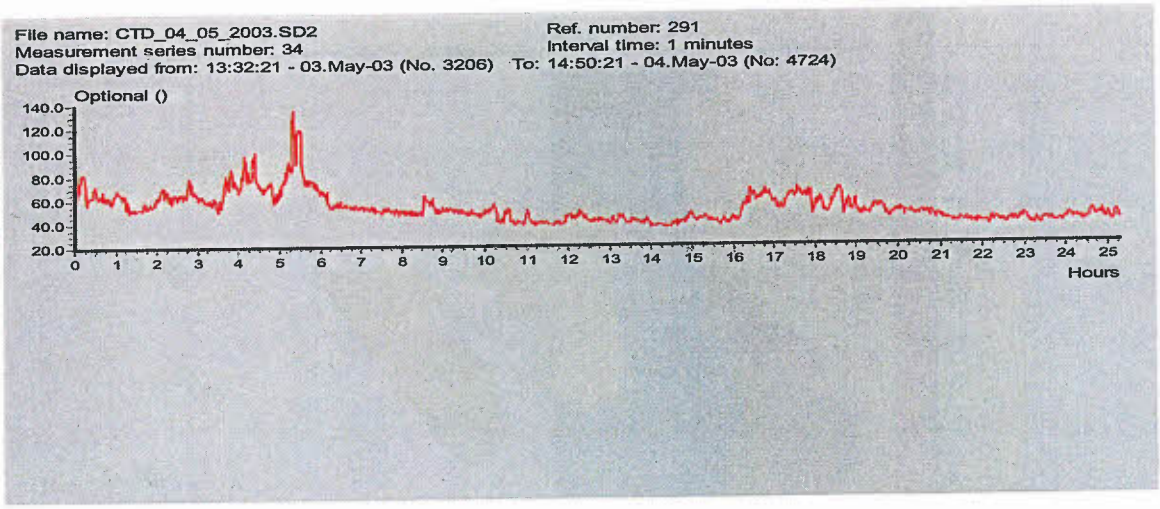
akvatooriumi vee hõljumisisaldus on teatatavas mõttes allikafunktsiooniks kogu lahe hõljumi dünaamikale, nii kiired muutused siiski ei ole jälgitavad terves lahes vaid ainult sadama lähemas ümbruses, samas on sellise dünaamikaga tarvis arvestada hõljumi leviku mudelarvutustes.



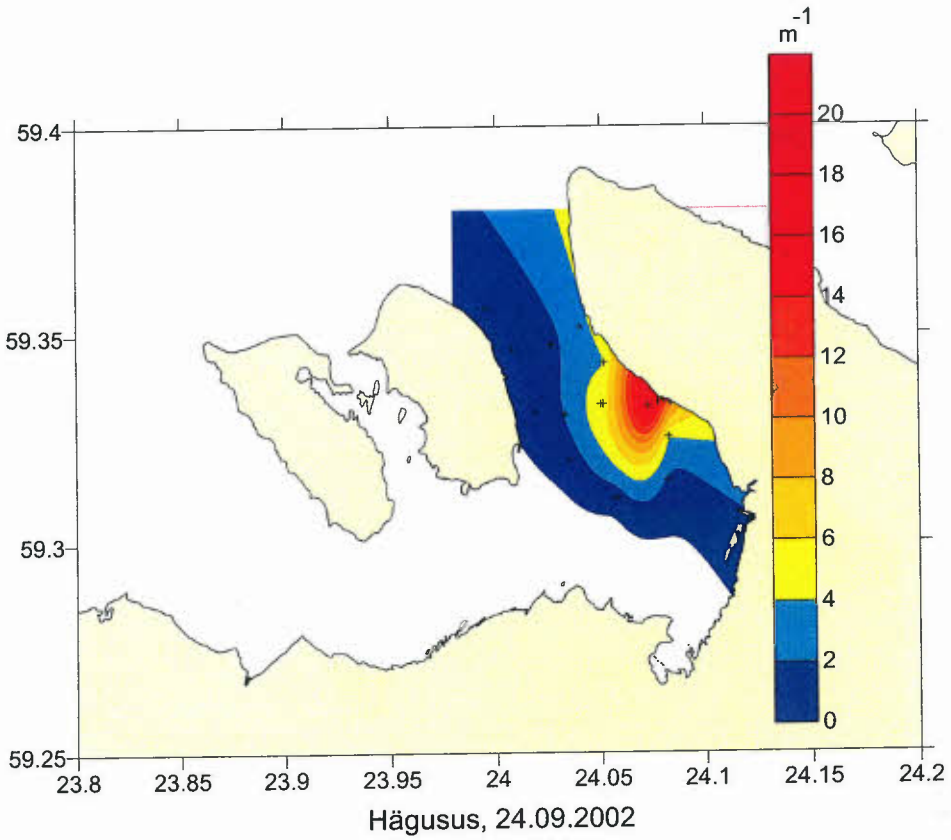
Joonis 2.13 Hägususe muutlikkus mõõtejaamades



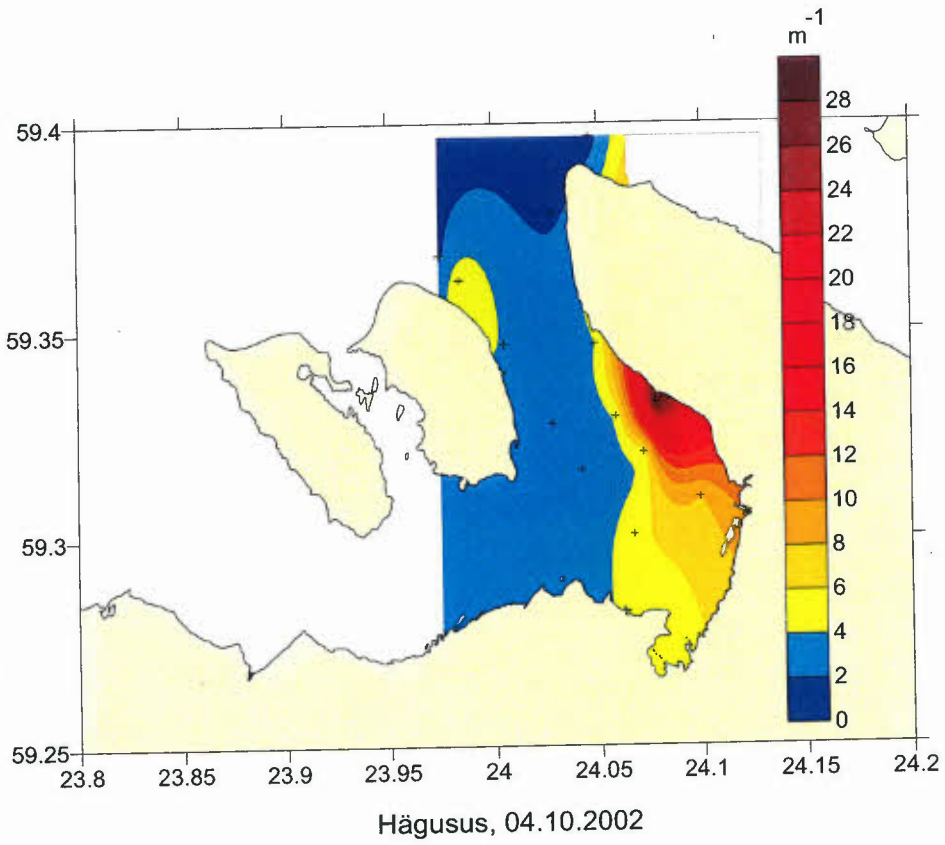
Joonis 2.14 Hägususe vertikaalne muutlikkus 30.aprillil 2003.a jaamades Sadam (sinised rombid); Jaam12 (roosad ruudud); Jaam 13 (rohelised kolmnurgad); Jaam14 (pruunid ringis).



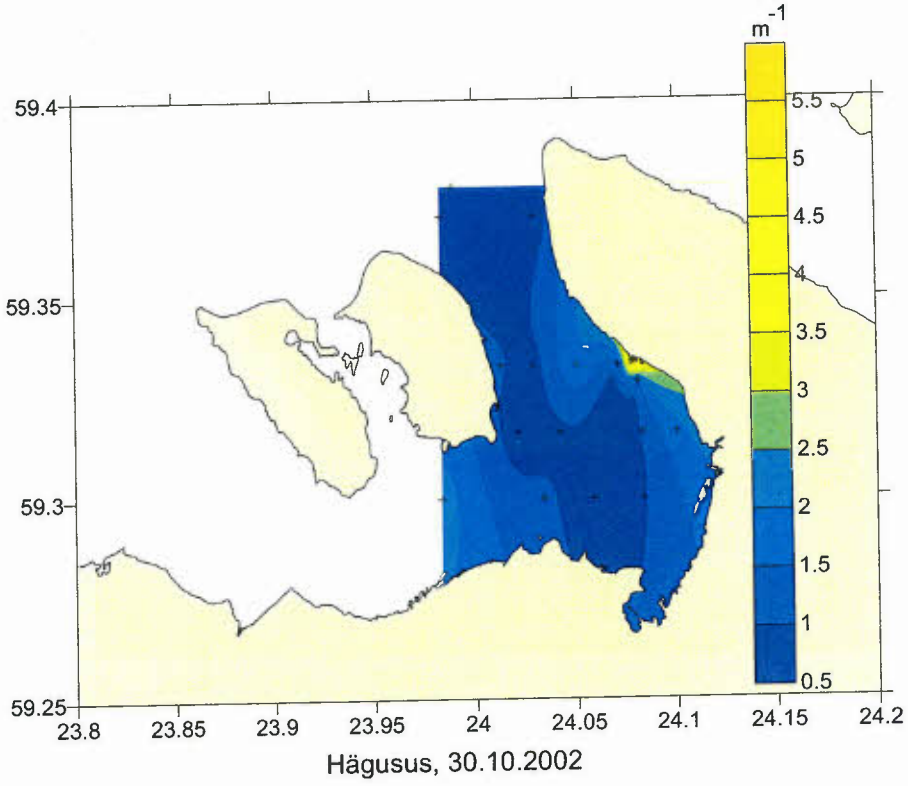
Joonis 2.15 Merevee hägususe (FNU) ajaline muutlikkus Paldiski Lõunasadama akvatooriumis ca 3m sügavusel, ööpäeva vältel, 3. - 4.mail 2003



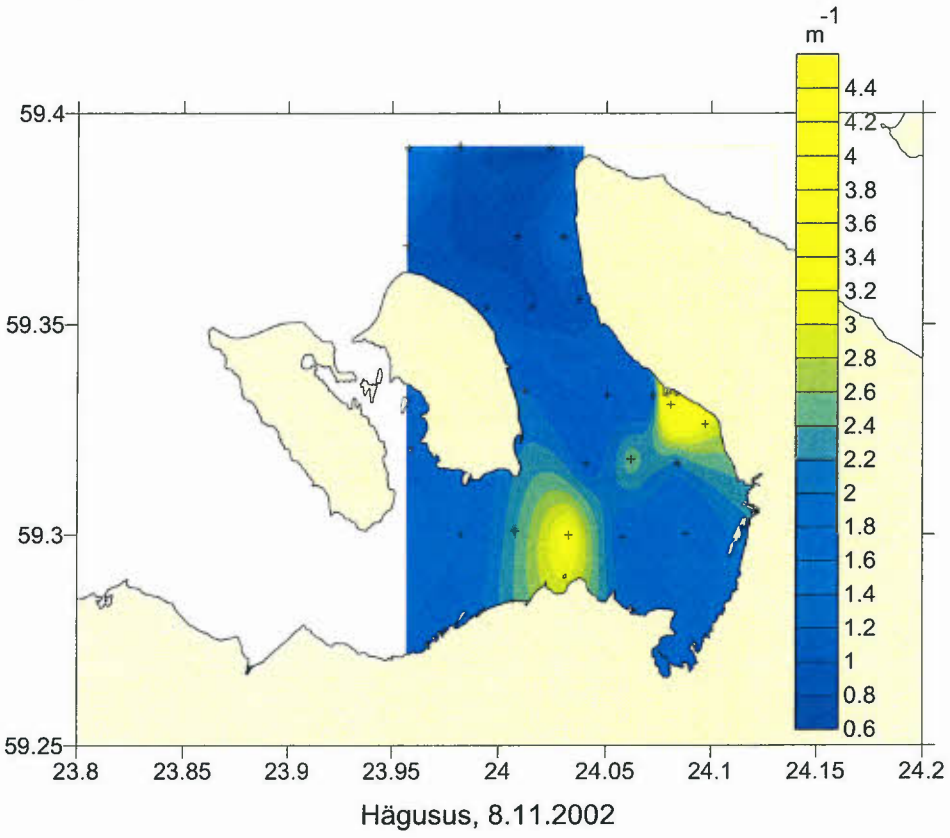
Joonis 2.16 Vee hägususe ruumiline muutlikkus Pakri lahes 24.septembril 2002.a



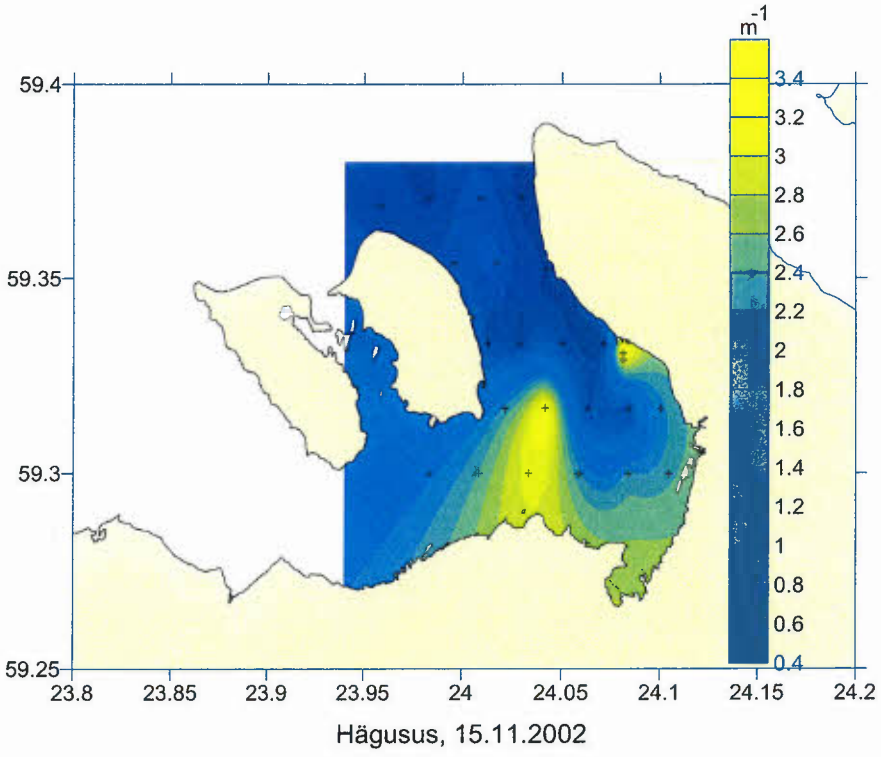
Joonis 2.17 Vee hägususe ruumiline muutlikkus Pakri lahes 04.oktoobril 2002.a



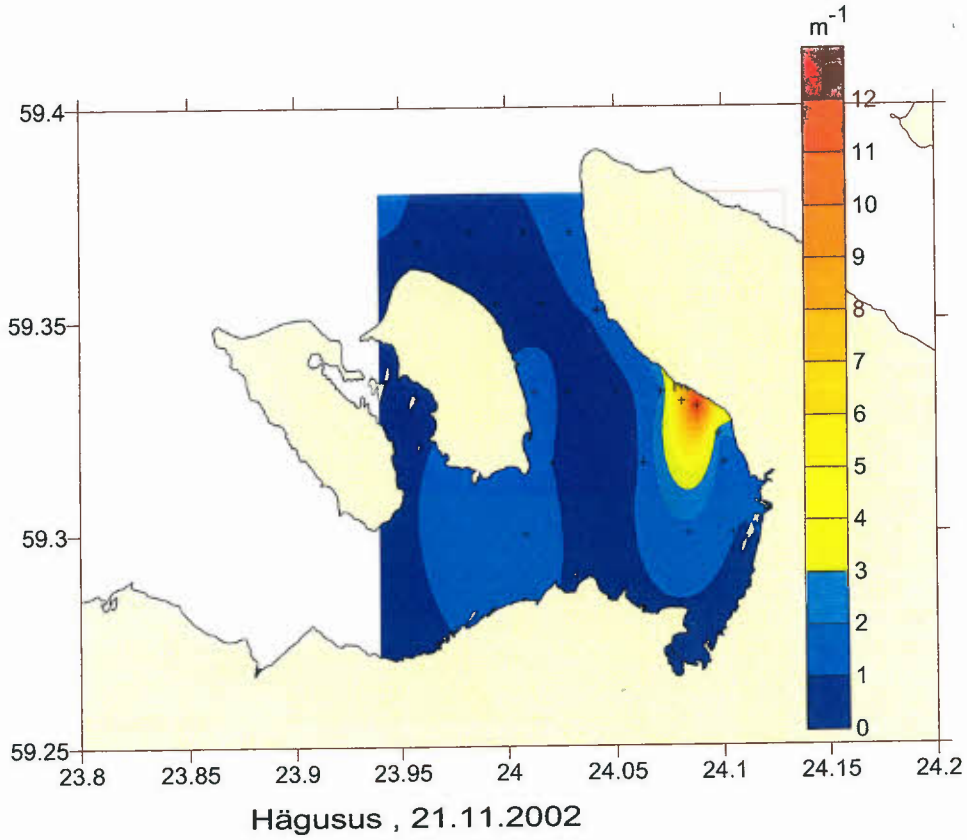
Joonis 2.18 Vee hägususe ruumiline muutlikkus Pakri lahes 30.oktoobril 2002.a



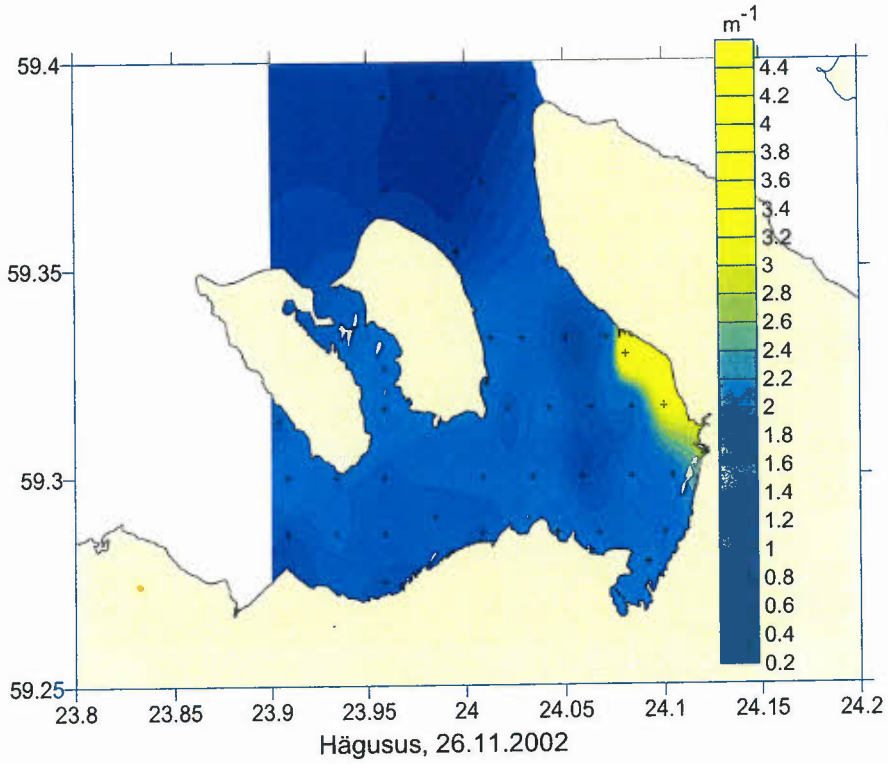
Joonis 2.19 Vee hägususe ruumiline muutlikkus Pakri lahes 8.novembril 2002.a



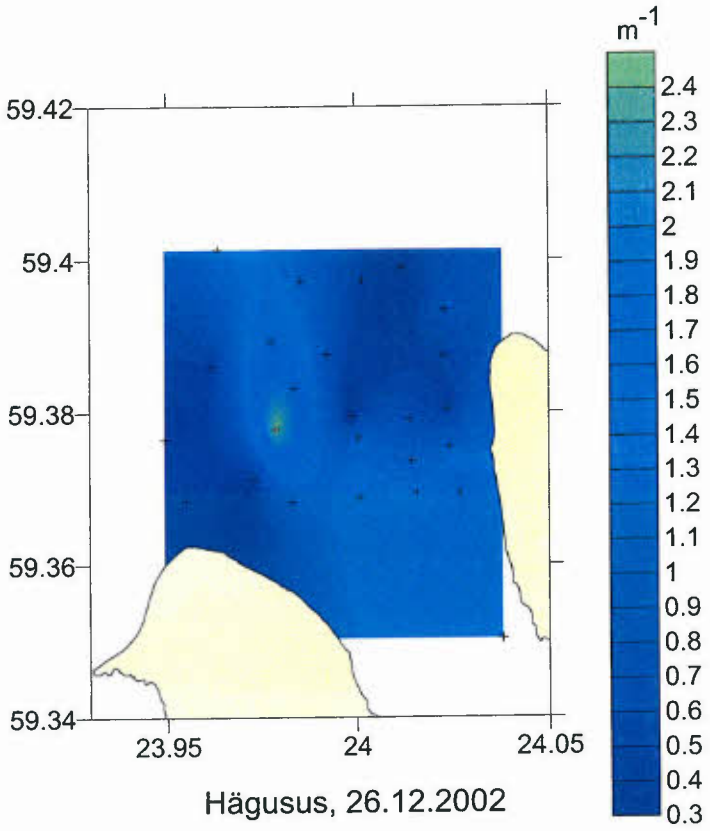
Joonis 2.20 Vee hägususe ruumiline muutlikkus Pakri lahes 15.novembril 2002.a



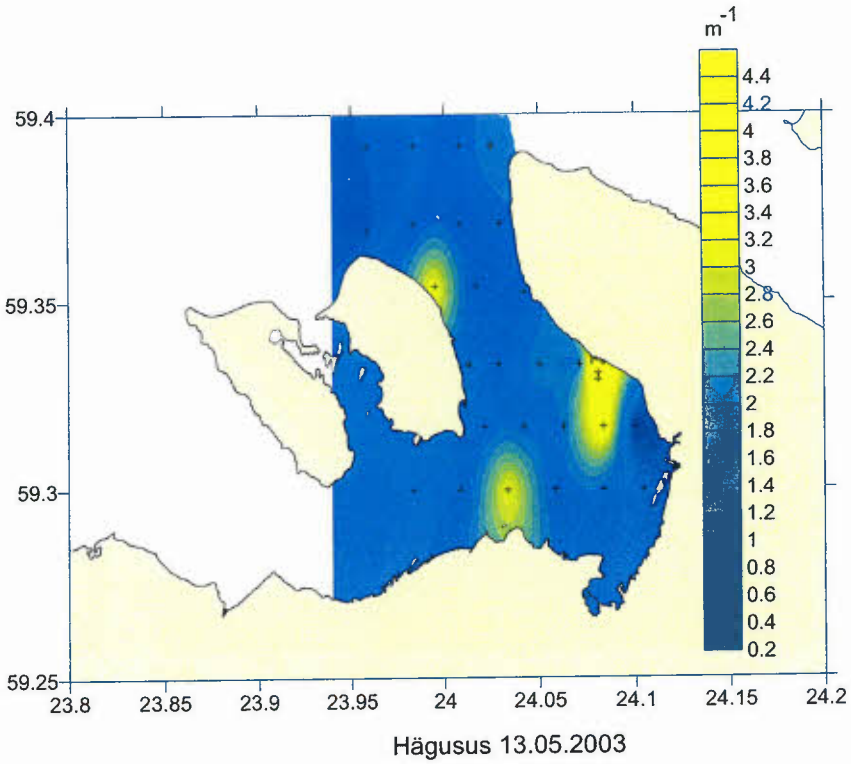
Joonis 2.21 Vee hägususe ruumiline muutlikkus Pakri lahes 21.novembril 2002.a



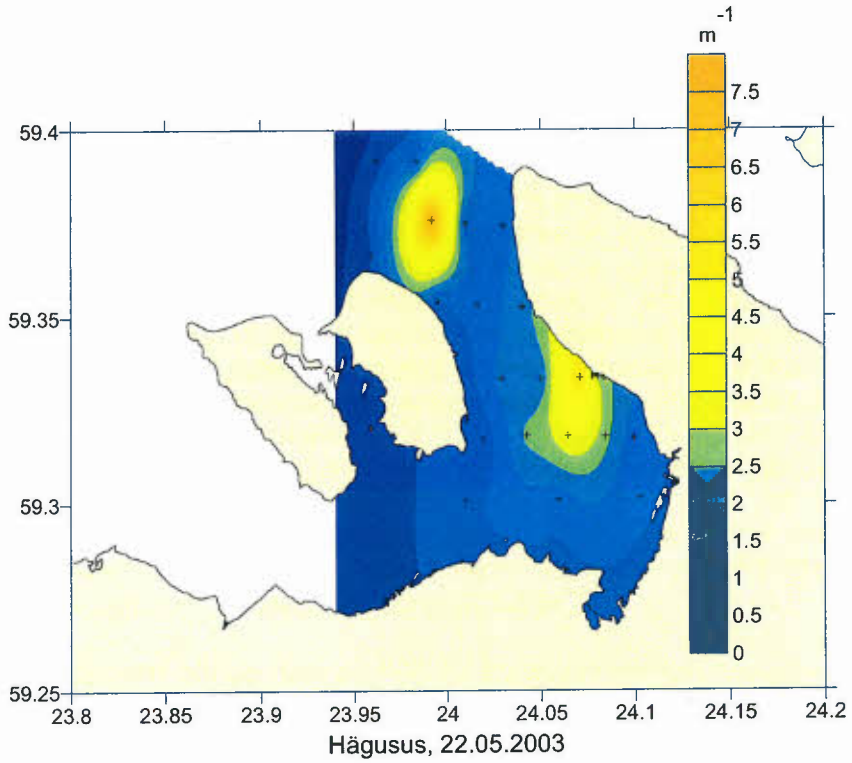
Joonis 2.22 Vee hägususe ruumiline muutlikkus Pakri lahes 26.novembril 2002.a



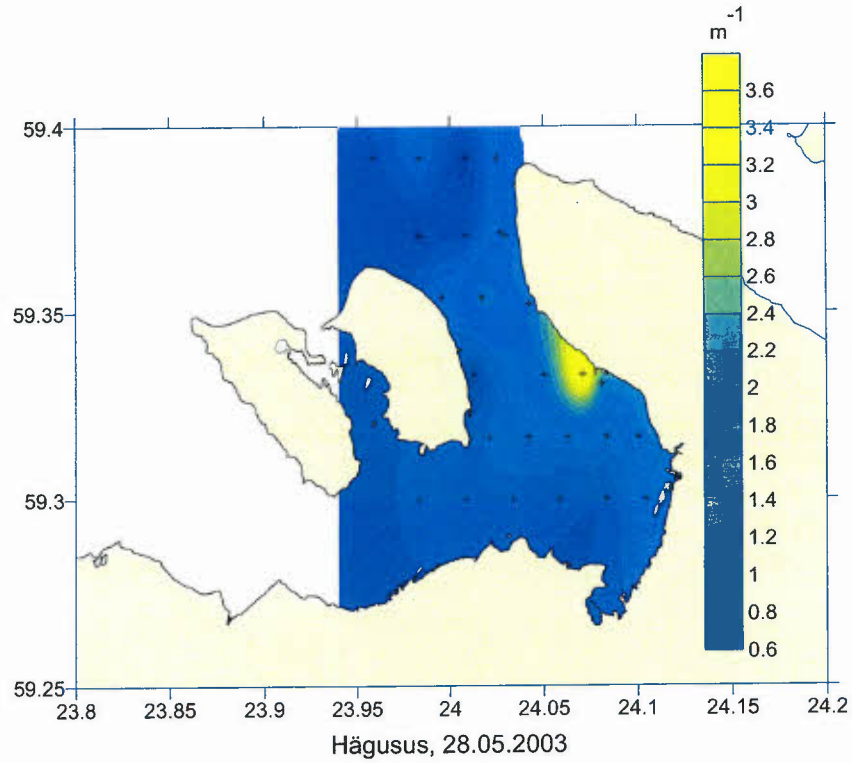
Joonis 2.23 Vee hägususe ruumiline muutlikkus Pakri lahes 26.detsembril 2002.a



Joonis 2.24 Vee hägususe ruumiline muutlikkus Pakri lahes 13.mail 2003.a



Joonis 2.25 Vee hägususe ruumiline muutlikkus Pakri lahes 22.mail 2003.a



Joonis 2.26 Vee hägususe ruumiline muutlikkus Pakri lahes 28.mail 2003.a

2.2.3 Hõljumi kontsentratsioon

Hõljumi kontsentratsioone määrati süvendusperioodi vältel kokku 263-st veeproovist, maksimaalne väärtus 92 mg/L mõõdeti 24.septembril jaamast 12, mis asub vahetult sadamavärava läheduses ja minimaalne väärtus 2.1 mg/L 26.novembril jaamast 3 võetud veeproovist. Hõljumi kontsentratsiooni ajaline muutlikkus jaamades 1, 4, 5, 7, 9, 11, 12, 15, 17, 20, 23, 25 ning Sadama akvatooriumis on toodud Joonisel 2.27. Kaardid hõljumi kontsentratsiooni ruumilise muutlikkuse kohta on toodud Joonistel 2.28 - 2.38. Hõljumi kontsentratsiooni absoluutväärtuste muutlikkus on olnud suurim sadama akvatooriumis ja jaamades 12 ja 17. Ajaline käik on sarnane hägususe muutlikkusega, kus suurimad väärtused registreeriti ajavahemikul 16.septembrist kuni 14.oktoobrini. Hõljumi kontsentratsiooni horisontaalne jaotus Pakri lahes 24.septembril ja 4.oktoobril teostatud mõõdistuste andmetel varieerub 2.8 kuni 92 mg/L (Joonised 2.28 - 2.29). Kogu lahe ulatuses olid 4.oktoobril võetud proovidest mõõdetud kontsentratsioonid kõrgemad kui 24.septembri mõõdistusel. Viimast võib seletada asjaoluga, et süvendustööde esimeses staadiumis paisati veesambasse setete kõige peenemad fraktsioonid, mis jäävad kauemaks vette heljuma. Koguhõljumi kontsentratsiooni ruumiline jaotus 24.septembril ja 4.oktoobril on esitatud Joonistel 2.5 ja 2.6.

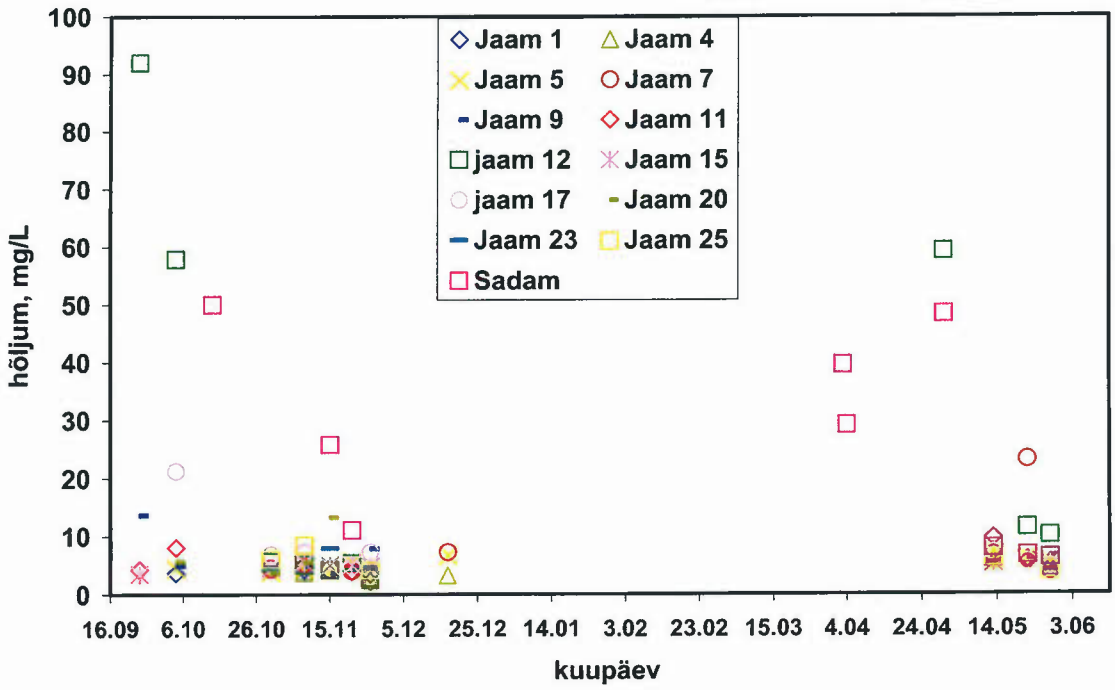
Oktoobri teisest poolest alates langes hõljumi kontsentratsioon sadama akvatooriumis 92-lt mg/L. (mõõdetud 24.septembril) tasemele18 mg/L (mõõdetud 30. oktoobril) ning püsis enamvähem ühtlasel tasemel kogu süvenduse teise perioodi 18.oktoobrist 2002.a kuni 2.jaanuarini 2003.a. Hõljumi kontsentratsioon sadama akvatooriumis tõusis uuesti tasemele 50mg/L ajavahemikul 3.aprillist kuni 30.aprillini (Joonis 2.27). Viimasel mõõdistusel 28.mail oli hõljumi kontsentratsioon Pakri lahe avaosas langenud tasemele 3 - 5.5 mg/L, mis on eelnevalt registreeritud looduslik foon. (Paldiski Lõunasadama süvenduseelne seire) lahes, erandiks on sadama akvatoorium kus hõljumi kontsentratsioon oli 10 mg/L. Terve süvendusperioodi kohta võib öelda, et hõljumi kontsentratsioonide ruumilise jaotuse kaartidelt (Joonised 2.28-2.38.) on näha, et süvenduse käigus ülestõstetud hõljumi poolt on enammõjutatud sadama lähiümbruse ja Pakri lahe idarand, Ajalises dünaamikas eraldub selgelt teistest süvendustööde esimene periood kus tehnogeense hõljumi kõrgendatud kontsentratsioonid mõjustasid merekeskkonda kõige enam.

2.2.3.1 Hõljumi osakeste suurusjaotus

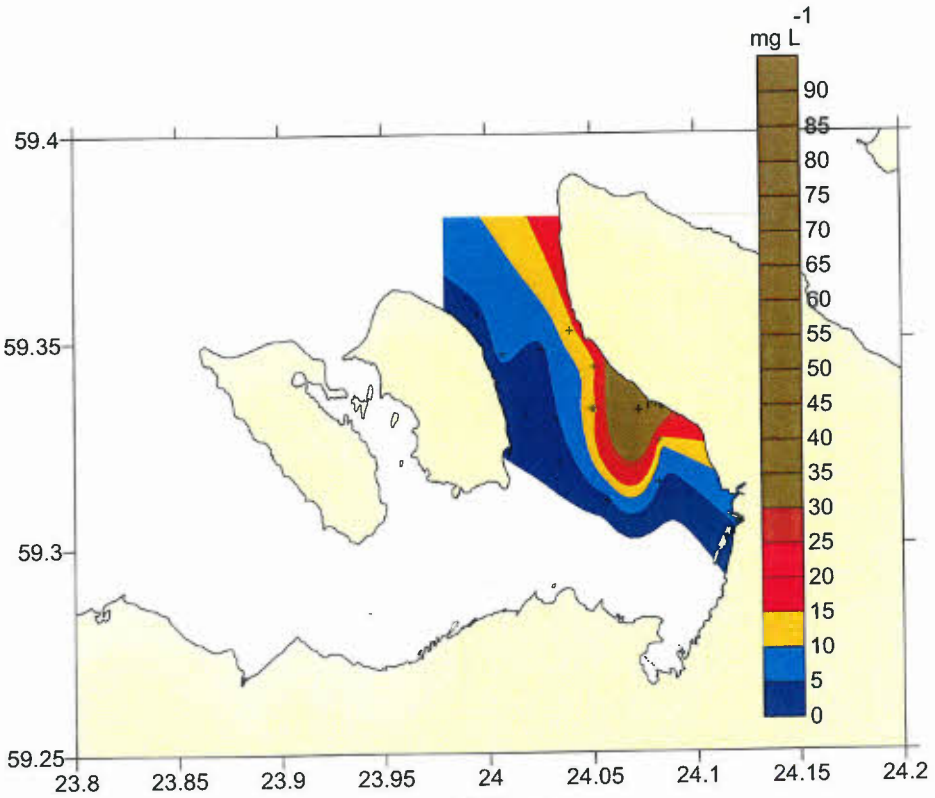
Kolmest Pakri lahel võetud veeproovist määrati pipettanalüüsil osakeste suurusjaotus. Tabelis 2.1 toodud tulemustest on näha, et enam-vähem 60% hõljuvatest osakestest kõikides proovides olid väiksemad kui 0.001 mm. Viimases proovis, mis sai võetud 22. mail, oli vähenenud ka osakeste suurusega 0.05 - 0.02 mm osakaal suurusjärgu võrra võrreldes mai alguse proovidega.

Tabel 2.1. Hõljumi osakeste suurusjaotus Pakri lahest võetud veeproovides

Pipeti fraktsioon	Pr.1 04.05.03 % 1L vee kohta	Pr.2 08.05.03 % 1L vee kohta	Pr.3 22.05.03 % 1L vee kohta	Settimise 15°C kiirus mm/s
0.05-0.02	0.0029	0.0032	0.0008	1.7960
0.02-0.01	0.0059	0.0043	0.0005	0.2874
0.01-0.005	0.0040	0.0048	0.0011	0.0718
0.005-0.002	0.0011	0.0019	0.0036	0.0180
0.002-0.001	0.0016	0.0036	0.0056	0.0029
<0.001	0.6107	0.5885	0.6145	0.0007
Kokku	0.6262	0.6063	0.6261	

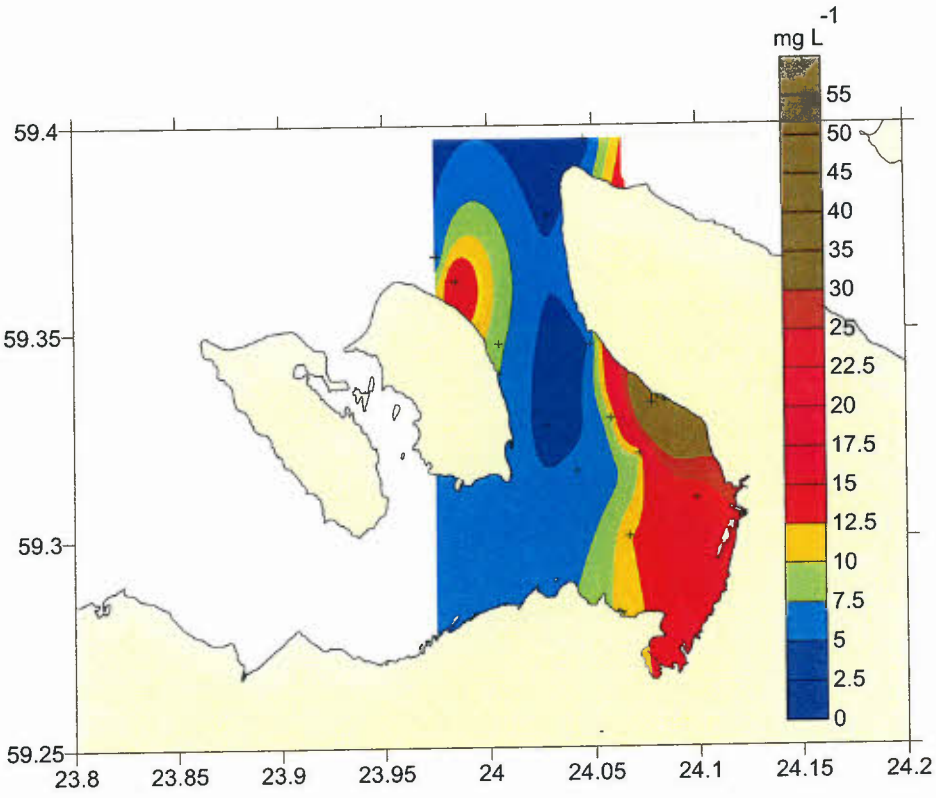


Joonis 2.27 Hõljumi kontsentratsioon (mg/L) läbi süvendusperioodi, Pakri lahe mõõtejaamades



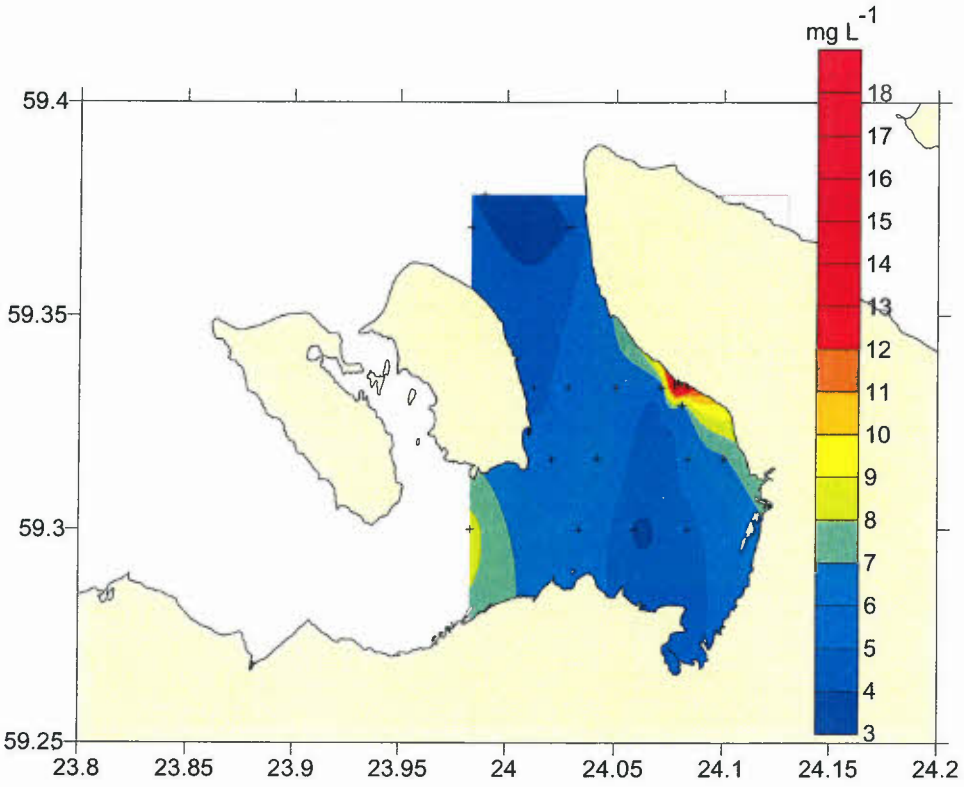
Hõljum, 24.09.2002

Joonis 2.28 Hõljumi kontsentratsiooni (mg/L) ruumiline muutlikkus Pakri lahes 24.septembril 2002.a



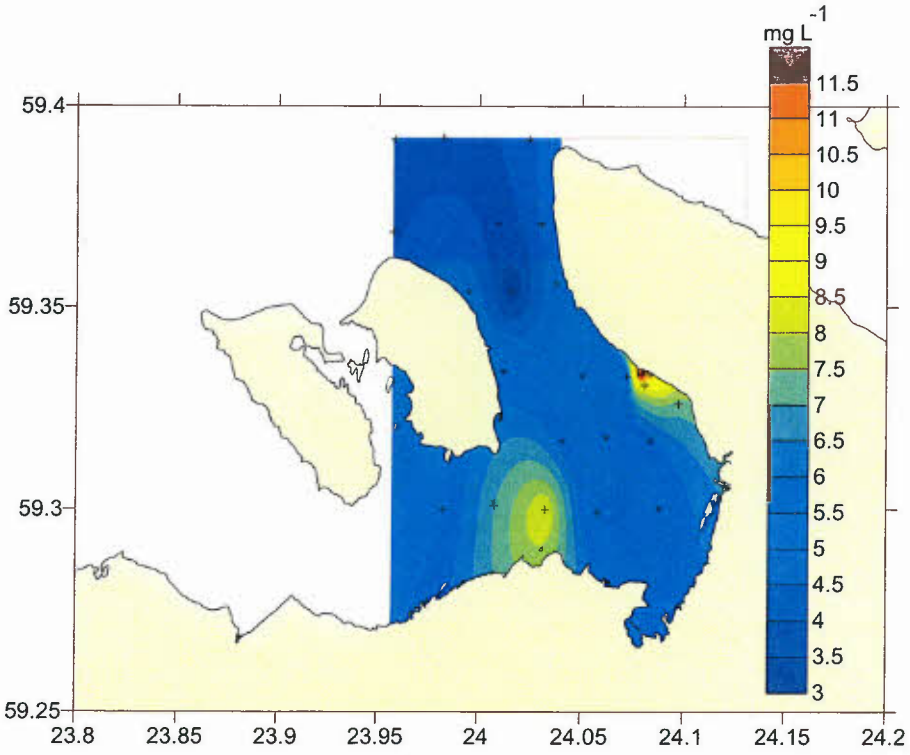
Hõljum, 04.10.2002

Joonis 2.29 Hõljumi kontsentratsiooni (mg/L) ruumiline muutlikkus Pakri lahes 04.oktoobril 2002.a



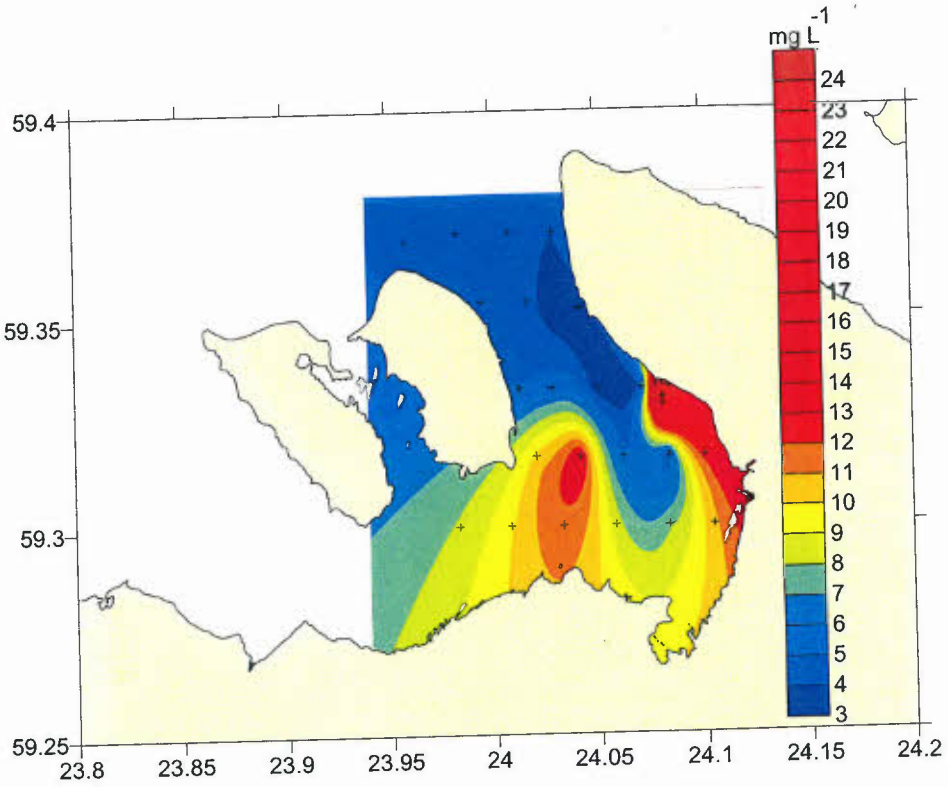
Hõljum, 30.10.2002

Joonis 2.30 Hõljumi kontsentratsiooni (mg/L) ruumiline muutlikkus Pakri lahes 30.novembril 2002.a



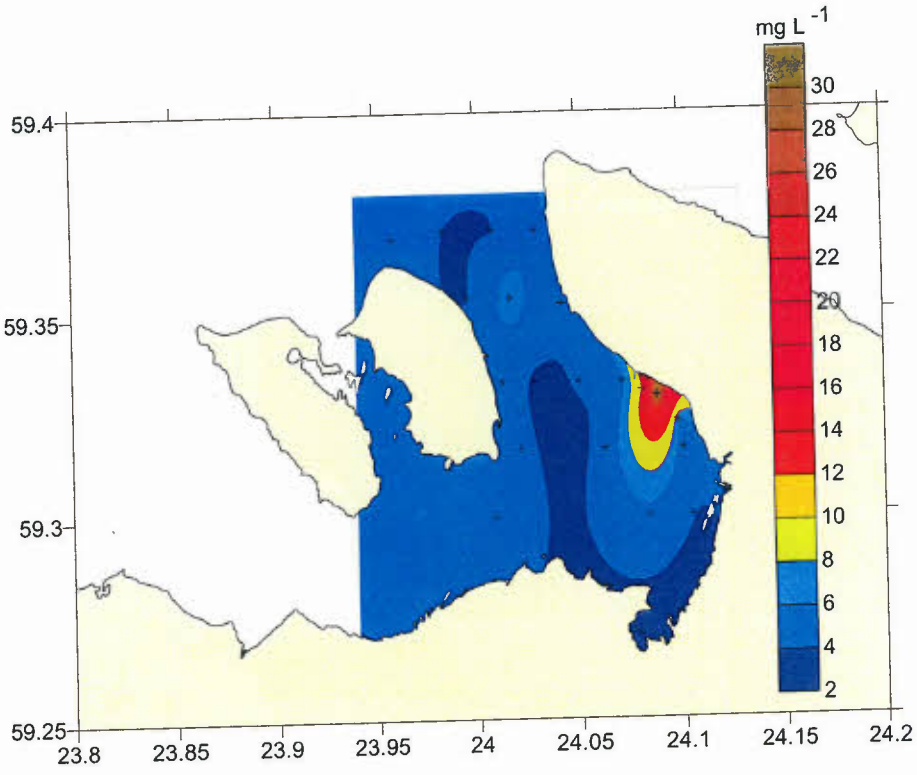
Hõljum, 8.11.2002

Joonis 2.31 Hõljumi kontsentratsiooni (mg/L) ruumiline muutlikkus Pakri lahes 08.novembril 2002.a



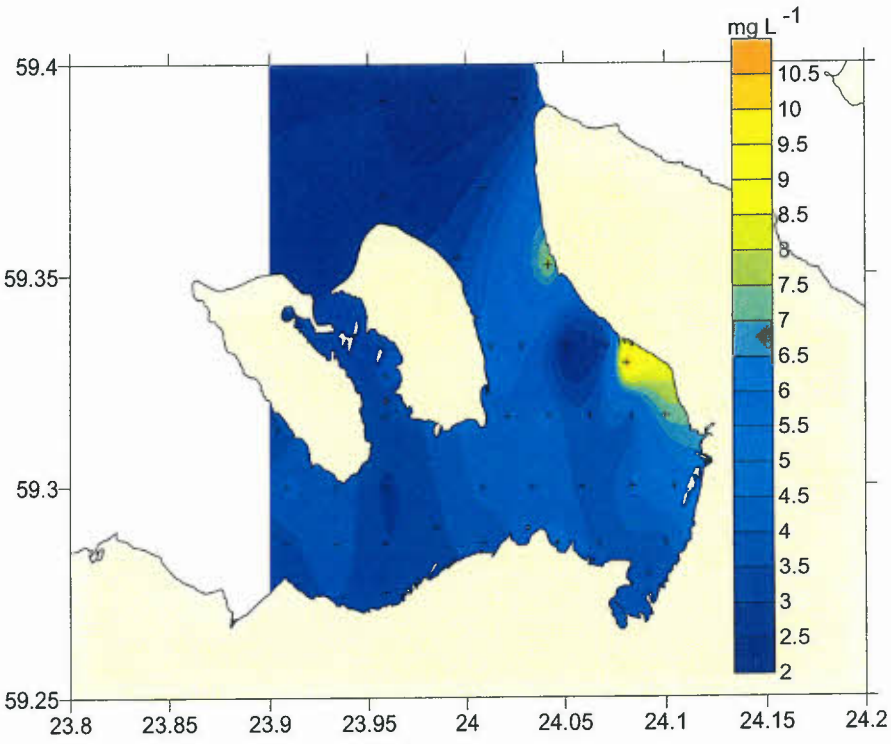
Hõljum, 15.11.2002

Joonis 2.32 Hõljumi kontsentratsiooni (mg/L) ruumiline muutlikkus Pakri lahes 15.novembril 2002.a

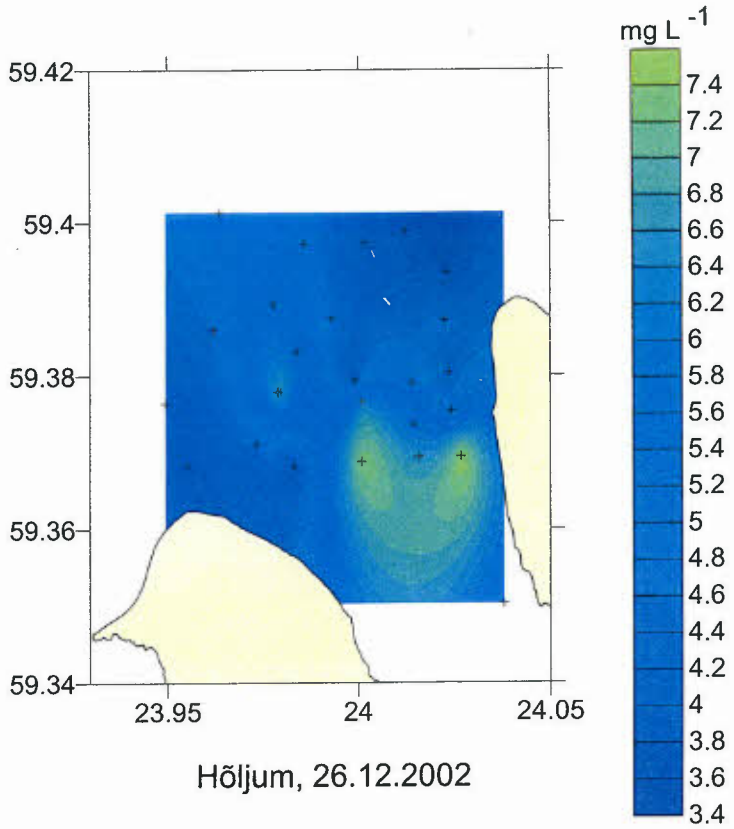


Hõljum, 21.11.2002

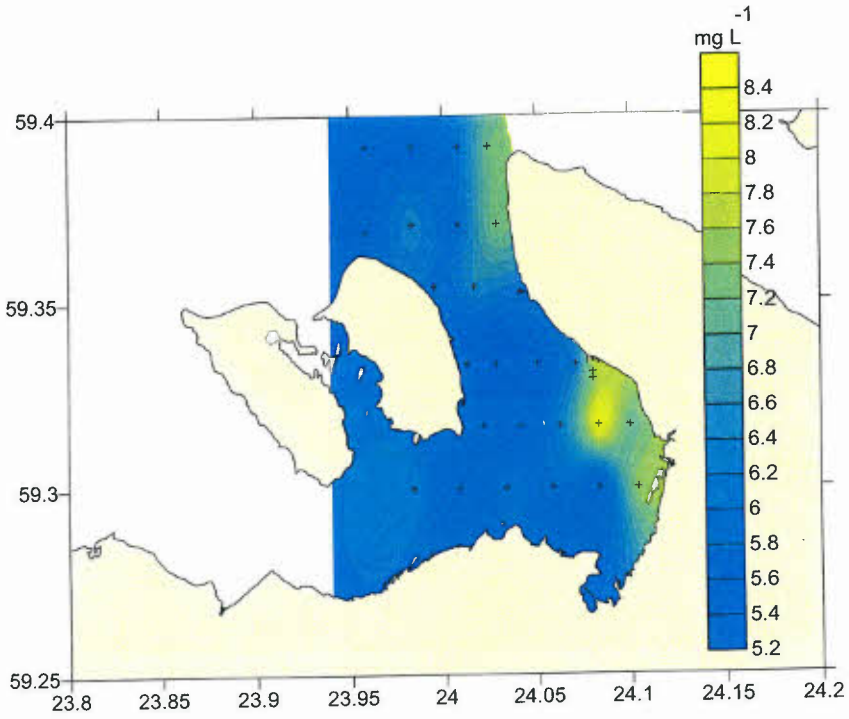
Joonis 2.33 Hõljumi kontsentratsiooni (mg/L) ruumiline muutlikkus Pakri lahes 21.novembril 2002.a



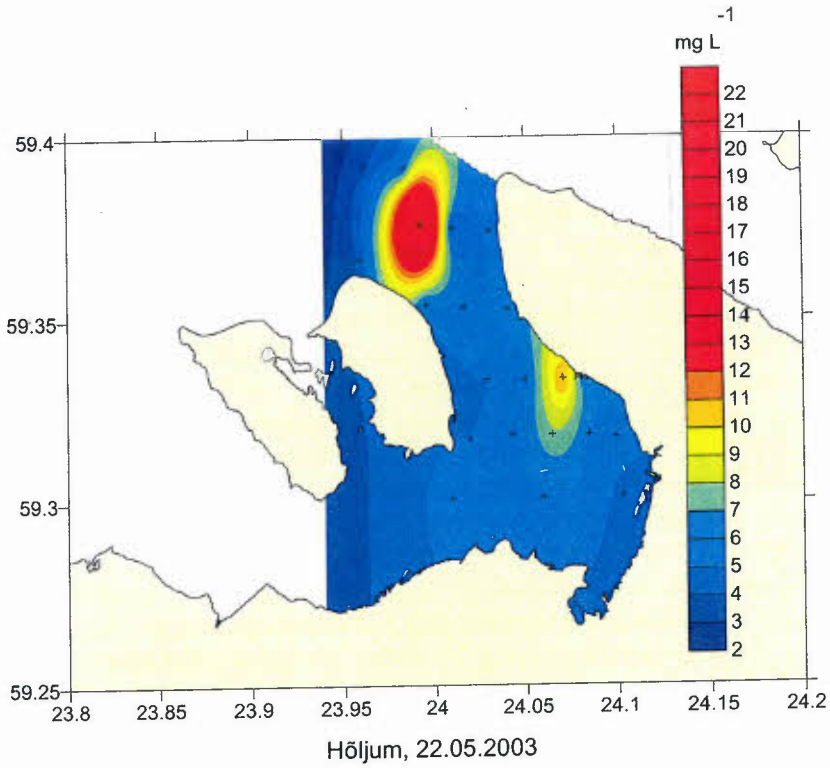
Joonis 2.34 Hõljumi kontsentratsiooni (mg/L) ruumiline muutlikkus Pakri lahes 26.novembril 2002.a



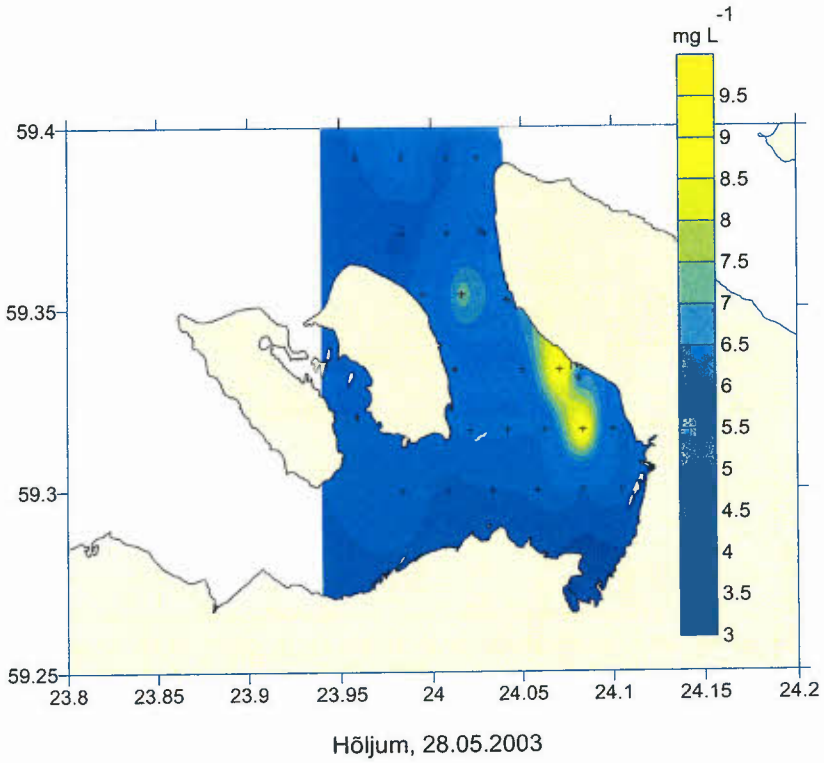
Joonis 2.35 Hõljumi kontsentratsiooni (mg/L) ruumiline muutlikkus Pakri lahes 26.detsembril 2002.a



Joonis 2.36 Hõljumi kontsentratsiooni (mg/L) ruumiline muutlikkus Pakri lahes 13.mail 2003.a



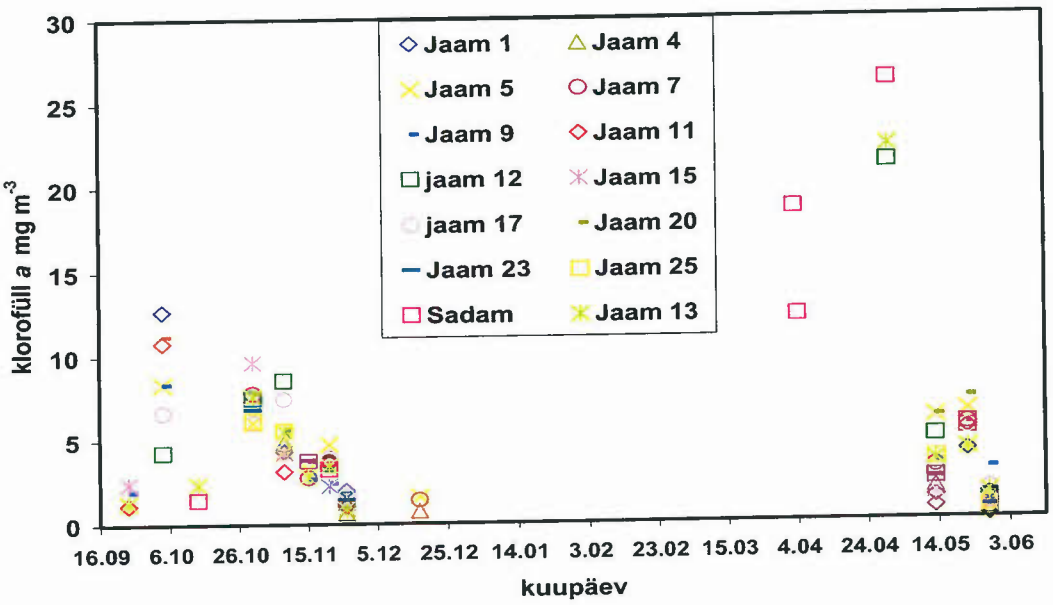
Joonis 2.37 Hõljumi kontsentratsiooni (mg/L) ruumiline muutlikkus Pakri lahes 22.mail 2003.a



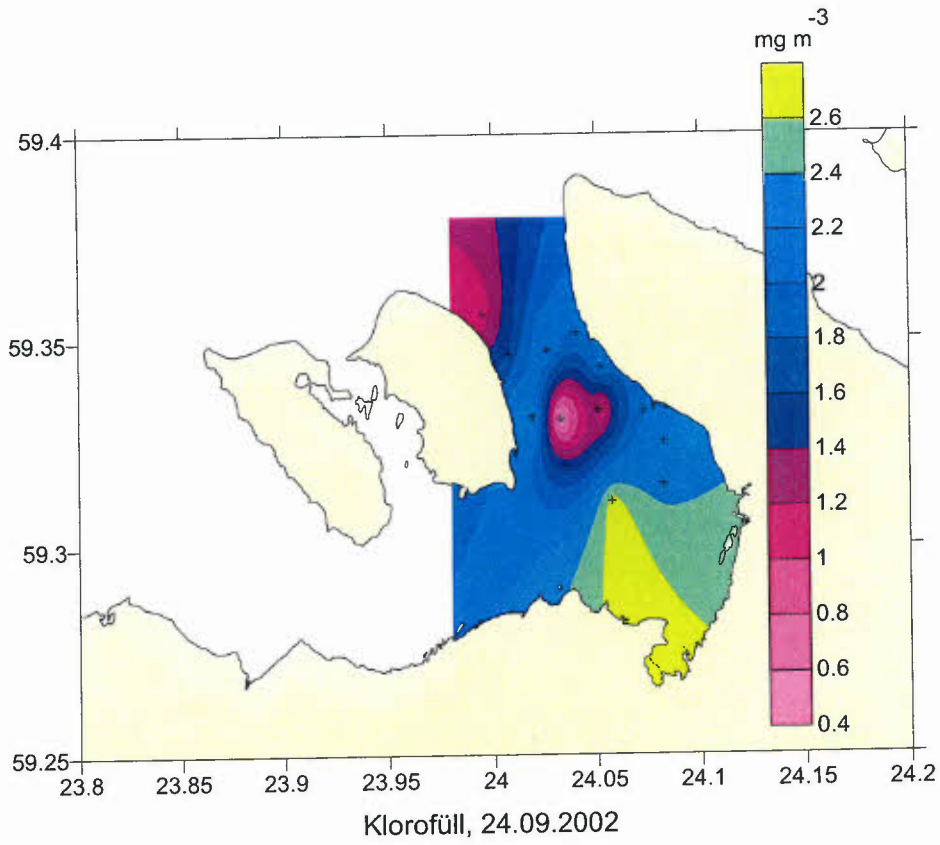
Joonis 2.38 Hõljumi kontsentratsiooni (mg/L) ruumiline muutlikkus Pakri lahes 28.mail 2003.a

2.2.4 Klorofüll *a* kontsentratsioon

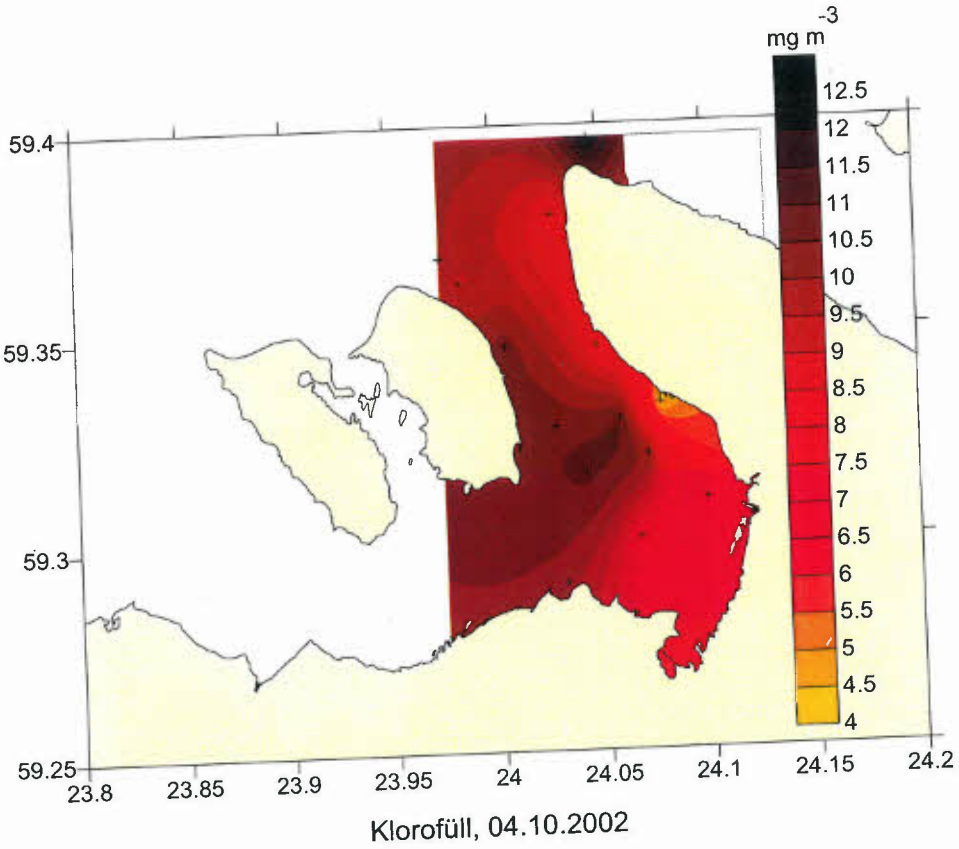
Klorofüll *a* kontsentratsiooni, mis näitab elusaine sisaldust merevees määrati süvendusperioodi vältel kokku 263-st veeproovist. Maksimaalne väärtus 28.1 µg/L registreeriti 30.aprillil 2003.a Jaamas 14 ja minimaalne 0.25 µg/L 28.mail 2003.a Jaamas 11. Klorofüll *a* ajaline käik Pakri lahe mõõtejaamades 1, 4, 5, 7, 9, 11, 12, 13, 15, 17, 20, 23, 25 ning Sadama akvatooriumis on esitatud Joonisel 2.39. Kaardid ruumilise jaotusega on toodud Joonistel 2.40 - 2.50. Üldiselt võib väita, et Klorofüll *a* maksimumväärtused on seotud fütoplanktoni õitsenguperioodidega oktoobris 2002.a ja aprillis 2003.a. Sügisese õitsengu algperioodil (Joonis 2.41) on näha, et Paldiski Lõunasadama piirkonnas ja Pakri lahe idarannal on klorofülli kontsentratsioon väiksem kui lahe suudmes ja lahe lääneosas. Sadamapiirkond vastab ka kõrgema hõljumi kontsentratsiooniga merealale (Joonis 2.29). Järgneval mõõdistusel 30.oktoobril (Joonis 2.42) on juba märgata, et klorofülli *a* maksimaalväärtused on mõõdetud just Paldiski Lõunasadama ümbruses. Selleks perioodiks oli ka hõljumi kontsentratsiooni sadamapiirkonnas langenud 3 korda võrreldes süvendusperioodi algusega. Tulemustest ilmneb, et suure hõljumi kontsentratsiooniga merealal hilines fütoplanktoni õitseng ligi kahe nädala võrra, võrreldes süvendusest mõjustamata merealaga. Viimane oli ilmselt tingitud halbadest valgustingimustest, mida põhjustas kõrge hõljumi kontsentratsioon Sadama lähiümbruse meres.



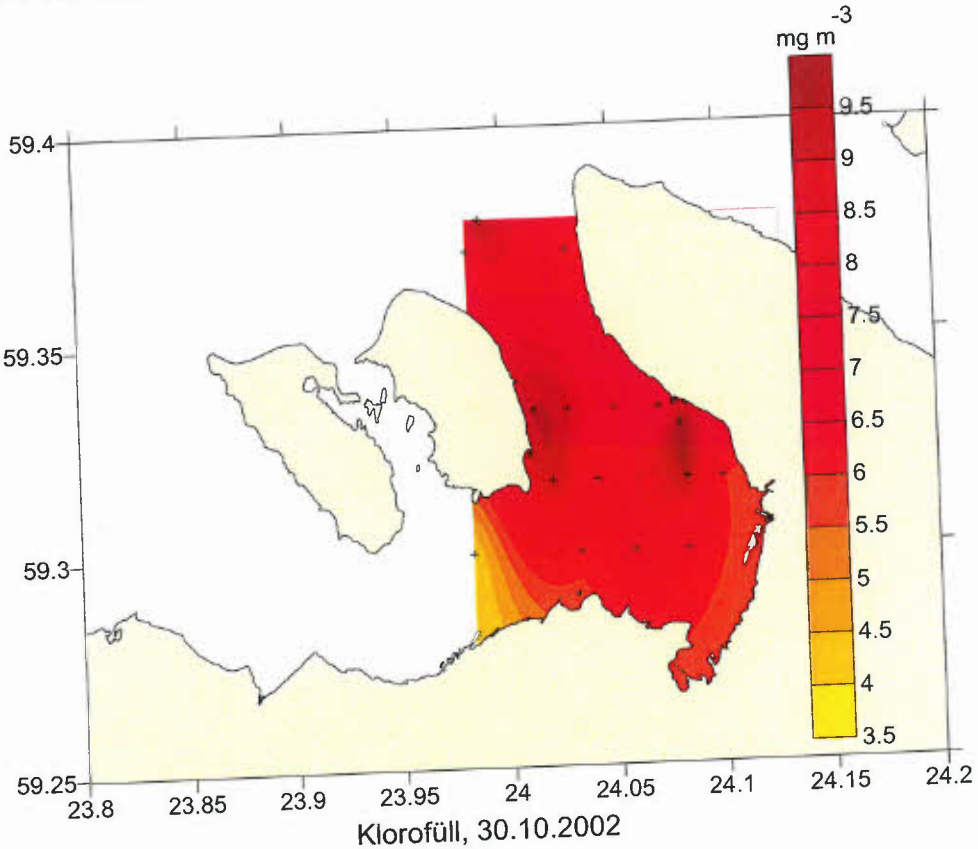
Joonis 2.39 Klorofüll *a* kontsentratsioon (mg m^{-3}) Pakri lahe mõõtejaamades süvendusperioodi vältel



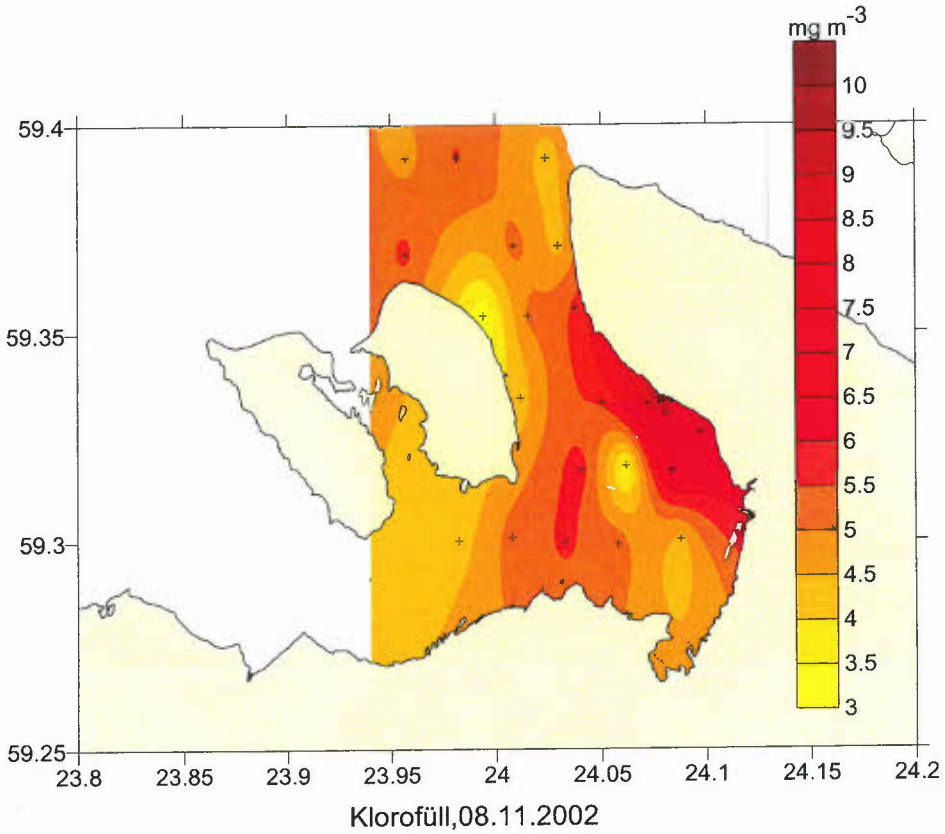
Joonis 2.40 Klorofüll *a* kontsentratsiooni (mg m^{-3}) ruumiline muutlikkus Pakri lahes 24.septembril 2002.a



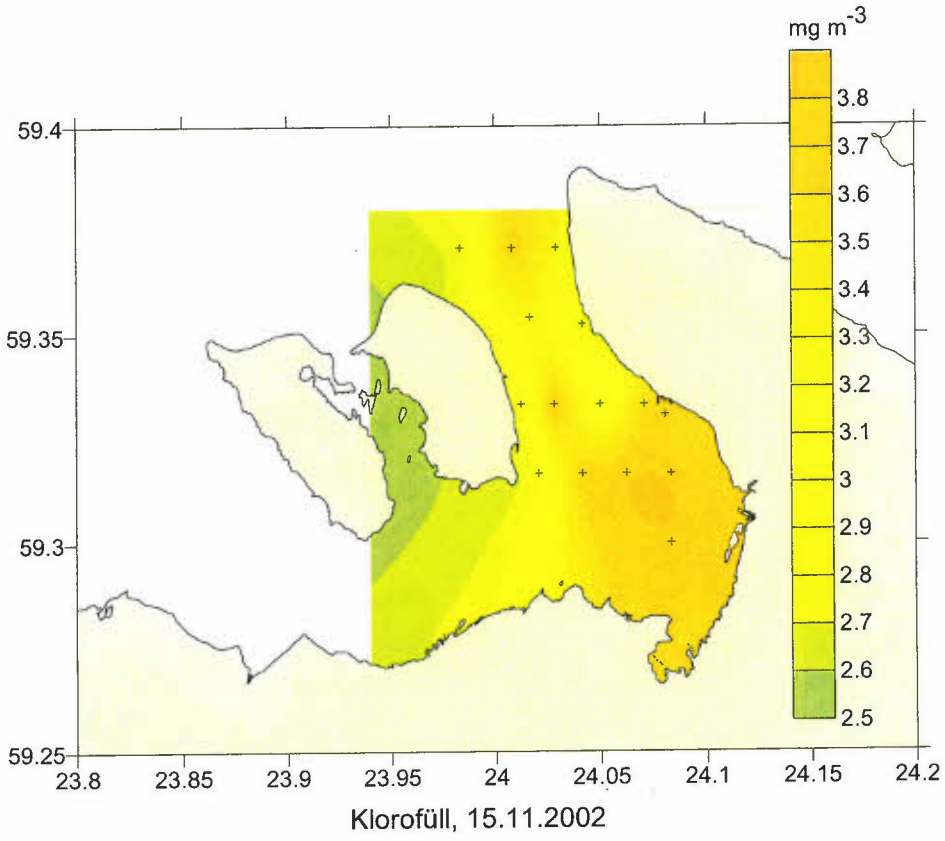
Joonis 2.41 Klorofüll *a* kontsentratsiooni (mg m^{-3}) ruumiline muutlikkus Pakri lahes 04.oktoobril 2002.a



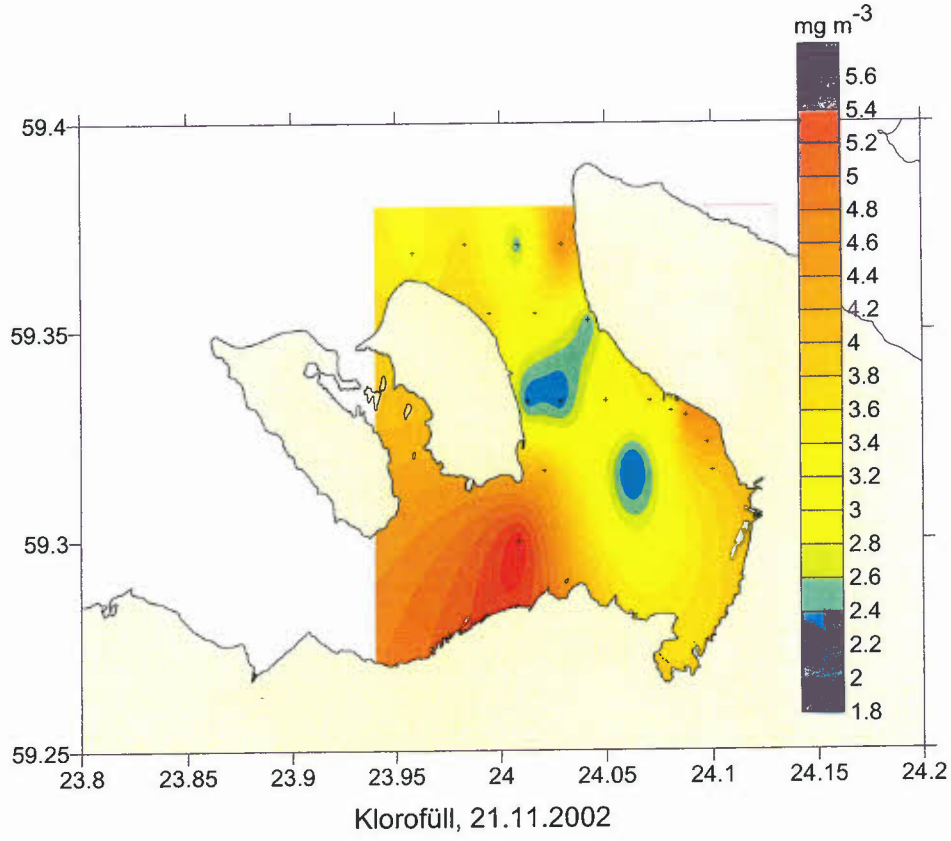
Joonis 2.42 Klorofüll *a* kontsentratsiooni (mg m^{-3}) ruumiline muutlikkus Pakri lahes 30.oktoobril 2002.a



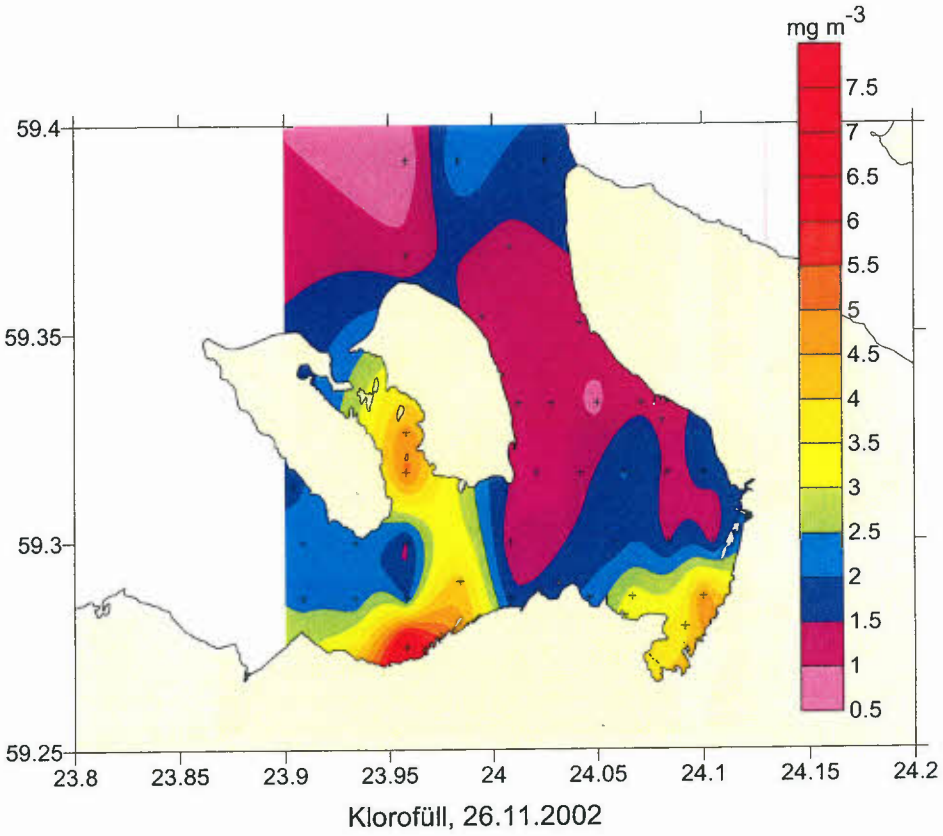
Joonis 2.43 Klorofüll *a* kontsentratsiooni (mg m^{-3}) ruumiline muutlikkus Pakri lahes 08.novembril 2002.a



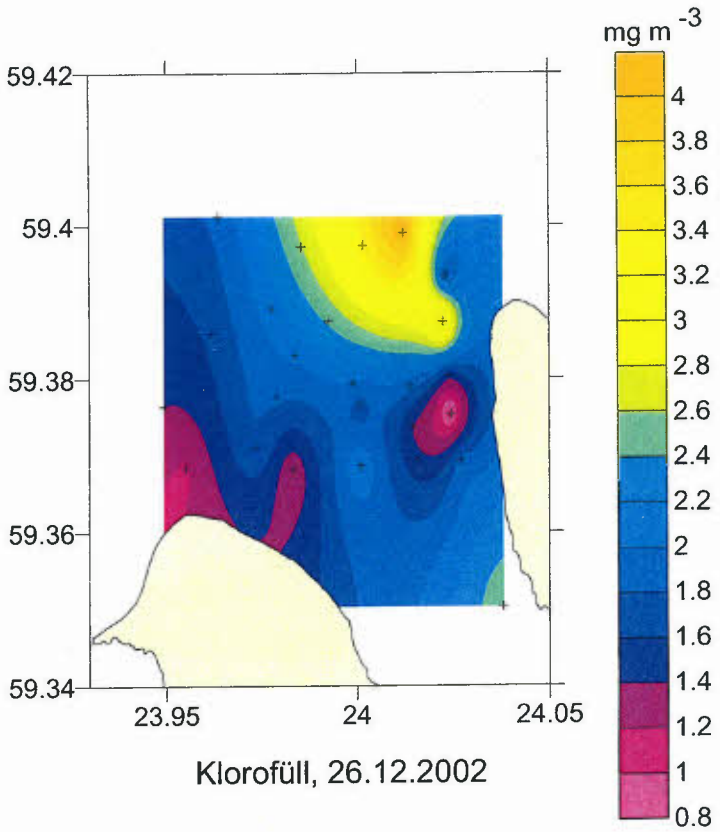
Joonis 2.44 Klorofüll *a* kontsentratsiooni (mg m^{-3}) ruumiline muutlikkus Pakri lahes 15.novembril 2002.a



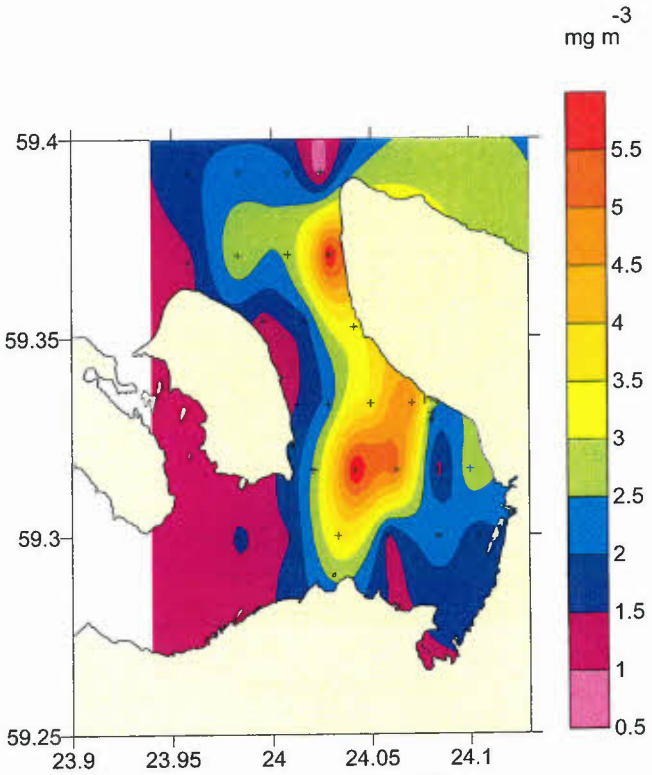
Joonis 2.45 Klorofüll *a* kontsentratsiooni (mg m^{-3}) ruumiline muutlikkus Pakri lahes 21.novembril 2002.a



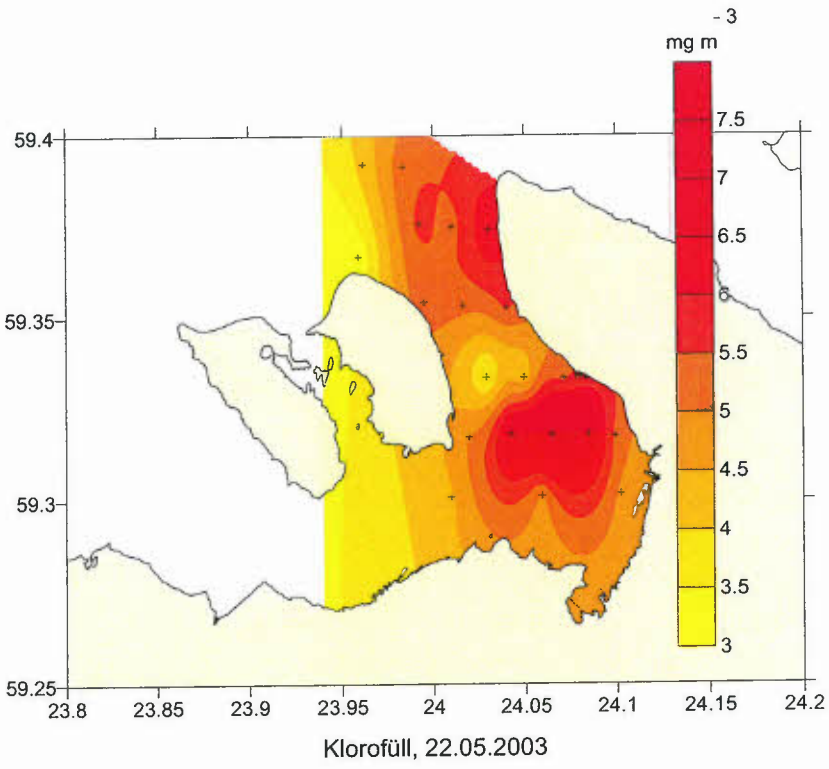
Joonis 2.46 Klorofüll *a* kontsentratsiooni (mg m^{-3}) ruumiline muutlikkus Pakri lahes 26.novembril 2002.a



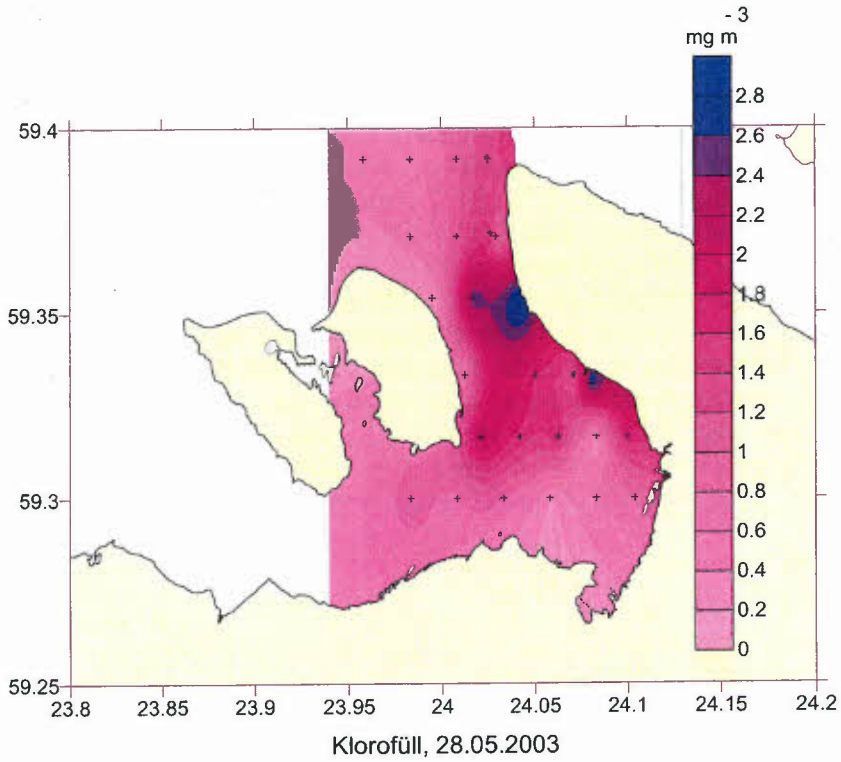
Joonis 2.47 Klorofüll *a* kontsentratsiooni (mg m^{-3}) ruumiline muutlikkus Pakri lahes 26.detsembril 2002.a



Joonis 2.48 Klorofüll *a* kontsentratsiooni (mg m^{-3}) ruumiline muutlikkus Pakri lahes 13.mail 2003.a



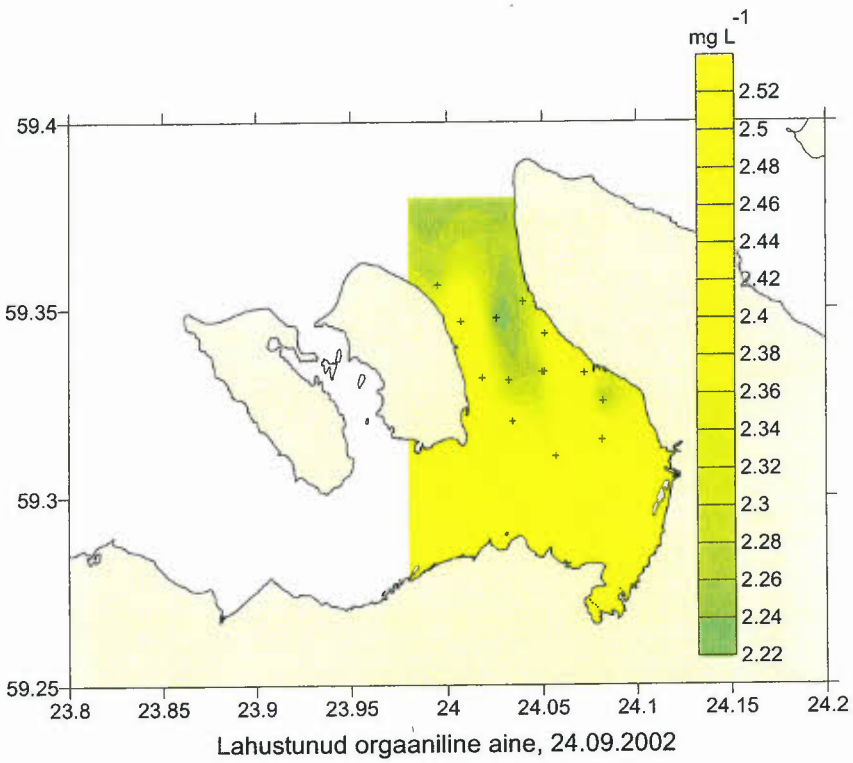
Joonis 2.49 Klorofüll *a* kontsentratsiooni (mg m^{-3}) ruumiline muutlikkus Pakri lahes 22.mail 2003.a



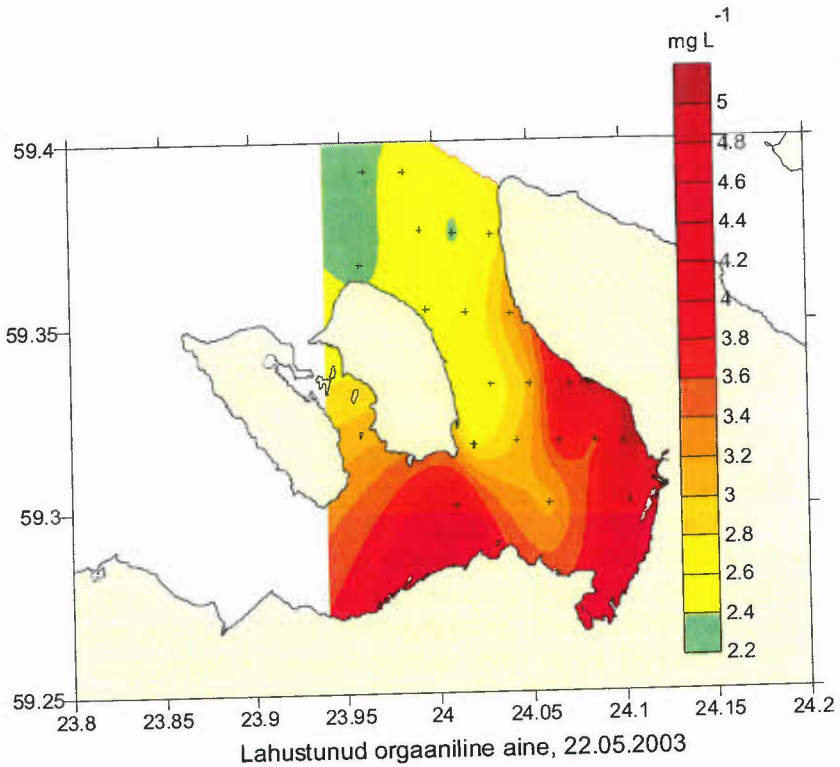
Joonis 2.50 Klorofüll *a* kontsentratsiooni (mg m^{-3}) ruumiline muutlikkus Pakri lahes 28.mail 2003.a

2.2.5 Lahustunud orgaanilise aine kontsentratsioon

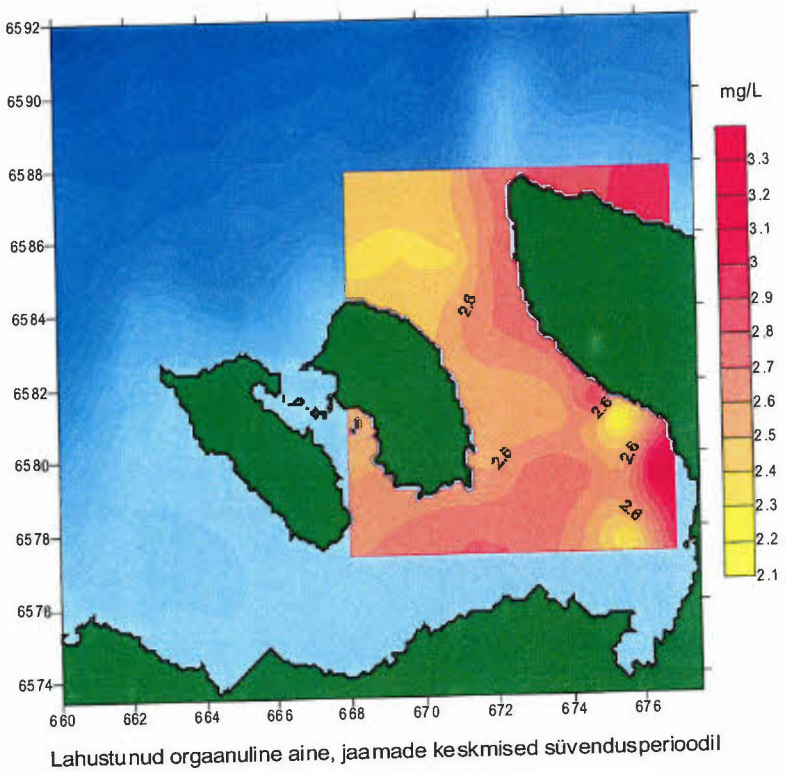
Lahustunud orgaaniline aine (ingl.k. cDOM), mis süvendustööde käigus setetest veemassi satub, on oluline komponent veealuse valgusvälja ja ka vee läbipaistvuse kujunemisel. Lahustunud orgaanilise aine ruumilised jaotused 24.septembri mõõdistusel (Joonis 2.51) ja 22.mai mõõdistusel (Joonis 2.52) on iseloomulikud vastavalt sügisesele ja kevadisele situatsioonile. Joonistelt nähtub, et kõrgeimad kontsentratsioonid mõõdeti madalas rannikumeres. Kevadel (Joonis 2.53) on maksimaalsed kontsentratsioonid üle 5mg/L mõõdetud Vasalemma jõe sissevoolualal. See on ka loomulik, sest kevadel kui jõe vooluhulk on maksimaalne transporditakse jõeveega rannikumerre ka rohkelt lahustunud orgaanilist ainet. Kõikide mõõdistuste tulemused näitasid, et lahustunud orgaanilise aine kontsentratsioonid süvendustööde käigus olid samas suurusjärgus kui Pakri lahe stabiilses olukorras (näidatud Paldiski Lõunasadama süvendustööde eelseire aruandes). LOA kontsentratsioon jäi vahemikku 1.2 kuni 5 mg/L. Seirejaamades mõõdetud keskmiste kontsentratsioonide ruumiline jaotus süvendustööde ajal on esitatud Joonisel 2.53.



Joonis 2.51 Lahustunud orgaanilise aine (LOA) konsentratsiooni (mg/L) ruumiline jaotus 24.septembril 2002.a



Joonis 2.52 Lahustunud orgaanilise aine (LOA) konsentratsiooni (mg/L) ruumiline jaotus 22.mail 2003.a



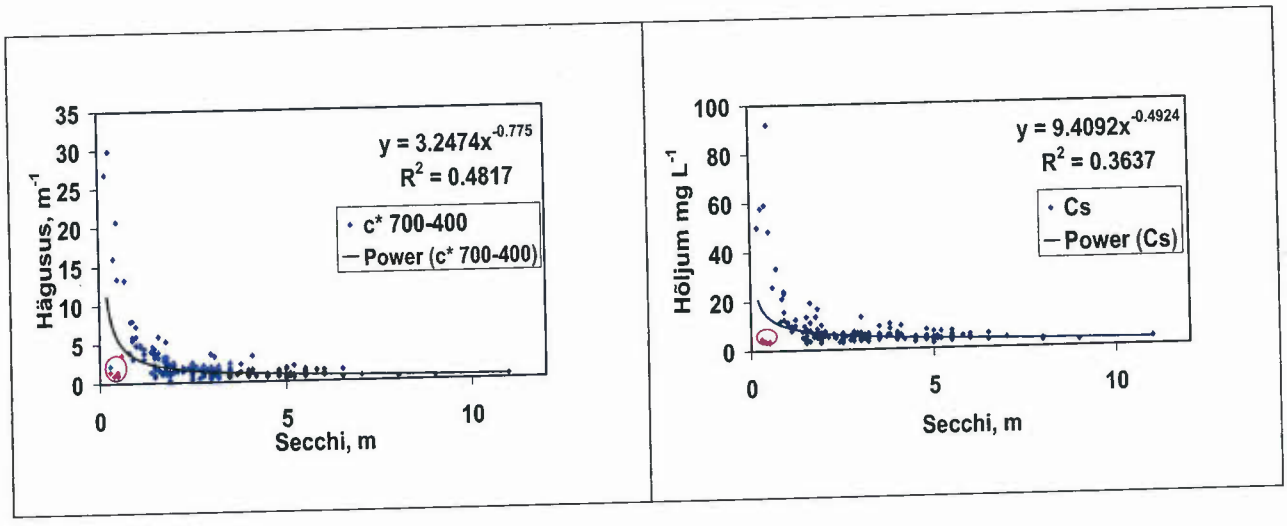
Joonis 2.53 Lahustunud orgaanilise aine (LOA) keskmistatud konsentratsiooni (mg/L) ruumiline jaotus, erinevad sinise toonid on taustal sügavused.

2.3 Vee läbipaistvust iseloomustavate karakteristikute omavahelised seosed ja nende sobivus hõljumi ruumilise muutlikkuse hindamiseks

Kuna Paldiski Lõunasadama süvendusaegse seire raames teostati suur hulk erinevate meetoditega vee optiliste omaduste mõõtmisi, siis vaatlesime ka nendevahelisi seoseid, et hinnata millist seiremetoodikat oleks efektiivseim kasutada süvenduse käigus tekkinud hõljumi seireks.

2.3.1 Secchi ketas vee hõljumi sisalduse ja hägususe iseloomustajana

Secchi ketta sobivust on hinnatud korrelatsioonimeetodiga. Joonisel 2.54 on näidatud seosed vastavalt Secchi ketta ja hägususe ning Secchi ketta ja hõljumi kontsentratsiooni vahel. Korrelatsioonikoefitsiendid R^2=0.48 häguse ja Secchi ketta korral ning R^2=0.36 hõljumi kontsentratsiooni ja Secchi ketta korral näitavad head seost nende parameetrite vahel, kuid selgelt on mõlemal joonisel eraldunud punktiparv (näidatud punase ringiga), mis vastab 26.novembril teostatud mõõdistusele. Sel mõõdistuse päeval oli Secchi kettaga mõõtmine raskendatud ilmastikuolude tõttu ja ka jaamades lahe lõunaosas oli vesi madal ning Secchi ketta näitu ei olnud võimalik väga täpselt hinnata. Tulemused näitavad, et Secchi ketas sobib hõljumi ja vee hägususe ruumilise jaotuse operatiivseks hindamiseks ja kvantitatiivsete järelduste tegemiseks vee läbipaistvuse kohta vaadeldaval merealal. Samas tuleb tähelepanelikult jälgida ka ilmastikuolusid ja tarvitada ühtlustatud mõõtemetoodikat, kui vaatlusi teevad erinevad inimesed. Secchi ketta näidud ja vee hägusus, samuti selle hõljumisisaldus, langevad paremini kokku puhta vee kirjeldamisel, kui vee läbipaistvus on üle 3m ja väga häguste vete puhul, läbipaistvus alla 0.5m, samas kui läbipaistvuse vahemikus 1 - 3m on varieeruvus kõige suurem. Samas teame ka et viimatinimetatud vahemik pakub enim huvi süvendusest põhjustatud keskkonnamõju seisukohalt, kuna just selles sügavusvahemikus leiab aset põhiline valgusenergia kadu.



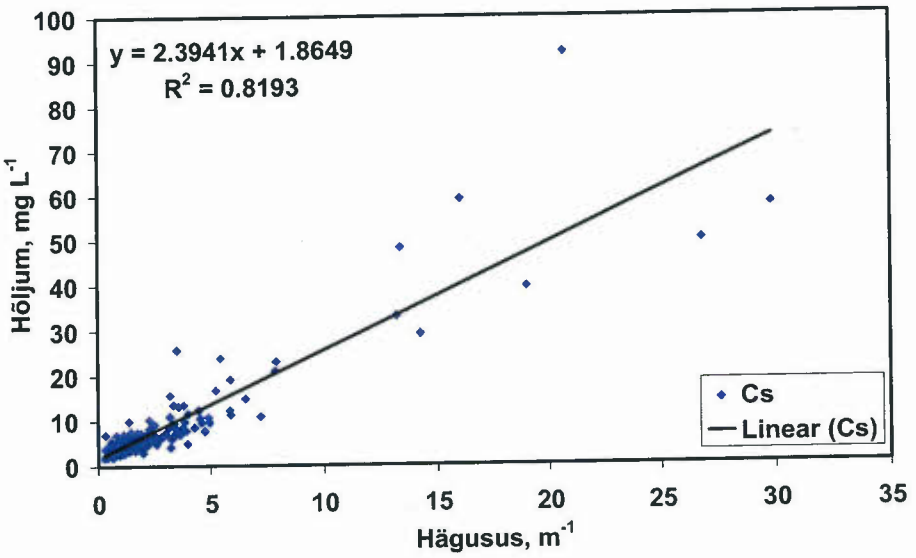
Joonis 2.54 Seosed Secchi ketta, hõljumi kontsentratsiooni ja hägususe vahel

2.3.2 Seos hägususe ja hõljumi kontsentratsiooni vahel

Joonisel 2.55 on toodud seos vee hägususe ja hõljumi kontsentratsiooni vahel kogu süvendusperioodi mõõtmistulemuste põhjal. Saadud korrelatsioonikoefitsient R^2=0.81 näitab väga head seost nende kahe parameetri vahel. Nagu eelpool mainitud on hägusus aga seotud ka fütoplanktoni kontsentratsiooniga vees, siis hindasime nii hõljumi kui fütoplanktoni osakaalu hägususe väärtuses kasutades regressioonanalüüsi. Kõik mõõteandmed standardiseeriti eelnevalt, saadud regressioonvõrrand vastavate osakaaludega oli järgmine:

$$c^*_{(400\text{-}700)} = 0.95C_{SM}\text{-}0.078C_{chl}$$

Seosest on näha, et klorofülli kaalukoefitsient on suurusjärgu võrra väiksem, mis tähendab et fütoplanktoni hulgast vee hägusus Pakri lahel mõõdetud andmete puhul oluliselt mõjutatud ei ole.



Joonis 2.55 Seos hägususe (m^{-1}) ja hõljumi kontsentratsiooni vahel

2.4 Veealuse valgusvälja otsesed mõõtmised

Veealuse valgusvälja mõõdistus teostati 13.mail 2003.a toimunud seiremõõdistuse raames, koos standartsete pinnmõõtmistega. Kasutati firma LI-COR püranomeetreid, mis registreerivad mingile veesügavusele jõudvat Päikesekiirguse hulka, samal ajal registreeriti laeva pardal ka veepinnale langeva Päikesekiirguse voogu antud ajahetkel. Tabelis 2.2 on toodud tulemused protsentsendina pinnalelangevast kiirgusest, mis jõuab sügavusele z. võrrelduna kolmes erinevas jaamas. Tabelist on näha suur erinevus Paldiski Lõunasadama akvatooriumi ja jaamade 10 ning 15 vahel. Hõljumi kontsentratsioon sadama akvatooriumis oli 13.mail 9.5 mg/L ning jaamades 10 ja 15 jäi vahemikku 4 – 5 mg/L. Kuigi hõljumi kontsentratsioonid ei ole väga suured võrreldes näiteks süvenduse algperioodil mõõdetutega avaldab juba selline hõljumisisaldus siiski nähtavat mõju veealusele valgusväljale. Tabelist 2.2 on ka näha, et sadama

akvatooriumis jõuab 3 meetri sügavusele vaid 2.8% pealelangevast kiirgusest, samas jaamades 10 ja 15 on see samal sügavusel vastavalt 16% ja 12%. Viimasest võib järeldada, et isegi suhteliselt keskmine hõljumi kontsentratsioon vees mõjutab veealust valgusvälja oluliselt, mis omakorda avaldab mõju fotosünteesi intensiivsusele ja viib muutustele terves lokaalses mere ökosüsteemis, mis suurema ulatuse või pikaajalise kestvuse tõttu võivad osutuda pöördumatuteks.

Tabel 2.2 Veealuse valgusvälja mõõtmistulemused Pakri lahes 13.mail 2003.a

	Protsent merepinnale langevast kiirgusest sügavusel z		
Sügavus, z (m)	**Sadama Akvaroorium**	**Jaam 10**	**Jaam 15**
1	19.7	33.8	27.46
2	8.24	26.32	18.47
3	2.84	16.37	12.69

2.5 Mõõdistus läbivoolusüsteemiga

2.5.1 Mõõtesüsteemi kirjeldus

Merevee optilisi parameetreid väljendatuna kiirguse neeldumise ja nõrgenemisena, üheksal lainepikkusel ning termohaliinseid näitajaid (merevee soolsus ja temperatuur) mõõdeti kõrge ruumilise lahutusega toimunud ekspeditsioonide raames 4.oktoobril ja 26.novembril. Neeldumine ja hajumine erinevatel lainepikkustel iseloomustavad optiliselt aktiivsete ainete sisaldust vees. Mõõtmistes kasutati läbivoolusüsteemi (Lindfors, 2001), mis võimaldab saada kõrglahutusega ülevaate eelpoolmainitud parameetrite jaotuse kohta Pakri lahes. Vesi, mille parameetreid määratakse võetakse ca 1m sügavuselt ja pumbatakse läbi andurite u.7-10 sõlmese kiirusega liikuva laeva pardal - soolsuse, temperatuuri ja kaheksateistkümne erineva merevee optilise näitaja näidud salvestatakse väliarvuti mälus, koos samaaegselt kord sekundis fikseeritava positsiooniga ruumis. Geograafilised koordinaadid süsteemis WGS-84 määrati D-GPS seadme abil
Helsingi Ülikoolis on välja töötatud mudel, mis võimaldab hinnata optiliselt aktiivsete ainete kontsentratsioone mõõdistusel saadud neeldumise ja nõrgenemise väärtustest. Mudel on üles ehitatud järgmisele seosele:

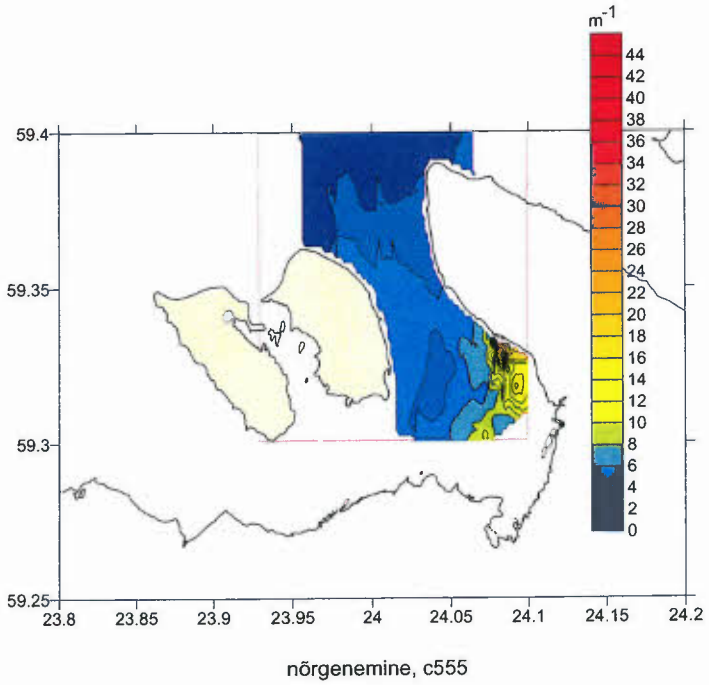
$$c(\lambda) = a^*_{ph}(\lambda)\cdot C_{chl} + a^*_{SM}(\lambda)\cdot C_{SM} + a_y(\lambda) + b^*_{ph}(\lambda)\cdot C_{SM} + b^*_{SM}(\lambda)C_{SM}$$

kus $c(\lambda)$ on nõrgenemine lainepikkusel λ; $a^*_{ph}(\lambda)$ - fütoplanktoni erineeldumiskoefitsient lainepikkusel λ; $b^*_{ph}(\lambda)$ - fütoplanktoni erihajumiskoefitsient lainepikkusel λ; $a^*_{SM}(\lambda)$ - hõljumi erineeldumiskoefitsient lainepikkusel λ; $b^*_{SM}(\lambda)$ – hõljumi erihajumiskoefitsient lainepikkusel λ, $a_y(\lambda)$- lahustunus orgaanilise aine neeldumiskoefitsient; C_{chl}- klorofüll *a* kontsentratsioon ja C_{SM}- on hõljumi kontsentratsioon

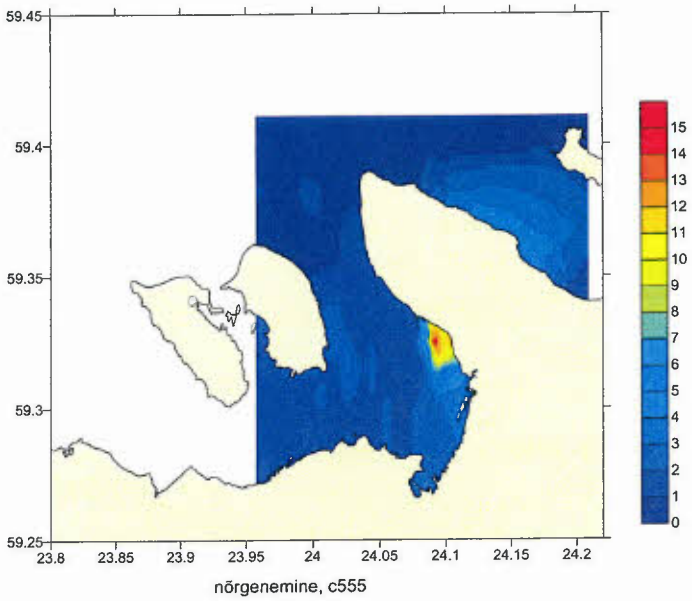
Saadud horisontaalse kõrglahutusega andmete kogum nii otseselt mõõdetuna kui parameetrilisse mudelisse sisestatud informatsioonina tagab mitmete vee optiliste parameetrite täpse ja detailse ruumilise jaotuse määrangu, mis omakorda võimaldavad kvantitatiivselt hinnata veealuse valgusvälja dünaamikat ja valgustingimuste muutustest tingitud mõju mereelustikule.

2.5.2 Läbivoolusüsteemiga mõõdistuse tulemused

Hõljumisisalduse ruumilist jaotust on hea iseloomustada nõrgenemisega (neeldumise ja hajumise summa) lainepikkusel 555nm, antud lainepikkusel hajutavad ja neelavad vees olevad osakesed intensiivselt valgust. Joonistel 2.56 ja 2.57 on toodud kiirguse nõrgenemise kaardid lainepikkusel 555nm 4.oktoobril ja 26.novembril toimunud mõõdistuse ajal. Võrreldes jooniseid on näha, et 4.oktoobril on nõrgenemise absoluutväärtused kolm korda kõrgemad kui 26.novembril, mis tähendab, et vesi oli 4.oktoobril 2002 kolm korda hägusem. Samuti on 4.oktoobril hõljumirikka vee ala tunduvalt suurem kui 26.novembril 2002.

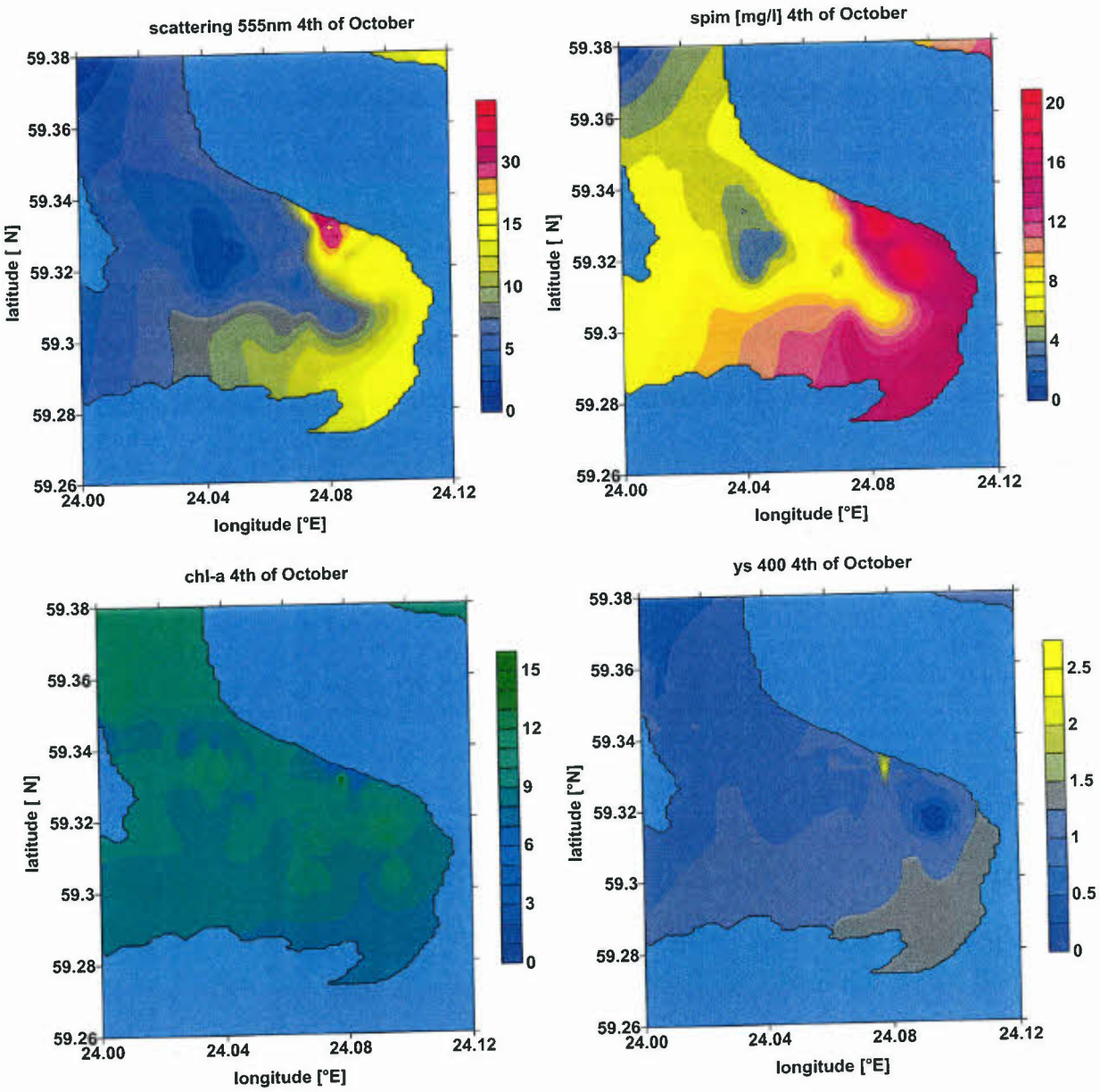


Joonis 2.56 Suunatud kiirguse nõrgenemine m^{-1} lainepikkusel 555 nm 4.oktoobril 2002.a



Joonis 2.57 Suunatud kiirguse nõrgenemine m^{-1} lainepikkusel 555 nm 26.novembril 2002.a

4. oktoobril toimunud mõõdistuse andmetest on leitud ka Helsingi Ülikoolis väljatöötatud mudeli abil hõljumi (Joonisel 2.58 märgitud tähisega spim (mg/l)), klorofüll *a* ja lahustunud orgaanilise aine (Joonisel 2.58 märgitud vastaval chl ja ys 400) jaotuse kaardid (Joonis 2.58). Kaartidel on hea kokkulangevus ka sama päeva veeproovidest laboratooriumis määratud hõljumi kontsentratsiooni (Joonis 2.29) ja klorofülli kontsentratsiooni (Joonis 2.41) jaotuse kaartidega.



Joonis 2.58. Läbivoolusüsteemi andmetest modelleeritud optiliselt aktiivsete ainete kontsentratsioonid 4.oktoobril 2002.a

2.6 Satelliitseire rakendamine hõljumi leviku seireks

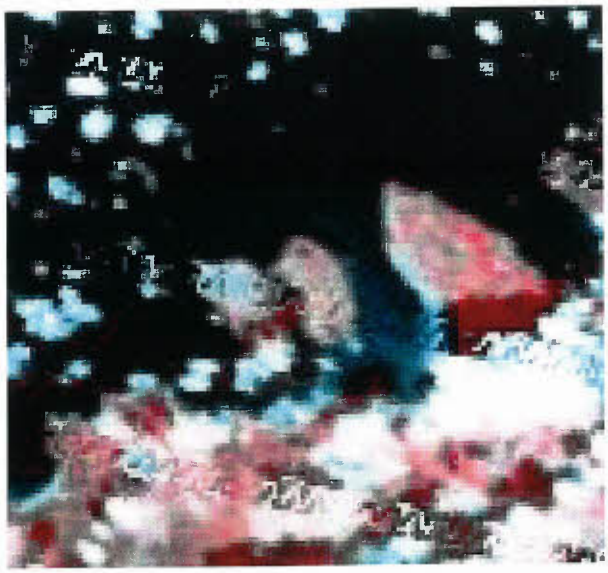
Kaugseire andmetena kasuti satelliitseiresüsteemi MODIS (Moderate Resolution Imaging Spektrometer) pilte, mis on kättesaadavad NASA vahendusel. Meie laiuskraadil toimub mõõdistus hommikupoolikul kella 10 ja 11 vahel ja andmed on kasutatavad selge ilma korral.

2.6.1 Sateliitseire metoodika lühikirjeldus

Kokku väljastab MODIS-e seiresüsteem informatsiooni veepinnalt tagasihajunud ja peegeldunud valguskiirguse kohta 36-lt kanalilt vastavate spektraalheleduste väärtustena. Vee pinnakihis oleva hõljumi identifitseerimiseks ja selle ruumilise jaotuse hindamiseks sobivad kõige paremini satelliitseiresüsteemi MODIS kanalid 1 ja 2, mis jäävad vastavalt lainepikkuste vahemikku 620-670 nm ja 841-876 nm, mis vastavad valguspektri punasele ja lähi-infrapunasele piirkonnale. Nimetatud piirkondades toimub kiirguse tagasihajumine praktiliselt kõikidelt osakestelt vees, milleks võib olla nii mineraalne kui orgaaniline hõljum. Selles spektripiirkonnas fikseeritud heleduste jaotus merepinnal esitab küllalt usaldusväärselt ka hõljumi ruumilist jaotust samal merealal. Lisaks sellele võimaldab kanalite 1 ja 2 ruumiline lahutus, mis on 250 meetrit, uurida piisava täpsusega suhteliselt väikest merelahte nagu Pakri laht.

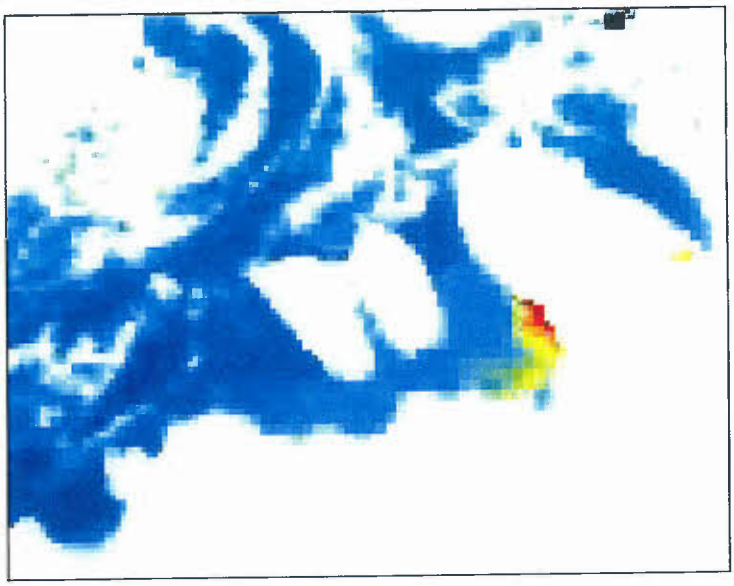
2.6.2 Sateliitseire tulemused

Süvenduse esimesel perioodil jäi satelliitpiltide hulk piiratuks kuna selgeid ilmu sel perioodil praktiliselt ei olnud. Siiski oli võimalik kasutada kaht pilti osakeste leviku mudeli verifitseerimiseks, 23.septembri pilt on toodud joonisel 2.59. Valged kohad pildil on pilved, punane maa ja rohekas toon Pakri lahel näitab hõljumirikast vett. Pildilt on näha, et hõljumirikkam vesi on kogunenud lahes sadama lähedale ja lahe keskossa.

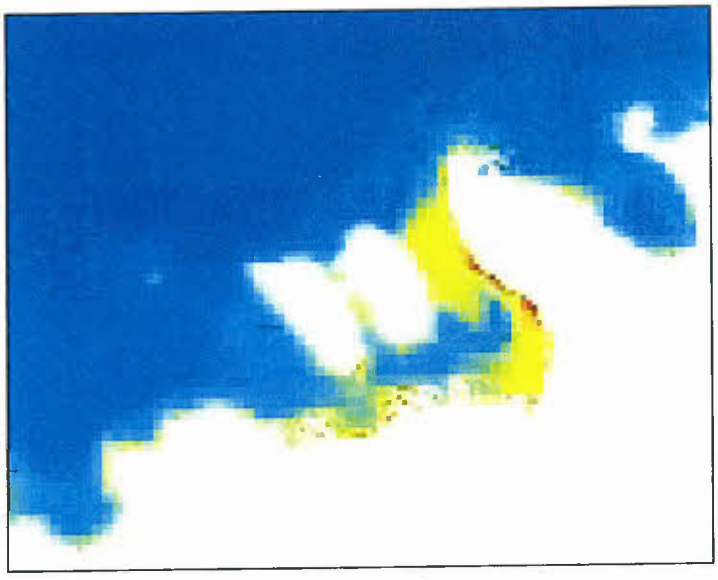


Joonis 2.59 Spektraalse heleduse (W m^{-2} $sr^{-1}nm^{-1}$) jaotus Pakri lahel 23.septembril 2002.a

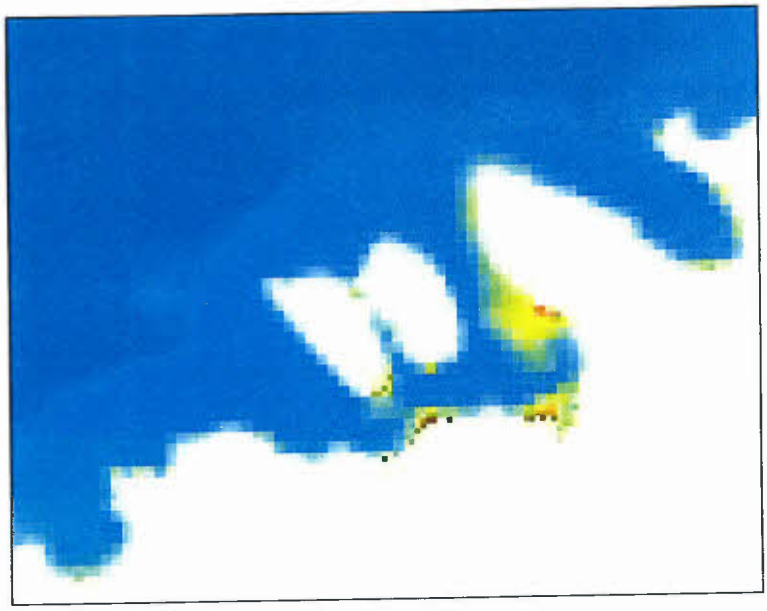
Kevadisel süvendusperioodil oli pilte, millelt hõljumi ruumiline jaotus hinnatav rohkem (Joonised 2.60-2.63). Joonisel 2.60 on näidatud heleduse jaotus 25.aprillil. Punane ja kollane piirkond näitavad suhteliselt hõljumirikkama vee asukohta. Pildilt on näha, et hõljumirikas vesi on kogunenud sadama ümbrusse ja lahe pärasse, selle situatsiooni puhul olid valdavaks põhjakaarte tuuled, mis kandsid hõljumi lahe lõunaossa. Mai algul olid tuuled lõunakaartest, ka Joonistelt 2.61 ja 2.62 on näha et hõljumirikas vesi on lahe suudme piirkonnas ja liigub ka piki idapoolset rannikut lahest välja. Kontrastid heleduste vahel muutuvad pildist pilti väiksemaks, see näitab et ka hõljumi kontsentratsioon lahes tervikuna väheneb. Sama on näha ka hõljumi kontsentratsiooni ajalise muutumise Jooniselt 2.27. Viimasel pildil 27.-st maist (Joonis 2.63) on hägusem vesi vaid sadama ümbruses, sarnane tulemus on saadud ka pinnamõõdistuste andmetest (Joonis 2.38).



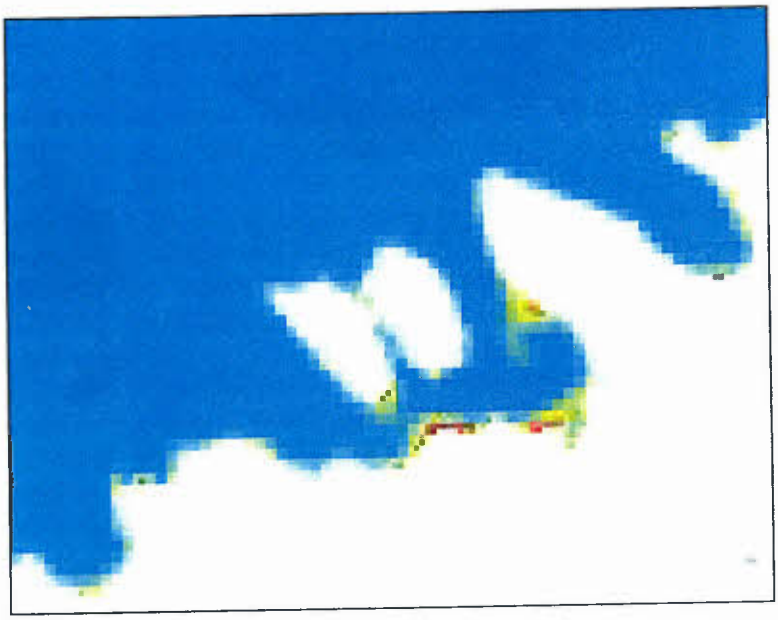
Joonis 2.60 Spektraalse heleduse (W m^{-2} $sr^{-1}nm^{-1}$) jaotus Pakri lahel 25.aprillil 2003.a



Joonis 2.61 Spektraalse heleduse (W m^{-2} $sr^{-1}nm^{-1}$) jaotus Pakri lahel 02.mail 2003.a



Joonis 2.62 Spektraalse heleduse (W m^{-2} $sr^{-1}nm^{-1}$) jaotus Pakri lahel 11.mail 2003.a



Joonis 2.63 Spektraalse heleduse (W m^{-2} $sr^{-1}nm^{-1}$) jaotus Pakri lahel 27.mail 2003.a

2.7 Kokkuvõte veeoptika seire tulemustest Pakri lahel

Vee läbipaistvust ja optilisi omadusi hinnati erinevatel ja üksteisest sõltumatutel meetoditel, Paldiski Lõunasadama süvendustööde ajal kokku 14 süstemaatilise pinnamõõdistuse raames. Veeoptika parameetrite täpsustamiseks lisati mõnede mõõdistuste programmi mõõtmised kõrge ajalise või ruumilise lahutusega (nii vertikaalis kui horisontaalis) - läbivoolusüsteem, veealuse valgusvälja otsesed mõõtmised ja ülevaatliku pildi saamiseks suuremast merealalst rakendati satelliitseiret. Selline kompleksne veeoptika mõõdistus süvendustööde ajal annab võimaluse tuua välja järgmised süvendusaegsed mõjud vee läbipaistvusele ja optilistele parameetritele Pakri lahes:

- Vee läbipaistvus Secchi ketta järgi jäi vahemikku 0.2 kuni 11 meetrit. Väikseimad Secchi ketta näidud mõõdeti kõikidel mõõdistustel Sadama akvatooriumis ja mõõtejaamades mis asusid lahe idarannikul ja lahe lõunaosas, s.t. seal oli vee läbipaistvus süvendustöödest kõige enam mõjutatud. Süvenduse algetapil 16.septemberil kuni 18.oktooberil 2002.a vähenes vee suhteline läbipaistvus Paldiski Lõunasadama akvatooriumis 0.3 meetrini, peale 18.oktoobrit paranes vee läbipaistvus sadama akvatooriumis taas 1 meetrini ja püsis sellel tasemel kuni süvendustööde teise etapi lõpuni. Uuesti kahanes vee läbipaistvus tunduvalt kevadiste töödeperioodi algul. Süvendustööde lõppedes oli vee läbipaistvus kasvanud akvatooriumis taas 1.2 meetrini.
- Hõljumi hulka vees hinnati nii väljendatuna hõljumi kontsentratsioonina kui ka vee hägususena. Leitud korrelatsioonikoefitsient nende kahe parameetri vahel oli 0.81, mis näitab, et ka vee hägusus sobib ekspressmeetodina iseloomustamaks hõljumi kontsentratsiooni vees, samal ajal tuleb teada et hõljumi koostisained jäävad enam-vähem samaks kogu vaadeldaval perioodil.
- Süvendustööde esimesel etapil (16.septembrist – 18.oktoobrini 2002.a) olid nii hõljum kui hägusus maksimaalsed, kusjuures hõljumi kontsentratsioon ulatus 24.septembril Sadama akvatooriumi lähedal kuni 92 mg/L tasemele.
- Süvenduse teisel perioodil peale 18.oktoobrit hakkas hõljumi kontsentratsioon langema ja jõudis Sadama akvatooriumis tasemeni 10 mg/L ning püsis ühtlasel tasemel kuni süvendustööde teise etapi lõpuni 2.jaanuaril 2003.
- Süvendustööde neljandal etapil tõusis hõljumi kontsentratsioon märkimisväärselt, ajavahemikul 3.- 30.aprill 2003.a, kui kontsentratsiooni arvulised väärtused Paldiski Lõunasadama akvatooriumis ulatusid kuni 50 mg/L. Mai alguses hakkas kontsentratsioon taas vähenema ja süvenduse lõppedes oli hõljumi konsentratsionn sadama akvatooriumis 9.5 mg/L, mis on juba küllalt lähedane looduslikule foonile.
- Võrreldes mõõtejaamasid olid hõljumist kõige enam mõjutatud mõõtejaamad Paldiski Lõunasadama vahetus ümbruses ja Pakri lahe idarand.
- Puistekohas oli hõljumi levik väga dünaamiline ja mere pinnakihi vee optilistes omadustes olulisel määral ei väljendunud v.a. 22.mail 2003.a teostatud mõõdistuse raames, kui mõõtmised teostati kohe peale puistet.
- Süvendustööde ajal määrati veeproovidest klorofüll *a* kontsentratsioon, mis on fütoplanktoni biomassi iseloomustaja. Oluline oli seda määrata seetõttu, et vee hägusus on mõjutatud ka fütoplanktoni hulgast vees, kuid nagu eelpool mainitud ei mõjutanud fütoplankton oluliselt vee hägususe näitajat. Lisaks loodusliku ja tehnogeense hõljumi eristamisele saadi mõõtmistulemustest teada ka, et sügisene vetikaõitseng hilines ligi kaks nädalat merealal, mis oli tehnogeenset hõljumist kõige enam mõjustatud, hõljumi kontsentratsioon ületas 20 mg/L .
- Veealuse valgusvälja otsesed mõõtmised näitasid, et juba kontsentratsioon 10 mg/L vähendab valgustatust 3 meetri sügavusel vaid 2%-ni pinnalelangevast kiirgusest, Pakri lahe tavasituatsioonis oleks see ligikaudu 20%.

- Satelliitseire jäi süvenduse esimesel perioodil piiratuks kuna selgeid ilmu oli väga vähe, kuid siiski õnnestus kasutada mõningaid pilte. Kevadel oli satelliidikujutistelt võimalik küllaltki efektiivselt hinnata hõljumi leviku areaali. Saadud tulemused, mis kalibreeriti otseste mõõtmistega, läksid hästi kokku antud perioodi tuule- ja hoovusterežiimiga ja nende abil oli võimalik ka verifitseerida osakeste transpordi mudelit.

2.8 Kasutatud kirjandus

Højerslev, N. K. 1980. On the origin of yellow substance in the marine environment. Oceanogr. Rep., Univ. Copenhagen, Inst. Phys. 42, 35p

Lindfors, A., 2001. New advanced method for surface water quality analysis. *Proc. of the workshop*: Bio-optical modelling and remote sensing of the Baltic Sea. Baltic Sea Science Congress, November 29-30, Stockholm, Sweeden

Paldiski Lõunasadama süvenduseelne seire 2002, november 2002 TTÜ Meresüsteemide Instituut, Kõuts T. (toimetaja).

Sipelgas, L., Arst, H, Kallio, K., Erm, A., Oja, P., Soomere, T. 2003. Optical properties of dissolved organic matter in Finnish and Estonian lakes. Nordic Hydrology 4(3) 2003

3. Hoovuste ja hõljumi leviku numbriline modelleerimine

3.1 Hüdrodünaamilise mudeli kirjeldus

Hoovuste arvutamiseks Pakri lahes kasutatakse 2-mõõtmelist numbrilist mudelit, mis põhineb mittelineaarsetel madala mere võrranditel. Võrrandisüsteem koosneb vertikaalselt keskmistatud liikumishulga võranditest

$$\frac{\partial u}{\partial t}+u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}-fv=-g\frac{\partial \eta}{\partial x}+\frac{F_w^x}{h}-\frac{F_b^x}{h}+G^x, \tag{3.1}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t}+u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}+fu=-g\frac{\partial \eta}{\partial y}+\frac{F_w^y}{h}-\frac{F_b^y}{h}+G^y, \tag{3.2}$$

ja pidevuse võrrandist

$$\frac{\partial \eta}{\partial t}+\frac{\partial uh}{\partial x}+\frac{\partial vh}{\partial y}=0, \tag{3.3}$$

kus (u,v) on keskmised kiirused kogu veesambas, $\left(F_w^x,F_w^y\right)$ on kinemaatiline tuule pinge, $\left(F_b^x,F_b^y\right)$ on põhjahõõrde pinge, $\left(G^x,G^y\right)$ on horisontaalne turbulentne viskoossus (x,y) suunas, f on Coriolis'e parameeter, g on raskuskiirendus, η on veetaseme kõrvalekalle tasakaaluasendist, $h(x,y)$ on sügavus. Hoovuste tekitamiseks kasutatakse ühes punktis mõõdetud tuult. Kuna mudeli piirkond hõlmab suhteliselt väikese ala võrreldes tuulevälja sünoptilise muutlikkuse ruumilise mastaabiga, ei arvestata tuulevälja ruumilist muutlikkust. Hõõrdumine mere põhjas on arvutatud kasutades ruutsõltuvust hoovuse kiirusest

$$\begin{aligned} F_b^x &= C_D|\vec{u}|u \\ F_b^y &= C_D|\vec{u}|v \end{aligned}, \tag{3.4}$$

kus C_D on põhja hõõrde koefitsent. Põhja hõõrde koefitsent on ruumiliselt konstantne, kuna puuduvad usaldusväärsed mõõtmised merepõhja ebatasasuste määramiseks. Horisontaalse turbulentsi liikmed arvutatakse kasutades konstantset horisontaalse turbulentse viskoossuse koefitsenti, A_H,

$$\begin{aligned} G^x &= A_H\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right) \\ G^y &= A_H\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right) \end{aligned}. \tag{3.5}$$

Pakri lahe piirkonna hoovuste arvutamiseks kasutatakse avatud radadega mudelit. Avatud rajad on Pakri poolsaarest idas ja põhjas ning Pakri saartest läänes. Avatud radadel kasutatakse radiatsioonilisi rajatingimusi.

Seega võetakse numbrilises mudelis arvesse merepõhja topograafia, maakera pöörlemine, tuul, hõõrdumine mere põhjas ning horisontaalne turbulentne viskoosus.

Mudel ei arvuta temperatuuri ja soolsuse välja. Samuti ka temperatuuri ja soolsuse ruumilisest muutlikkusest tingitud hoovusi, mis on Pakri lahes väikesed võrreldes tuule poolt tekitatud hoovustega. Kahemõõtmelise mudeli korral ei võeta arvesse ka hoovuste vertikaalset struktuuri. Avatud rajatingimuste rakendamine tähendab, et antud mudelis ei arvestata Soome lahe üldtsirkulatsiooni mõju.

3.2 Hõljumi ja lahtiste setete transpordi mudeli kirjeldus

Hõljumi transpodi hindamiseks kasutatakse Lagrange'i osakeste transpordi mudelit. Osakesi transporditakse hoovustega (advektsioon) ning toimub turbulentne osakeste dispersioon. Hoovuste transpordi jaoks on kasutatud hüdrodünaamilise mudeliga arvutatud kiiruste välja, mis on salvestatud 15 minutilise intervalliga. Hoovuse arvutuspunktides saadud kiirused interpoleeritakse osakese asukohta. Ajaliselt interpoleeritakse kahel järjestikusel ajamomendil salvestatud kiirusvälja väärtused osakeste transpordi arvutamise ajahetkele. Turbulentsest dispersioonist tingitud osakeste liikumine on arvesse võetud läbi juhusliku kiirusevälja, mis arvestab ka hoovuse kiirusi antud osakese punktis

$$\vec{v}_{disp} = \vec{v}_{adv}[R]_{-1}^{1}, \qquad (3.6)$$

kus $\vec{v}_{disp}$ on osakese dispersiooni kiirus, $\vec{v}_{adv}$ on osakese advektsiooni kiirus ja $[R]_{-1}^{1}$ on juhuslik arv -1 ja 1 vahel, mis saadakse ühtlasest jaotusest. Antud juhul on dispersiooni kiirus suurem kui kasutades võrdetegurina turbulentse viskoosuse koefitsenti. Seega on suurema hoovuse kiirusega punktides ka intensiivsem osakeste dispersioon. Suurema dispersiooni kiiruse kasutamine on põhjendatud, kuna antud töös pole otseselt arvesse võetud lainetust. Seega kompenseerib suurem dispersiooni kiirus osaliselt lainetuse mõju hõljumi trasnpordi jaoks. Osakese asukoht arvutatakse

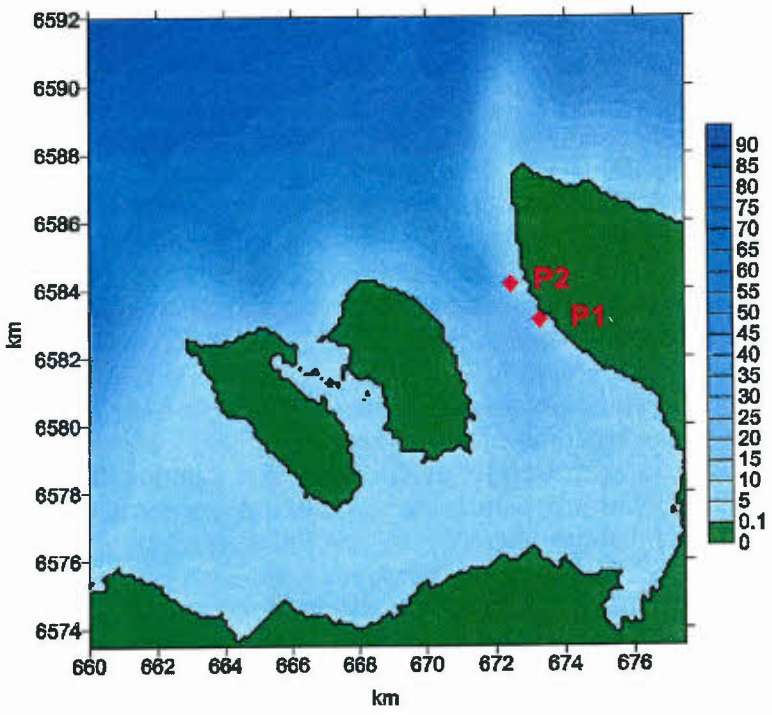
$$\vec{x}(t_n) = \vec{x}(t_{n-1}) + \left(\vec{v}_{adv}(t_{n-1}) + \vec{v}_{disp}(t_{n-1})\right)\Delta t\,. \qquad (3.7)$$

Osakeste transpordi mudelis kasutatud ajasamm, Δt, on 5 min.

3.3 Pakri lahe topograafia

Pakri lahe topograafia mudeli piires on koostatud antud piirkonna Eesti Merekaardi ning Veeteede Ameti andmebaasis olemasolevate antud piirkonnas teostatud sügavuste mõõtmiste põhjal. Numbrilise mudeli arvutuspiirkonnaks on võetud ala 22° 48.5'E - 24° 7.5'E ja 59° 15.75'N - 59° 25.82'N. Selle piirkonna jaoks oli kokku kasutada 918 ebaregulaarselt asetsevat sügavuse väärtust. Kuna numbrilises mudelis kasutatakse regulaarset arvutusvõrku, oli tarvis ebaregulaarselt asetsevad sügavuse väärtused interpoleerida regulaarsele võrgule vastavalt mudelis kasutatavale võrgusammule (arvutuspunktide vaheline kaugus).
Pakri lahe topograafia Väike Pakri saare ja Pakri poolsaare vahel on tugevalt anisotroopne – järsk merepõhja nõlv risti kaldaga ning ühtlane sügavus piki rannikut. Topograafia omapära ning suhteliselt harvalt asetsevad sügavuse väärtused raskendavad sobiva interpolatsioonimeetodi valikut. Olemasolevate sügavuse andmete jaotuse korral on põhjendatud, et mudelis kasutatav võrgusamm on ¼ meremiili. Sellise

võrgusammu korral ei ole aga võimalik rahuldatavalt arvestada süvendustööde toimumist erinevates kohtades – näiteks sadama akvatoorium ja laevade pöördeala. Väiksema võrgusammu kasutamise korral deformeeritakse lahe topograafiat interpolatsiooni käigus võrreldes reaalse topograafiaga. Parema mudeli topograafia saamiseks oleks tarvis teostada merepõhja sügavuse mõõdistus Pakri poolsaare ja Väike Pakri saare merepõhja nõlva piirkonnas. Mudelarvutustes kasutatav topograafia on võrgusammuga 125 m (Joonis 3.1).



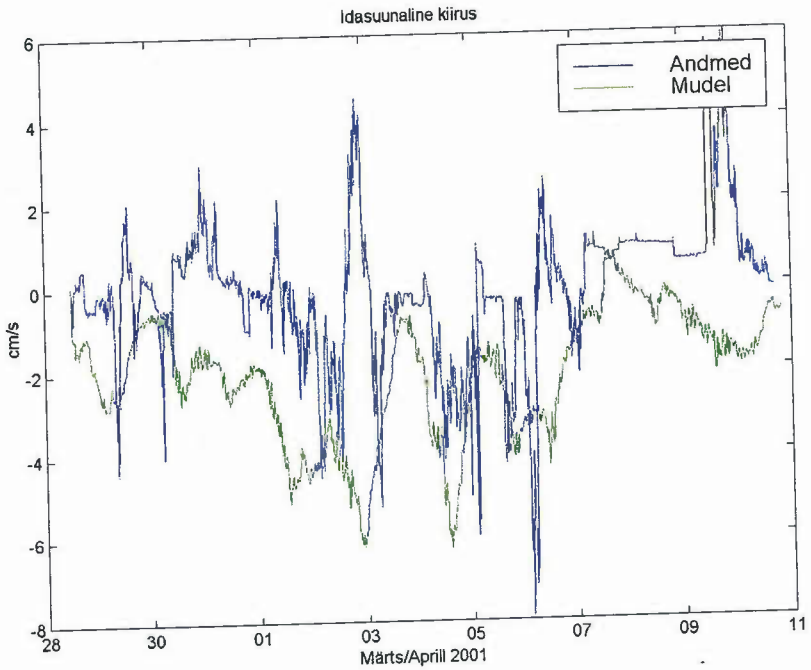
Joonis 3.1. Pakri lahe topograafia 125 m võrgusammuga numbrilise mudeli korral UTM-34 tsooni koordinaatideks. Hoovusemõõtmiste asukohad on tähistatud punaste ristitega.

3.4 Hoovuste numbrilise mudeli verifitseerimine

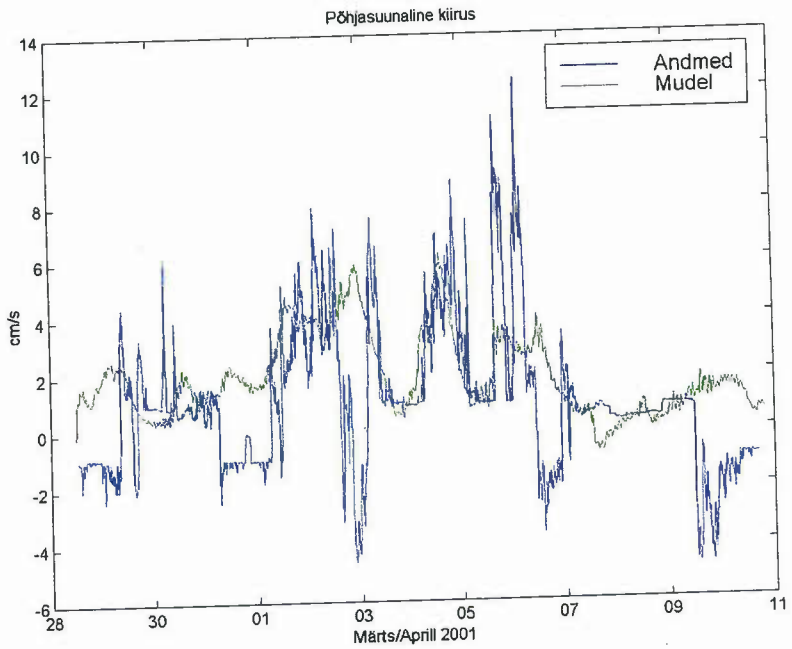
Võrranditest (3.4) ja (3.5) on näha, et arvutuse tulemused sõltuvad kahest parameetrist – põhjahõõrde ja horisontaalse turbulentse viskoossuse koefitsendist, mille väärtused võivad varieeruda väga suurtes piirides. Seetõttu on väga oluline Pakri lahe jaoks rakendatud numbrilise mudeli verifitseerimine, s.o. mudeli tulemuste ja mõõtmisandmete võrdlus teatud ajaperioodi jaoks.

Numbrilise mudeli verifitseerimiseks on kasutatud hoovusemõõtmisi kahest asukohast kahel erineval ajaperioodil. Poijaam *P1* (Joonis 3.1) paiknes Paldiski Põhjasadama lähedal 10 m sügavuses vees veealuse nõlva kohal 7 m sügavusel. Kasutatavad andmed on perioodist 28.märts 2001.a - 10.aprill 2001.a. Teine poijaam *P2* (Joonis 3.1) paiknes Paldiski Põhjasadamast põhjas merepõhja nõlval 23 m sügavuses vees. Hoovusemõõtmisi teostati kahe hoovusemõõtjaga 5 m ja 20 m sügavusel. Kasutatavad andmed on perioodist 08.november 2002.a - 21.november 2002.a. Numbrilises mudelis kasutati hoovuste tekitamiseks samadel perioodidel mõõdetud tuult. Kuna esimese perioodi kohta Paldiski piirkonnas tuule mõõtmised puudusid, on kasutatud Muuga sadamas mõõdetud tuult. Teisel perioodil on kasutatud Paldiski Lõunasadamas mõõdetud tuult.

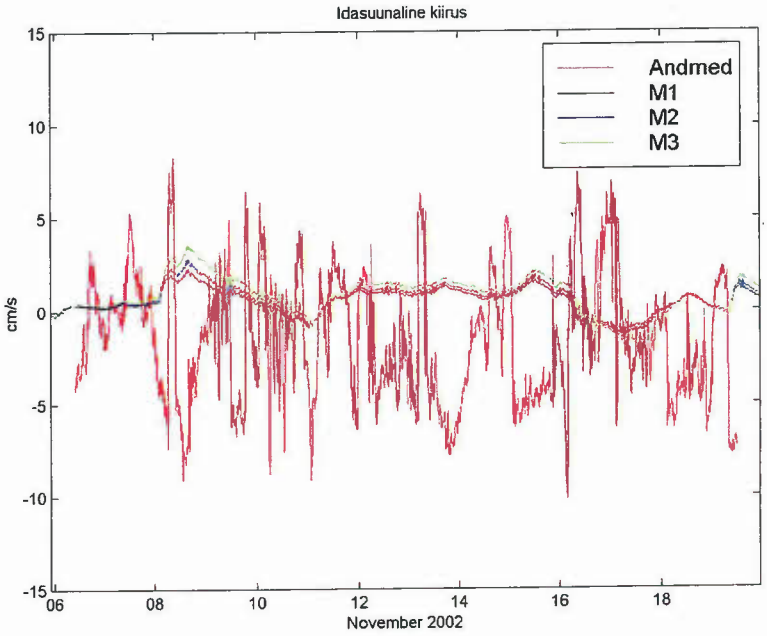
Erinevates arvutustes muudeti põhjahõõrde ja horisontaalse turbulentse viskoossuse koefitsente ning võrreldi saadud tulemusi mõõtmisandmetega. Põhjahõõrde koefitsenti mõjutab hoovuste dissipatsioon põhjas – suurema koefitsendi korral sumbuvad hoovused kiiremini. Horisontaalne turbulentne viskoosus mõjutab hoovuste muutlikkust ruumis – suurema koefitsendi korral on hoovuste horisontaalne varieeruvus väiksem.
Joonistel 3.2 ja 3.3 on esitatud mudeli ja mõõtmistulemuste võrdlus poijaama *P1* asukohas, kui põhjahõõrde koefitsent ja turbulentse viskoosuse koefitsent olid C_D =7.5*10^{-4} ja A_H=10^5 m^2/s. Selline koefitsentide valik annab parima kokkulangevuse. Idasuunalise kiiruse komponendi korral langevad modelleeritud kiiruse muutused rahuldavalt kokku mõõdetud kiiruse muutustega. Mudel hindab üle läänesuunalise voolamise keskmiselt 2 cm/s. Mõõtmistest on perioodi keskmine kiirus –0.1 cm/s, mudelarvutuste põhjal aga –2.1 cm/s. Põhjasuunalise kiiruse komponendi kokkulangevus on parem. Mõõtmistest on perioodi keskmine kiirus 1.0 cm/s, mudelarvutuste põhjal aga 1.9 cm/s. Seega, kui mõõtmiste põhjal toimub nõrk keskmine voolamine põhja suunas, siis mudelarvutustes on keskmine voolamine loodesse. Lühiajalised tugevad kiiruse puhangud, mida mudelarvutustes ei õnnestu reprodutseerida, võivad olla tingitud sellest, et mudelis on kasutatud Muuga sadamas mõõdetud tuult. See ei pruugi kokku langeda lühiajaliste tuule puhangutega Pakri lahel. Mudelarvutuste tulemused, mis tehti 463 m võrgusammuga mudeliga, mille topograafia on korrektsem, võttes arvesse topograafilistel kaartidel olevate mõõtmispunktide tiheduse, andis parema kokkulangevuse (Süvenduseelsed hüdrodünaamilised, geoloogilised ja mereelustiku uuringud Pakri lahes ja Paldiski Põhjasadama läheduses, TTÜ Meresüsteemide Instituut 2003).
Teisel perioodil (november 2002.a) teostati hoovusemõõtmiseid sügavamas jaamas kahel horisondil. Mõõtmisandmete analüüs näitas, et hoovustel on arvestatav vertikaalne struktuur, mida 2-mõõtmelises mudelis ei arvestata. Kahemõõtmeline mudel annab keskmise kiiruse kogu veekihis. Selleks, et võrrelda mudeli tulemusi ning hoovuse mõõtmisi, on hoovusmõõtmistest arvutatud keskmine kiirus kogu veekihis. Keskmistamisel on eeldatud, et ülemisel horisondil teostatud mõõtmised esindavad keskmist kiirust pindmises 7-m kihis ning alumisel horisondil teostatud mõõtmised ülejäänud veekihis. Vastavalt sellisele jaotusele on arvutatud kaalutud keskmine vertikaalne hoovus, mida on võrreldud mudeli tulemustega. Mudelarvutused on teostatud varieerides horisontaalset turbulentse viskoosuse koefitsenti (M1 - A_H=10^5 m^2/s; M2 - A_H=7.5*10^4 m^2/s; M3 - A_H=5*10^4 m^2/s). Tulemused ida- ja põhjasuunalise kiiruse komponendi jaoks on esitatud joonistel 3.4 ja 3.5. Kokkulangevus mudeli tulemuste ja mõõtmisandmete vahel on nõrgem kui Paldiski Põhjasadama juures teostatud mõõtmiste korral. Horisontaalse turbulentse viskoosuse koefitsendi varieerimine mõjutab tulemusi ebaoluliselt. Idasuunaline hoovuse komponent, mis iseloomustab risti kallast voolamist on mudelis vähem varieeruv kui mõõdetud. Mõõtmisandmetest arvutatud vertikaalselt keskmistatud hoovuse korral domineerivad ülemises kihis mõõdetud väärtused. Joonistel 3.6 ja 3.7 on esitatud mudeli tulemuste võrdlus alumises (20-m sügavusel) veekihis mõõdetud hoovustega. Kokkulangevus on sellisel juhul parem. Teatavad erinevused on siiski täheldatavad ka mõõtmisperioodi keskmise voolamise jaoks. Mõõtmisandmed näitavad ida-lääne suunalise hoovuse komponendi jaoks nõrka läänesuunalist voolamist, mudeli tulemustes on täheldatav nõrk idasuunaline voolamine. Põhjasuunalise hoovuse komponendi korral on kokkulangevus mudeli ja mõõtmiste vahel parem. Peamised erinevused on mõõtmiste perioodil, kui mõõtmistes domineerivad madalsageduslikud võnkumised. Püsivale tuulele vastavas situatsioonis ja sel ajal, kui toimub hoovuste välja ümberformeerumine, on mudeli ja mõõtmisandmete kokkulangevus hea.
Hõljumi ja lahtiste setete transpodi mudelit verifitseeritakse süvendustööde käigus saadavate mõõtmiste ja satelliidipiltidega.



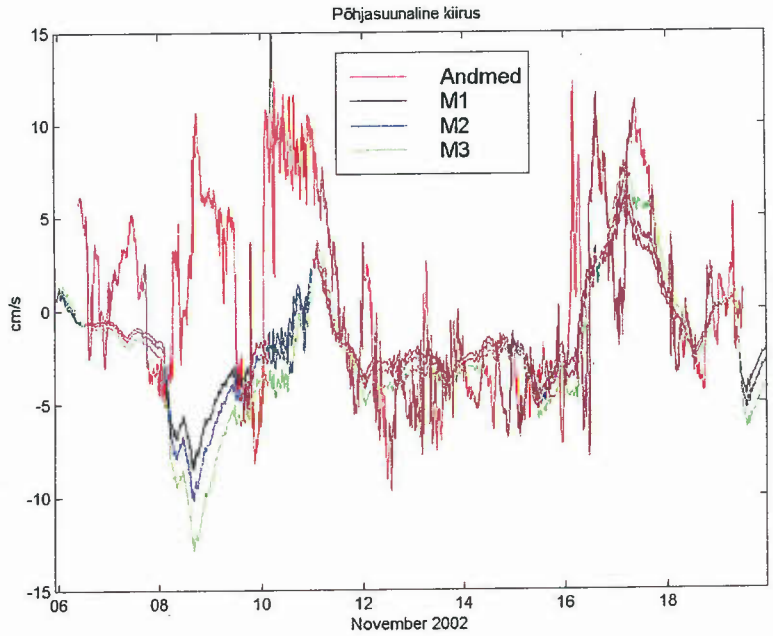
Joonis 3.2 Mõõdetud, poijaam *P1*, (sinine) ja modelleeritud (roheline) hoovuse idasuunaline komponent, C_D =7.5*10^{-4} ja A_H =10^5 m^2/s



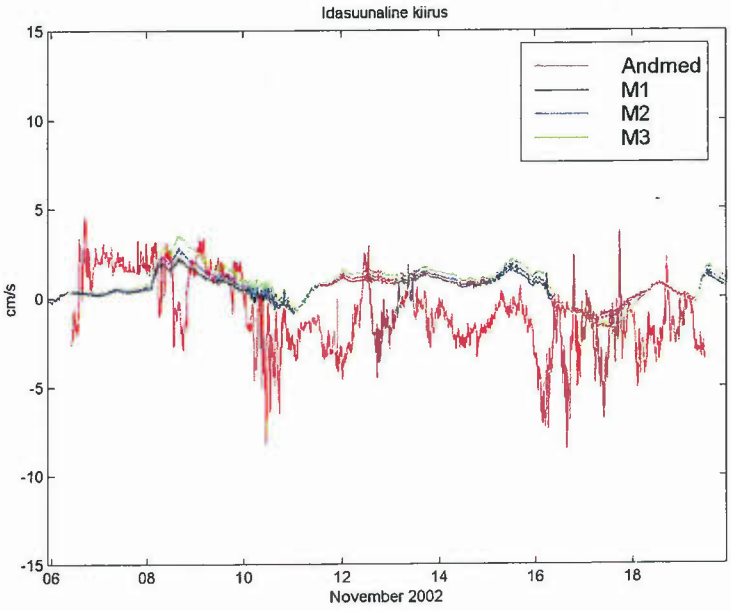
Joonis 3.3 Mõõdetud, poijaam *P1*, (sinine) ja modelleeritud (roheline) hoovuse põhjasuunaline komponent, C_D =7.5*10^{-4} ja A_H =10^{5}m^2/s



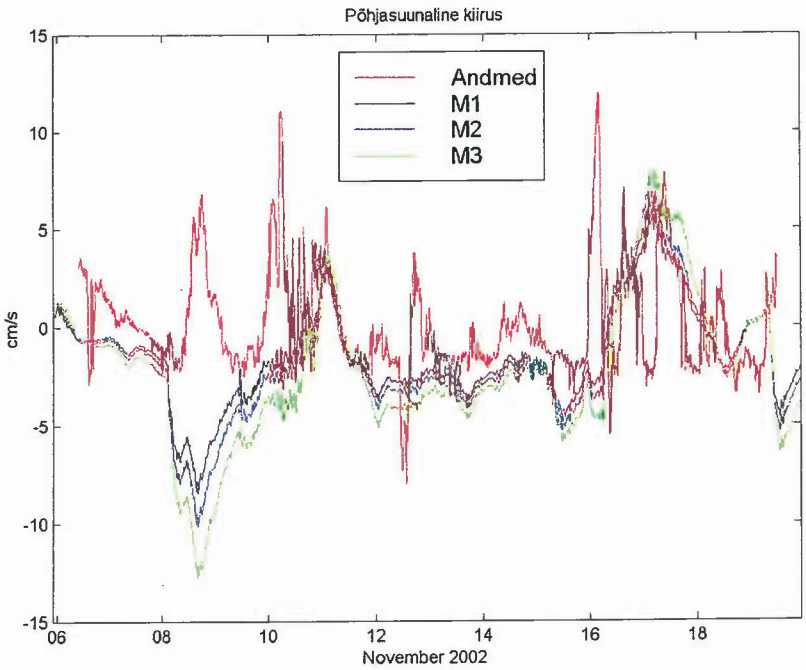
Joonis 3.4 Mõõtmisandmetest, poijaam *P2*, arvutatud keskmine (punane) ja modelleeritud A_H =10^5 m^2/s (must), A_H =7.5*10^4 m^2/s (sinine) ja A_H =5*10^4 m^2/s (roheline) hoovuse idasuunaline komponent, C_D =7.5*10^{-4}



Joonis 3.5 Mõõtmisandmetest, poijaam *P2*, arvutatud keskmine (punane) ja modelleeritud A_H =10^5 m^2/s (must), A_H =7.5*10^4 m^2/s (sinine) ja A_H =5*10^4 m^2/s (roheline) hoovuse põhjasuunaline komponent, C_D =7.5*10^{-4}



Joonis 3.6 Mõõdetud, poijaam *P2*, 20-m sügavusel (punane) ja modelleeritud A_H =10^5 m^2/s (must), A_H =7.5*10^4 m^2/s (sinine) ja A_H =5*10^4 m^2/s (roheline) hoovuse idasuunaline komponent, C_D =7.5*10^{-4}



Joonis 3.7 Mõõdetud, poijaam *P2*, 20-m sügavusel (punane) ja modelleeritud A_H =10^5 m^2/s (must), A_H =7.5*10^4 m^2/s (sinine) ja A_H =5*10^4 m^2/s (roheline) hoovuse põhjasuunaline komponent, C_D =7.5*10^{-4}

3.5 Süvendusel vette sattunud hõljum ja lahtised setted

Vette sattunud materjali allikate koormuse arvutamiseks võetakse aluseks süvendusmahud (Joonis 3.8) ja episoodilised mõõtmised süvendusperioodi vältel vette sattunud settematerjali kontsentratsiooni ja suurusjaotuse kohta. Siiski saab hõljumi allikate koormuse määramine olla ligikaudne, kuna juba nimetatud mõõtmisi ei tehtud pidevalt ja kõigis allikana käsitletava mereala ruumipunktides.

Hõljum ja süvendamisel vette sattunud lahtised setted on jagatud kahte tüüpi – kerge fraktsioon ja raske fraktsioon. Raskeks fraktsiooniks on liiv (tihedus 2500 kg/m^3) ja kergeks fraktsiooniks on muda ja sau (tihedus 1000 kg/m^3). Kerge fraktsioon moodustab peamise osa hõljumist, raske fraktsioon aga peamise osa settinud materjalist ja põhjalähedasest suspensioonist. Osakeste transpordi mudelis võetakse erinevad osakeste tüübid arvesse läbi advektsiooni hoovuse kiiruse. Raske fraktsiooni korral on kriitiliseks hoovuse kiiruseks, mille korral toimub osakeste advektsioon, 10 cm/s. Selline kiirus on analoogiks põhjasetete resuspensiooni kiirusele. Sobivate hüdrodünaamiliste tingimuste korral võib raske fraktsioon resuspendeeruda veekihti ning kanduda hoovustega uude asukohta. Kerge fraktsiooni korral kriitiline advektsiooni kiirus puudub. Seetõttu on kerged osakesed pidevas liikumises. Kuna osakeste settimist pole otseselt arvesse võetud, ning ka põhja settinult on tegemist suhteliselt lahtiste setetega, ka raskete osakeste korral, on dispersiooni kiirus alati määratud seosega (3.6).

Päevas vette sattunud hõljumit ja lahtisi setteid arvestav osakeste arv on

$$N = 11.52 * Sm(t), \tag{3.8}$$

kus N on osakeste koguarv päevas ja $Sm(t)$ on süvendusmaht päevas (m^3). Osakeste arv päevas jaotatakse ühtlaselt vastavalt mudeli ajasammude arvuga, et oleks tegemist pideva allikaga.

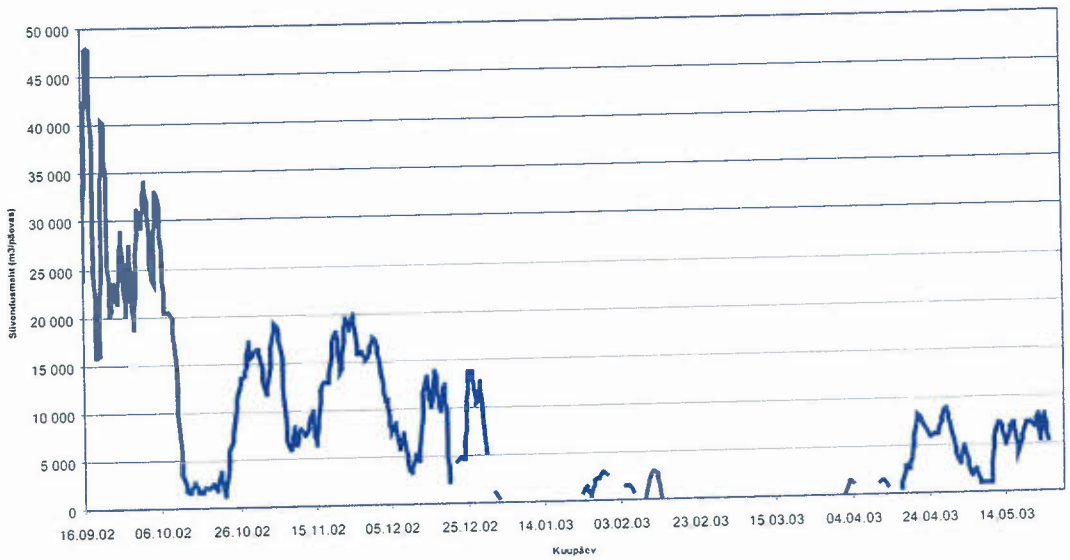
Osakeste koguarv on jagatud kergeks

$$N_k = a_k N \tag{3.9}$$

ja rasketeks fraktsiooniks

$$N_r = a_r N, \tag{3.10}$$

kus N_k on kergete osakeste arv ja a_k kergete osakeste osakaal ning N_r on raskete osakeste arv ja a_r raskete osakeste osakaal vette sattunud hõljumist ja lahtistest setetest.
Iga üksik osake esindab vette sattunud hõljumit ja lahtisi setteid ruumalaga 10^{-3} m^3. Võttes arvesse raskete ja kergete osakeste tiheduse, saadakse, et iga kerge osake esindab 1 kg kerget fraktsiooni ja iga raske osake 2.5 kg rasket fraktsiooni. Iga selline kogus käitub ühte moodi, kuna ta on seotud ühe konkreetse osakesega.



Joonis 3.9 Süvendusmahud (m^3/päevas) kogu süvendusperioodil arvestades kõiki süvendajaid.

Hõljumi ja setete trasnpordi arvutused on teostatud kahe erineva perioodi jaoks:

1. 16. september 2002.a – 02. jaanuar 2003.a
2. 15. aprill 2003.a – 23. mai 2003.a.

Vahepealsel perioodil teostati süvendamist väga harva ning süvendusmahud olid ebaolulised. Samuti kattis enamusel perioodist Pakri lahte jää.

Esimesel perioodil teostati arvutusi määrates allikate koormused vastavalt seostele (3.8) – (3.10), s.o. arvestades päevaseid süvendusmahtusid. Allikate määramisel on samuti arvesse võetud erinevad süvendajad ning nende erinevad asukohad. Süvenduse alguses on peamiseks materjaliks väga peenefraktsiooniline muda ja sau. On eeldatud, et Volvox Hollandia süvendamise ajal, mis kasutab lõikur-pumba tehnoloogiat, ja mis töötas süvendusperioodi alguses oli vette sattunud materjalist 90% kerge fraktsioon ja 10% raske fraktsioon. Teiste süvendajate puhul oli eeldatud, et 60% oli kerge ja 40% raske fraktsioon. Vastavalt sellisele valitud protsentuaalsele jaotustele jaotus ka kogu osakeste arv kergeteks ja rasketeks. Seega oli a_k=0.9 Volvox Hollandia korral ja 0.6 teiste süvendajate korral ning a_r=0.1 Volvox Hollandia ja 0.4 teiste süvendajate korral. Kokku oli arvutustes ajaliselt ja asukohaliselt 13 erinevat allikat, mis omakorda jaotusid vastavalt erinevatele fraktsioonidele veel kaheks. Süvenduse asukohtadena on arvestatud sadama akvatooriumi, laevade pöördeala sadama akvatooriumi lähedal ja laevade pöördeala sadama akvatooriumist eemal. Võttes arvesse iga osakese parameetrid, on päevas erinevatest allikatest vette sattunud kerge ja raske hõljumi ja lahtiste setete kogus esitatud Joonisel 3.10. Kogu esimesel perioodil süvendustöödega vette sattunud materjal on esitatud Joonisel 3.11. Võrreldes vette päevas vette sattunud materjali mahtusid süvendusmahtudega on näha, et allikas on võetud selliselt, et päevas satub vette veidi üle 1% süvendatava materjali kogusest.

Teisel perioodil võeti keskmine süvendusmaht 5000 m^3 päevas ning osakeste jaotus võrdselt: 50% kerge ja 50% raske fraktsioon. Allikad võeti kahte asukohta – sadamas ja sadama lähedal laevade pöördealas. Sellise süvendusmahu korral satub mõlemast asukohast vette 14400 kerget ja rasket osakest. Võttes ühe mudelis kasutatava raske osakese kaaluks 2.5 kg ja kerge osakese kaaluks 1 kg, satub ühest allikast ööpäevas vette 2.5*14400 kg liiva ja 1*14400 kg muda ja saud. Mahuliselt satub vette ühest allikast 14.4 m^3 muda ja 14.4 m^3 liiva, ning samad kogused ka teisest allikast. Seega satub vette

ööpäevas 57.6 m^3 pinnast. Arvestades, et süvendamise maht on 5000 m^3, siis vette sattuv osa moodustab umbes 1% süvendamise mahust.
Hõljumi kontsentratsioon vees iseloomustab osakeste hulka kogu veekihis, k.a. põhja settinud materjal. Kontsentratsiooni arvutamiseks on loetud kokku igasse arvutusvõrgu pesasse sattunud osakeste arv. Igale osakesele on omistatud kaal, mis kergete osakeste korral on 1 kg ja raskete osakeste korral 2.5 kg. Seega on kontsentratsiooni väärtuseks (g/m^3) igas mudeli arvutuspunktis kergete osakeste korral

$$C_k(x_i, y_j) = N_k * 1000 * 125 * 125 * H(x_i, y_j) \quad (3.11)$$

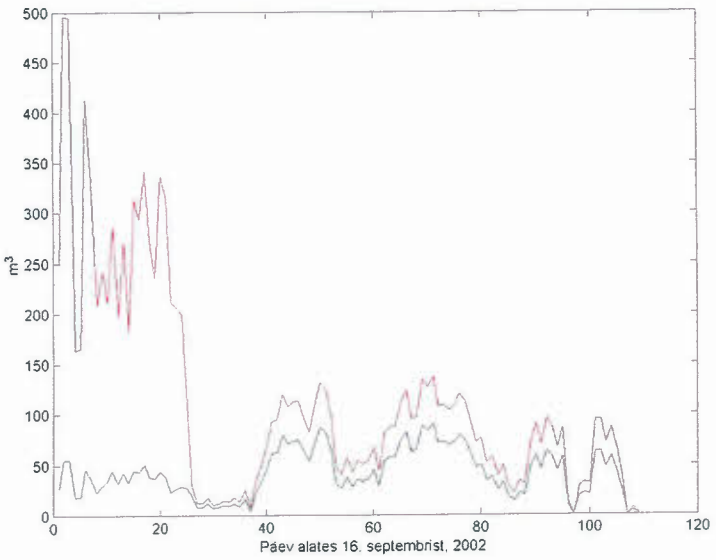
ja raskete osakeste korral

$$C_r(x_i, y_j) = N_r * 2500 * 125 * 125 * H(x_i, y_j), \quad (3.12)$$

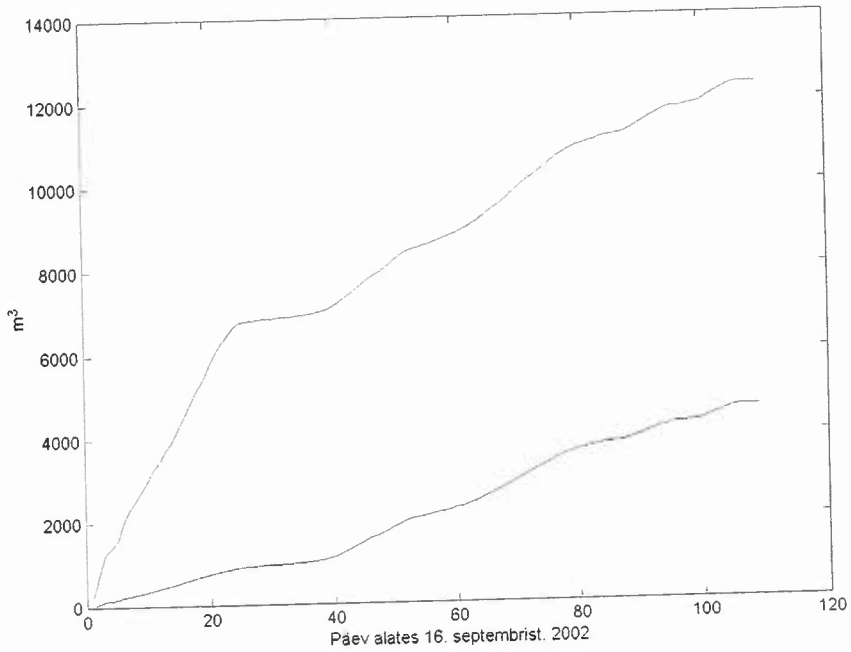
kus 125*125 on ühe võrgupesa pindala, 1000 ja 2500 osakeste kaalud (g), N_k ja N_r on kergete ja raskete osakeste arv ning $H(x_i, y_j)$ on vee sügavus antud võrgupunktis. Kogukontsentratsioon saadakse

$$C(x_i, y_j) = C_k(x_i, y_j) + C_r(x_i, y_j). \quad (3.13)$$

Vastavalt seostele (3.11) – (3.13) arvutatud kontsentratsioonid ei lange kokku osakeste arvuga mingis võrgu pesas. Kuna on tegemist 2-mõõtmelise hoovuste mudeliga, mis ei võta arvesse osakeste vertikaalset jaotust, vaid on eeldatud, et osakesed on jaotunud ühtlaselt koge veekihis, on õigustatud hõljumi ja setete selline kontsentratsioonide arvutus. Ka ei eristata otseselt milline osa süvendamisel vette sattunud materjalist on suspendeeritud ja milline põhja settinud. Kuna süvendamisel vette sattunud materjal jaotub nii vee pinnal, veekihis kui ka settib põhja, siis annab selline kontsentratsioonide arvutus integraalse ülevaate süvendustööde käigust mõjutatud piirkondade kohta.



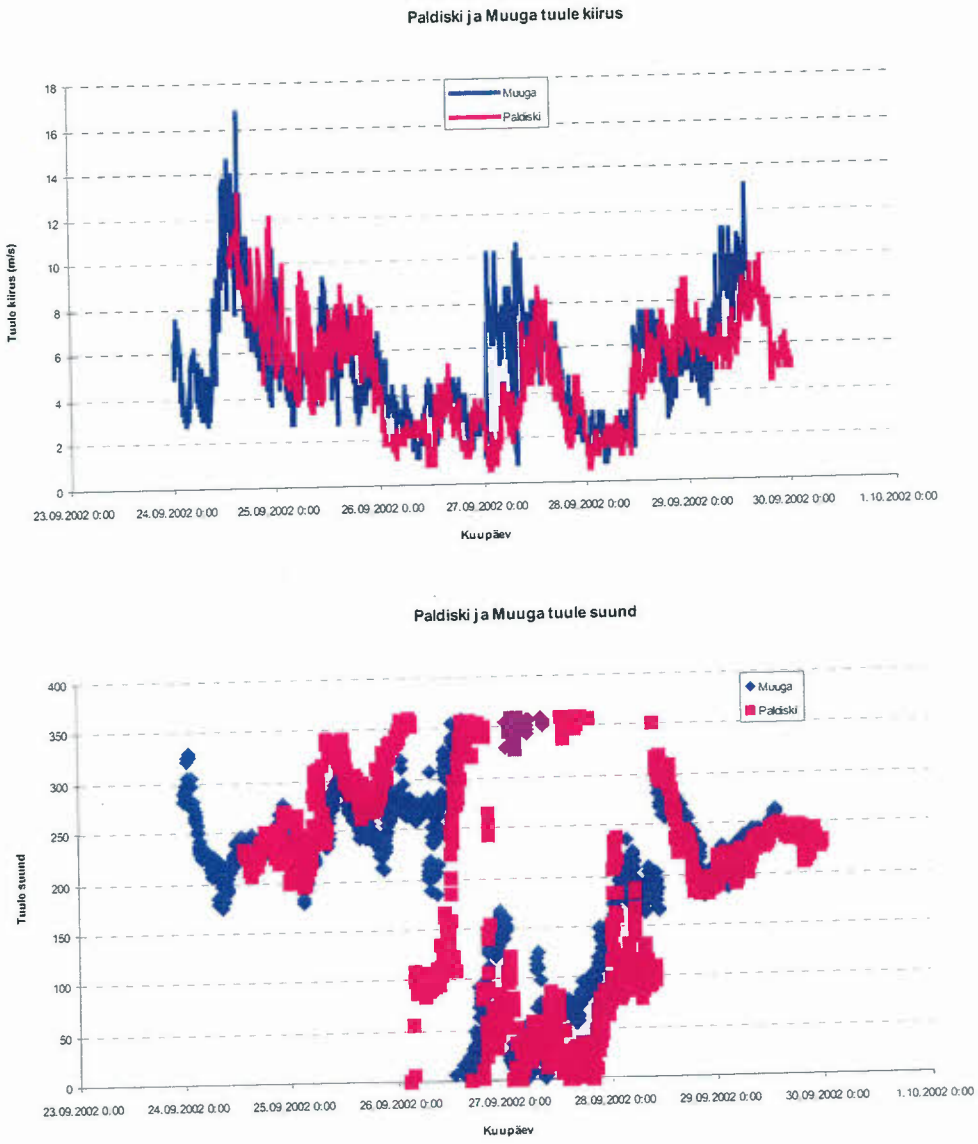
Joonis 3.10 Süvendamisel vette sattunud hõljumi ja lahtise settematerjali mahud päevas eraldi kerge (punane) ja raske (must) fraktsiooni jaoks.



Joonis 3.11 Süvendamisel vette sattunud hõljumi ja lahtise settematerjali akumuleeritud mahud eraldi kerge (punane) ja raske (must) fraktsiooni jaoks.

3.6 Hõljumi leviku modellerimine 2002.a sügisel

Süvendustööd algasid Paldiski Lõunasadamas 16.septembril 2002.a ja kestsid 2.jaanuarini 2003.a. Sellel perioodil vette sattunud hõljumi ja lahtiste setete leviku modelleerimiseks on alustatud arvutusi hüdrodünaamilise mudeliga 10.septembrist 2002.a, sellepärast et hoovused on peamine faktor, mis põhjustab hõljumi edasikannet. Kuus päeva on piisavalt pikk aeg, et saada väljakujunenud hoovuse jaotust süvendustööde alguskuupäevaks.



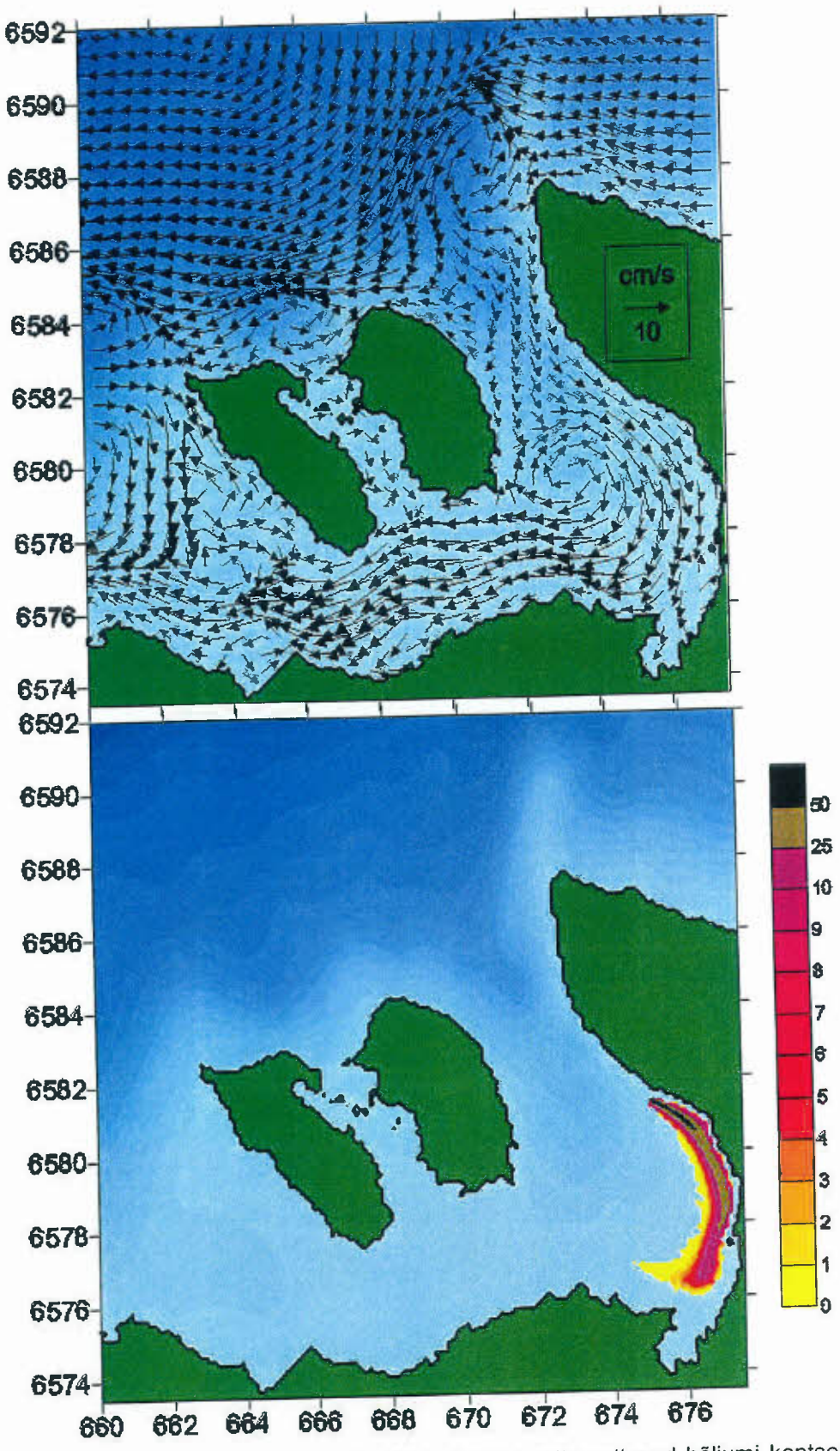
Joonis 3.12 Mõõdetud tuule kiirus ja suund Muuga lahes (sinine) ja Pakri lahes (lilla)

Lokaalse tuulevälja, mis on hoovuste peamiseks tekitajaks Pakri lahes, saamiseks on kasutatud tuulemõõtmisi Muuga lahes ajavahemikul 10. – 24.september, kuna Pakri lahes tuulemõõtmisi sel periodil ei teostatud. Muuga lahe ja Paldiski Lõunasadama tuulemõõtmiste võrdlemine näitas, et üldiselt on tuuled piisavalt sarnased (Joonis 3.12), selleks et hoovuste modelleerimisel kasutada Muuga tuult kui Pakri lahe piirkonnas mõõtmised puuduvad. Hoovustevälja modelleerimisel pole samuti arvesse võetud tuule ruumislist muutumist, sest Pakri laht on oluliselt väiksem võrreldes atmosfääri sünoptilise muutlikkusega.
Kaks päeva enne süvendustööde algust domineerisid põhjakaarte tuuled tugevusega keskmiselt 10 m/s. Süvendustööde alguseks on väljakujunenud hoovuste skeem, kus Paldiski Lõunasadama juures on hoovus suunatud Pakri lahe lõunaossa (Joonis 3.13). Vastavalt hoovustele kantakse hõljum Paldiski Lõunasadama juurest piki Pakri poolsaare rannikut lõuna poole. Kellaosuti liikumise suunaline tsirkulatsioon Pakri lahe lõunaosas hoiab hõljumipilve suhteliselt ranniku lähedal.

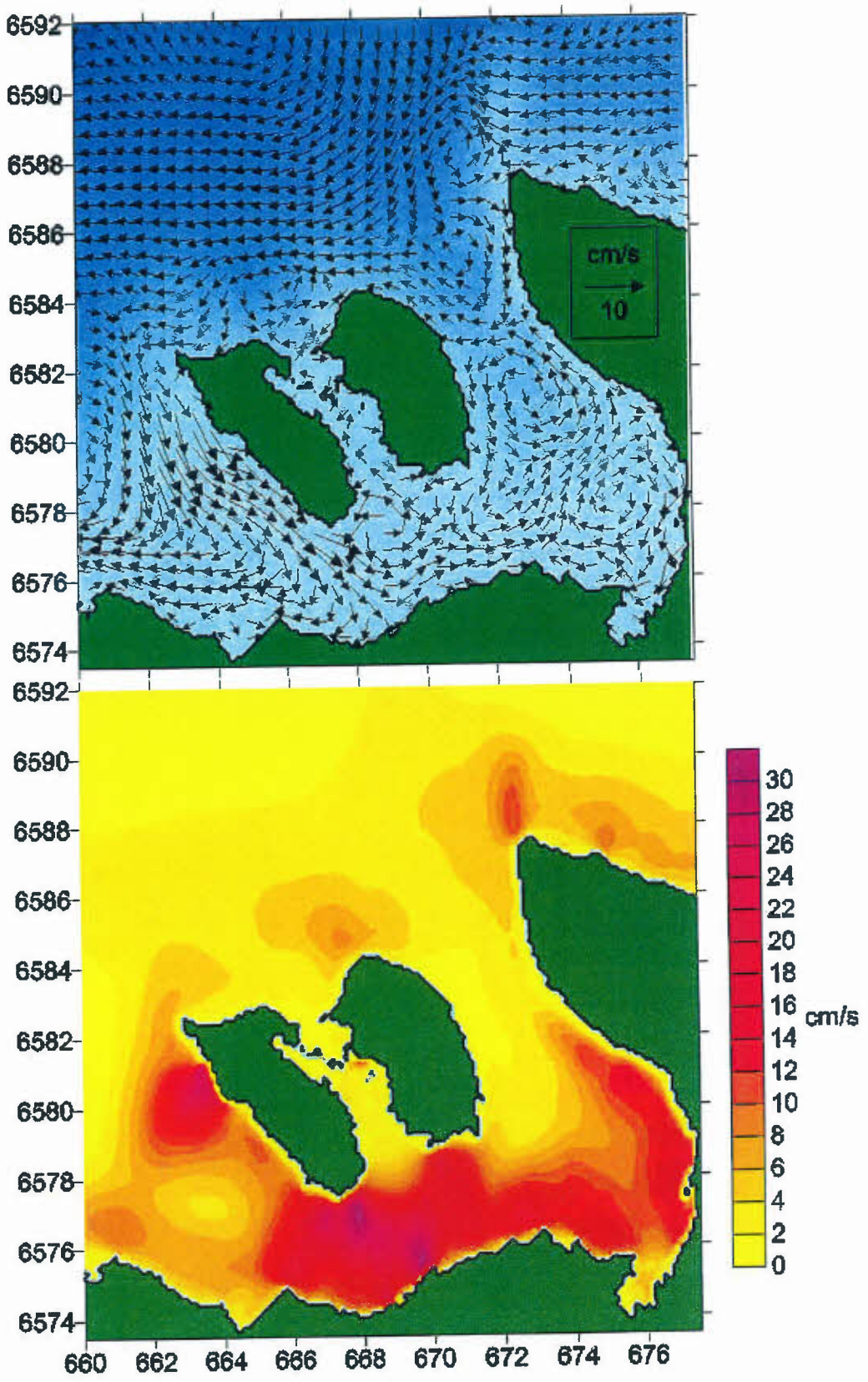
Kogu sügisese süvendustööde perioodi jaoks on hõljumi ja setete jaotus esitatud poolekuuse intervalliga. Lisaks on esitatud vastava perioodi keskmine hoovus ja hoovuste muutlikkus.

16. – 30.september 2002.a. Süvenduse esimesel kahel nädalal on Pakri lahe piirkonnas muutliku suunaga keskmise tugevusega tuuled. Siiski esineb rohkem põhjakaarte tuuli, kuid 29. - 30.septembril puhuvad peamiselt keskmise tugevusega edelatuuled. Ka selle perioodi keskmised hoovused on suhteliselt nõrgad ja mitteregulaarse struktuuriga (Joonis 3.14). Üle perioodi keskmistatud hoovuse väljas on suhteliselt palju suletud tsirkulatsiooni pesi. Samas on hoovuste muutlikkus küllaltki suur Pakri lahe lõunaosas ja Kurkse väinas. Setete jaotuses 30.septembril on näha, et muutuvate ja ebapüsivate hoovuste tulemusena on süvenduse käigus vette sattunud setted jaotunud üle suure ala (Joonis 3.15). Olgugi et pinnahõljumi jaotus ja kogusetete jaotus langevad kokku, on osa raskemast sette fraktsioonist jäänud Pakri lahe sügavamasse ossa ning Kurkse väinast läände. Kurkse väin ja lahe lõunaosa on hõljumist ja setetest praktiliselt puhas, välja arvatud rannakulähedane piirkond. Selles piirkonnas on tegemist tugevate ja muutlike hoovustega, mistõttu on seal settimiseks ebasoodsad tingimused ning esineb sagedane resuspensioon. Ka raskem fraktsioon ei jää sinna pidama. Intensiivne suspendeeritud setete ja pinnahõljumi transport Lõunasadamast põhja suunas on tingitud edelatulte tekitatud hoovustest Pakri lahes (Joonis 3.16). Märkimisväärne on mõnesaja metrise laiusega hõljumi filamentide moodustumine Pakri lahes.

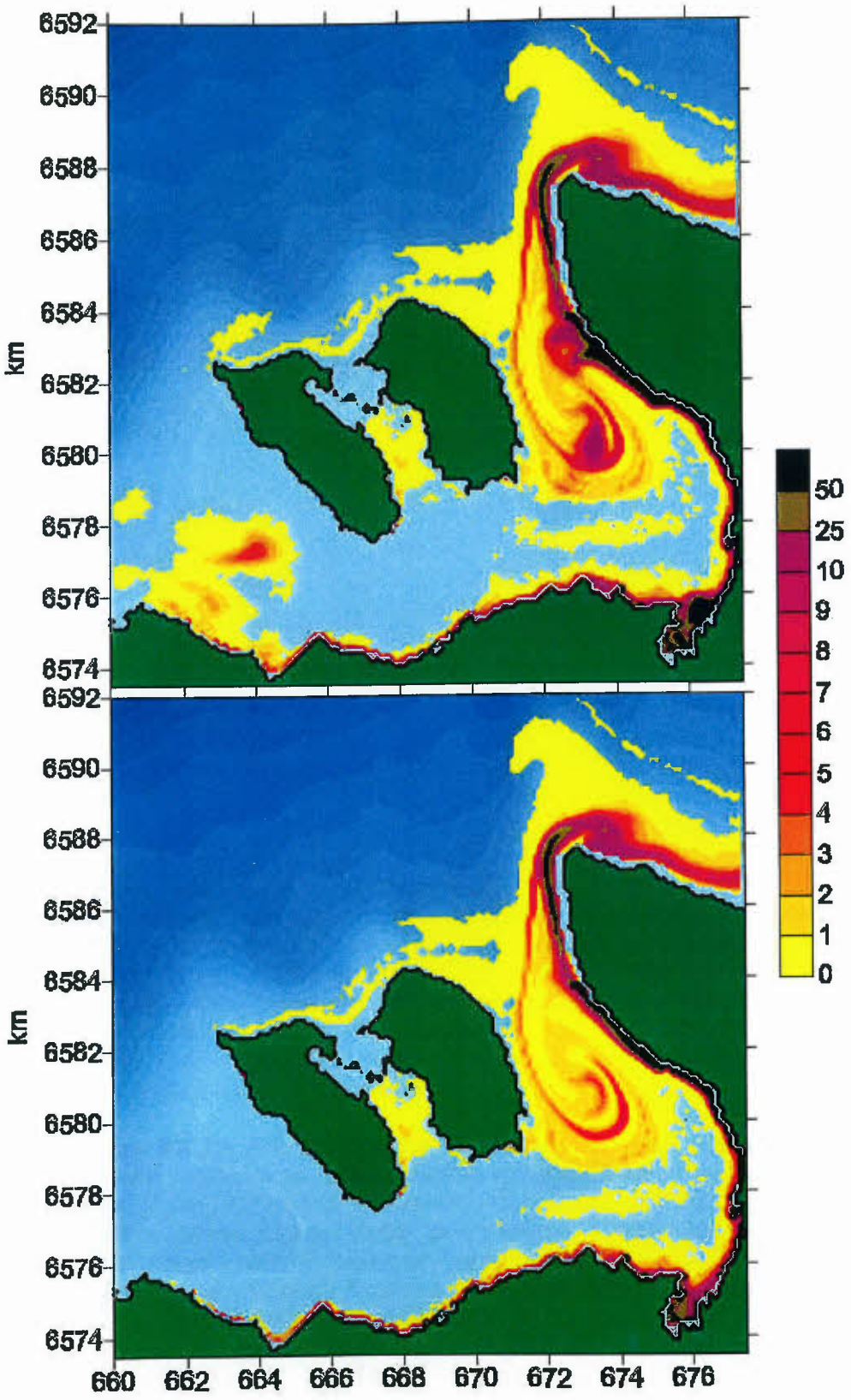
1. – 15.oktoober 2002.a. Oktoobri esimesel nädalal domineerivad peamiselt loode-, ülejäänud perioodil aga kirde- ja idatuuled. Tuul on veidi tugevam kui eelmisel perioodil. Selliste tuulte korral toimub sissevool Pakri lahte Väike Pakri saare ja Pakri poolsaare vaheliseselt alalt ning väljavool läbi Kurkse väina (Joonis 3.17). Setete transport on seetõttu peamiselt lahe lõunaossa ning läbi Kurkse väina Pakri lahest välja. Lahe lõunaosa madala sügavuse tõttu on ka kiiruste muutlikkus seal suurim. Iga väiksemgi tuule muutus kutsub esile muutused hoovuste väljas ja hoovuste reaktsioon tuule muutustele on väga kiire. Hõljumi transport perioodi lõpuks näitab, et lahe lõunaosa rannikulähedane piirkond on kaetud süvendamisest pärinevate setega (Joonis 3.18). Setete suurem fraktsioon katab Pakri lahe sügavama lõunapoolse osa ning ulatub rannikulähedases piirkonnas Paldiski Põhjasadamani. Osaliselt on kergemaid setteid kantud ka ümber Pakri saarte.



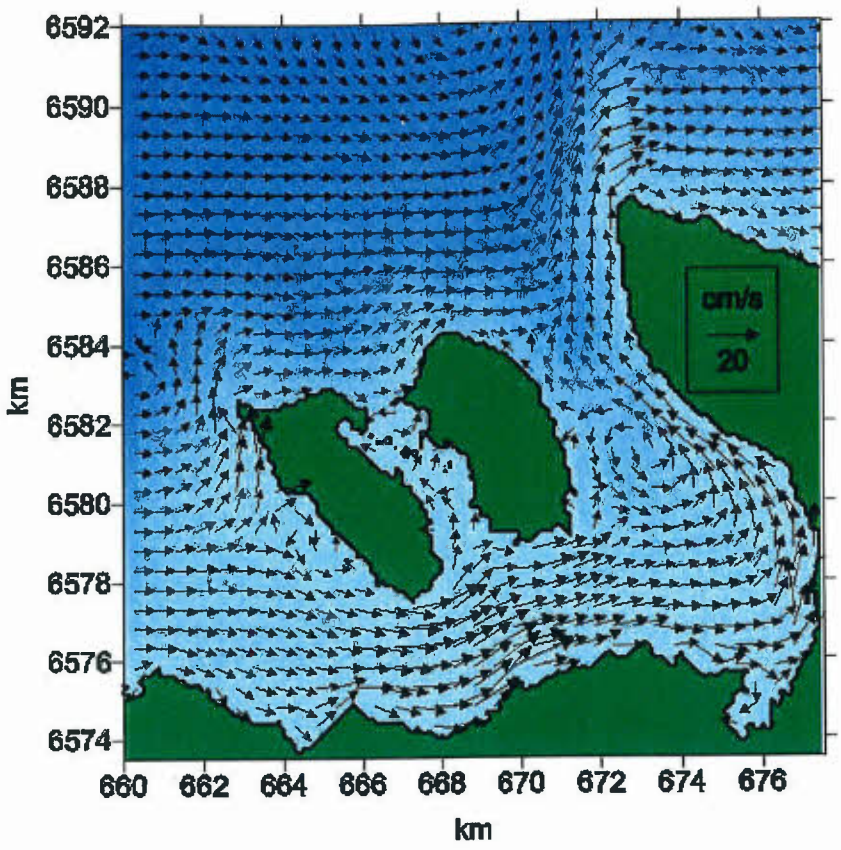
Joonis 3.13 Hoovuste skeem ja süvendustööde käigus vette sattunud hõljumi kontsentratsioon (g/m^3) 16.septembril 2002.a keskpäeval



Joonis 3.14 Keskmine hoovuste skeem ja hoovuste muutlikkus perioodi 16. – 30.september 2002.a ajal



Joonis 3.15 Koguhõljumi, suspendeeritud ja settinud süvendustööde käigus vette sattunud materjali kontsentratsioon (g/m^3, ülemine) ja kerge fraktsiooni kontsentratsioon (g/m^3, alumine) 30.septembri 2002.a keskpäeval

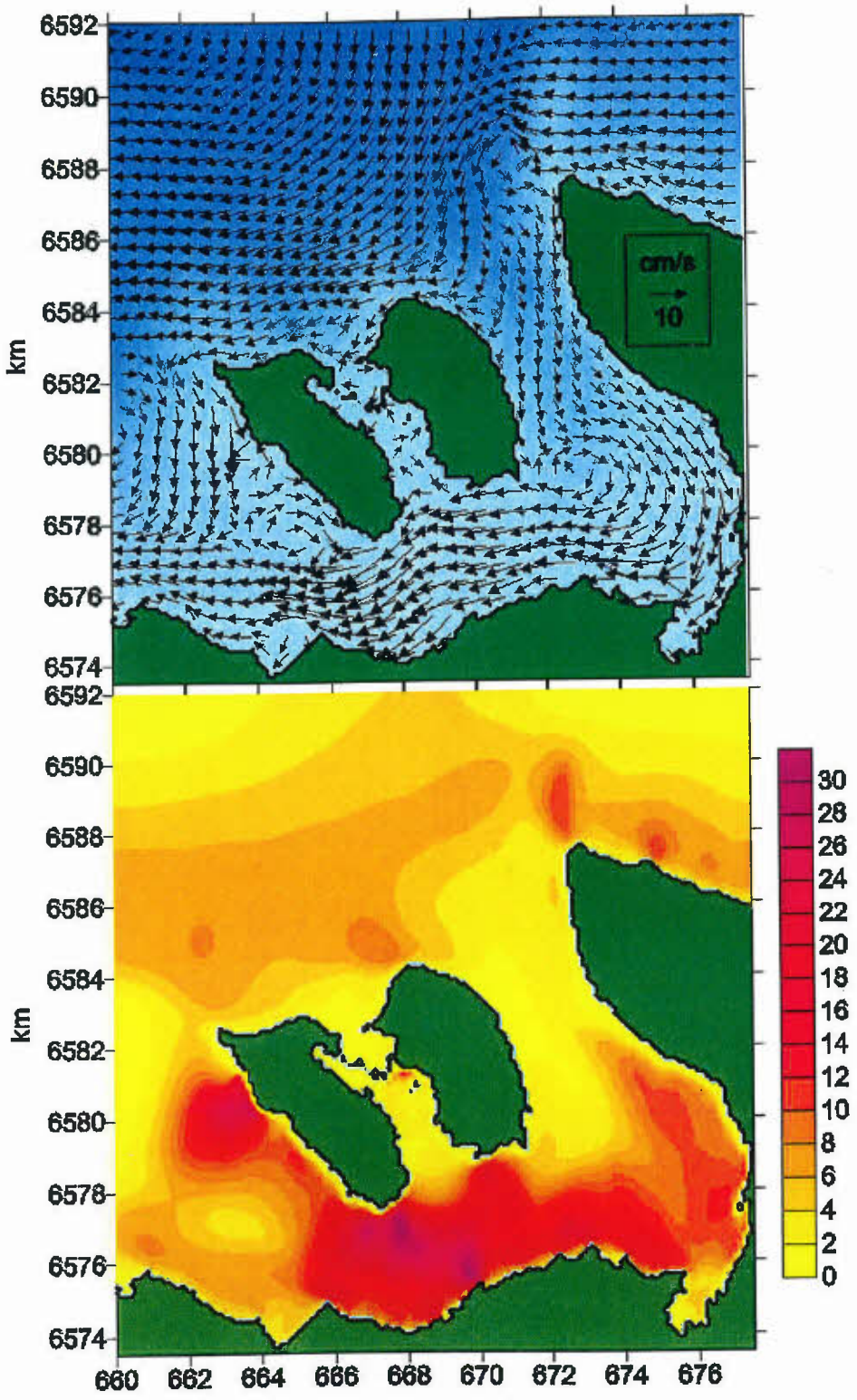


Joonis 3.16 Hoovuste skeem 30.septembri 2002.a keskpäeval

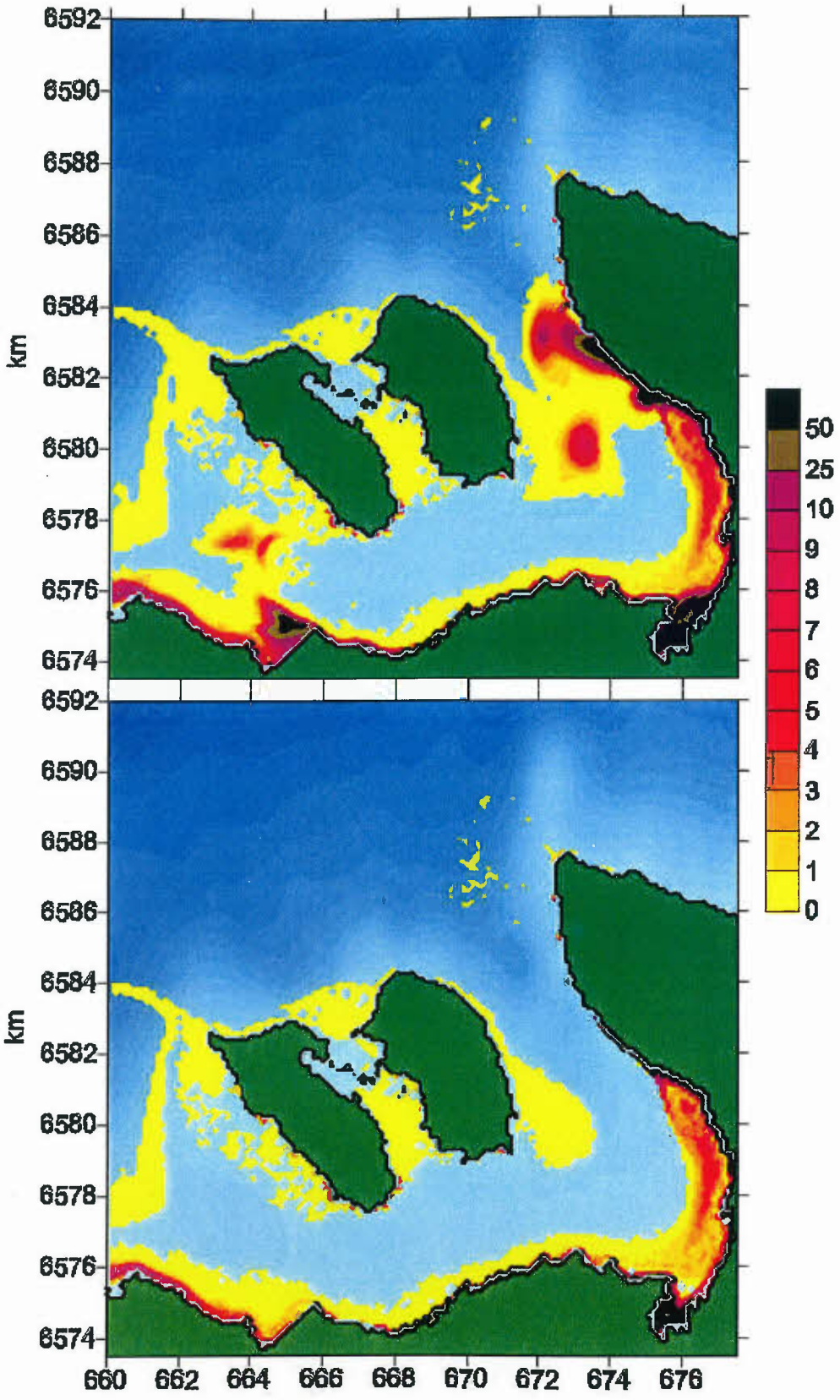
16. – 31.oktoober 2002.a Oktoobri teisel poolel on peamiselt tegemist idakaarte tuultega. Vähemal määral esineb ka põhjakaarte tuuli. Tuule tugevus on suhteliselt nõrk, kuid aeg-ajalt esineb ka keskmise tugevusega tuuli. Keskmine hoovus pole arvestatava tugevusega (Joonis 3.19). Suure kontsentratsiooniga nii kerge kui ka raske setete fraktsioon jääb vahetult ranniku piirkonda, ulatudes mõlemale poole Paldiski Lõunasadamat – praktiliselt Padiski Põhjasadamast kuni Pakri lahe lõunaossa (Joonis 3.20). Pinnahõljum ja suspendeeritud ning settinud materjal on jaotunud üle kogu Pakri lahe. Kurkse väin on setetest ja heljumist puhas.

1. – 15.november 2002.a Antud perioodile on iseloomulik tuule aeglane pöördumine kellaosuti liikumisele vastupidises suunas. Sellise täispöörde tegemiseks kulub kolm-neli päeva. Vahepeal võib täheldada pikemaid kirdetuule perioode. Perioodi lõpus domineerivad mitme päeva jooksul kirde- ja idatuuled. Küllaltki tüüpiliselt sügisesele perioodile esineb kõige rohkem keskmise tugevusega tuuli. Üldiselt on keskmine voolamine läbi Pakri lahe kellaosuti liikumise suunas (Joonis 3.21). Kiiruste muutlikkus on Kurkse väinas samasugune kui eelneval perioodil. Pakri poolsaare rannik ning Pakri lahe lõunaosa on kaetud hõljumi ja setetega (Joonis 3.22). Tavaliselt moodustub poole kilomeetri laiune setete riba. Pinnahõljumiga on kaetud ka Kurkse väin. Iseloomulikult muutuvatele tuuleoludele on hõljumi jaotuses näha mitmeid struktuure. Paldiski Lõunasadamast põhja suunas kergemat setete fraktsiooni eriti ei ole. Võib arvata, et puudub ka pinnahõljum. Suure kontsentratsiooniga piirkond Paldiski Põhjasadama lähedal vastab veekihis olevale ja põhja settinud materjalile. Paldiski Põhjasadama

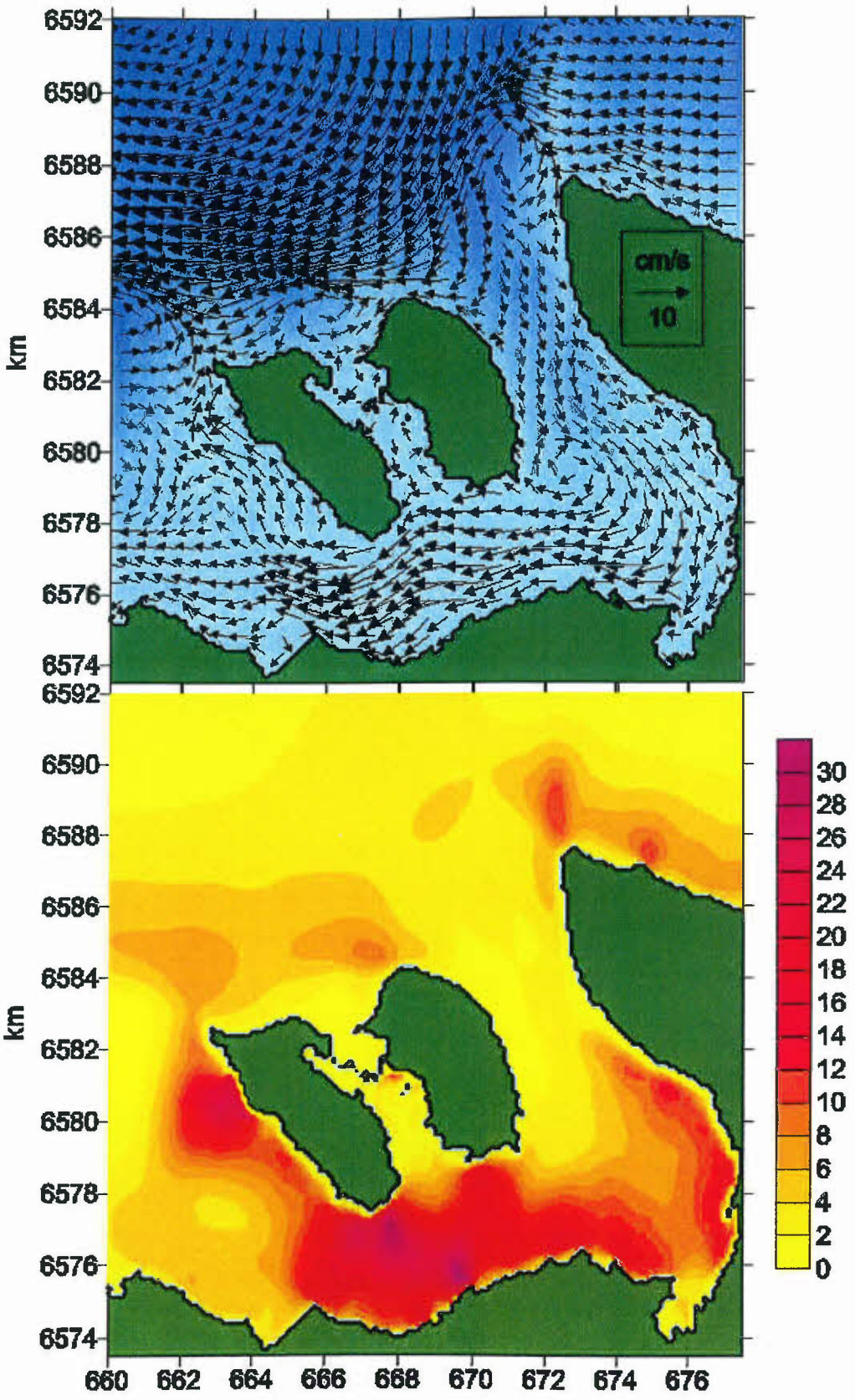
juures on selgelt jälgitav raskemate setete akumuleerumine ja kandumine kaldast eemale. See on tingitud seal piirkonnas domineerivast hoovuste konvergentsist, mis iseloomulikult avaldub keskmise hoovuse väljas.



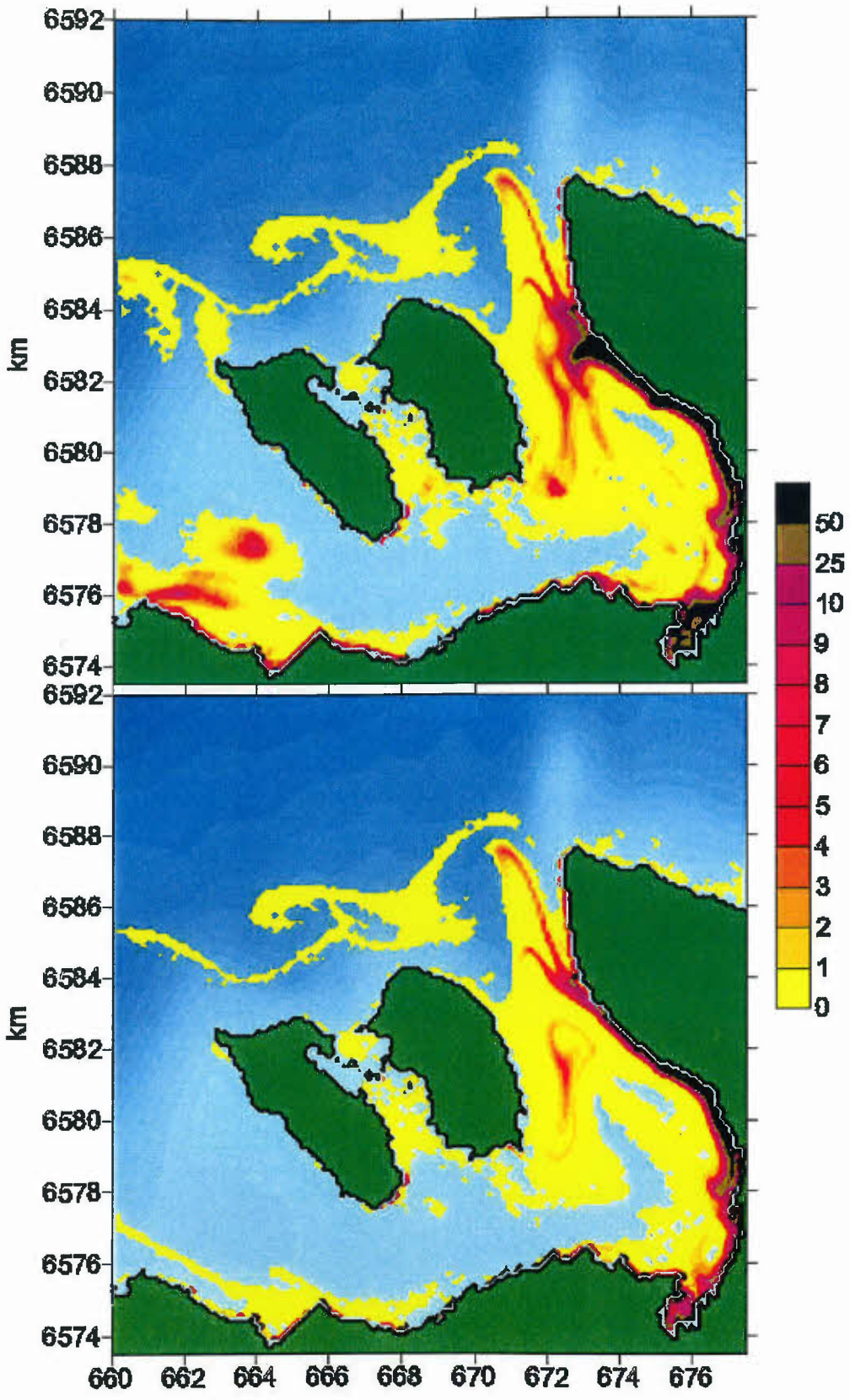
Joonis 3.17 Keskmine hoovuste skeem ja hoovuste muutlikkus perioodi 1. – 15.oktoober 2002.a ajal



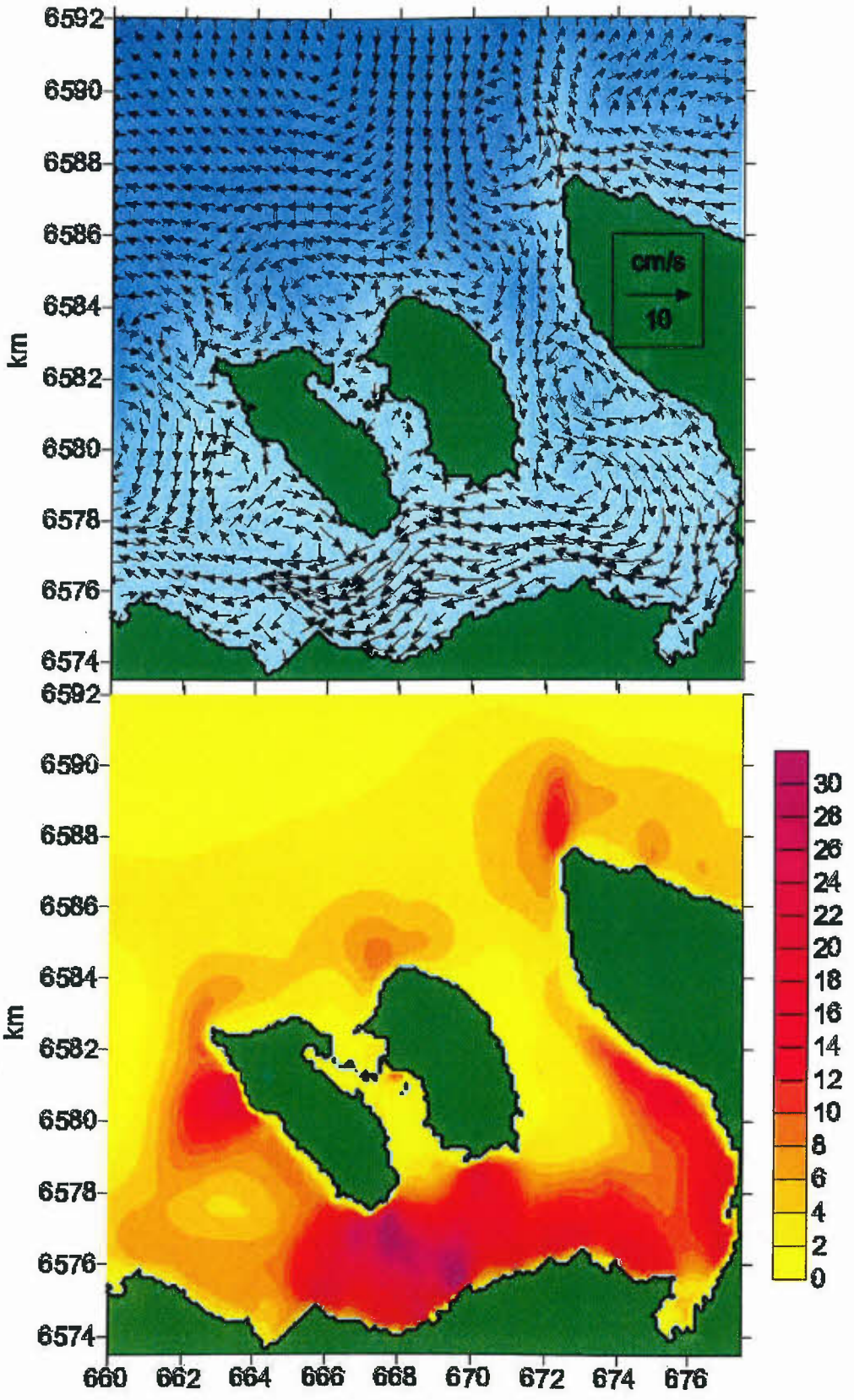
Joonis 3.18 Koguhõljumi, suspendeeritud ja settinud süvendustööde käigus vette sattunud materjali kontsentratsioon (g/m^3, ülemine) ja kerge fraktsiooni kontsentratsioon (g/m^3, alumine) 15.oktoobri 2002.a keskpäeval



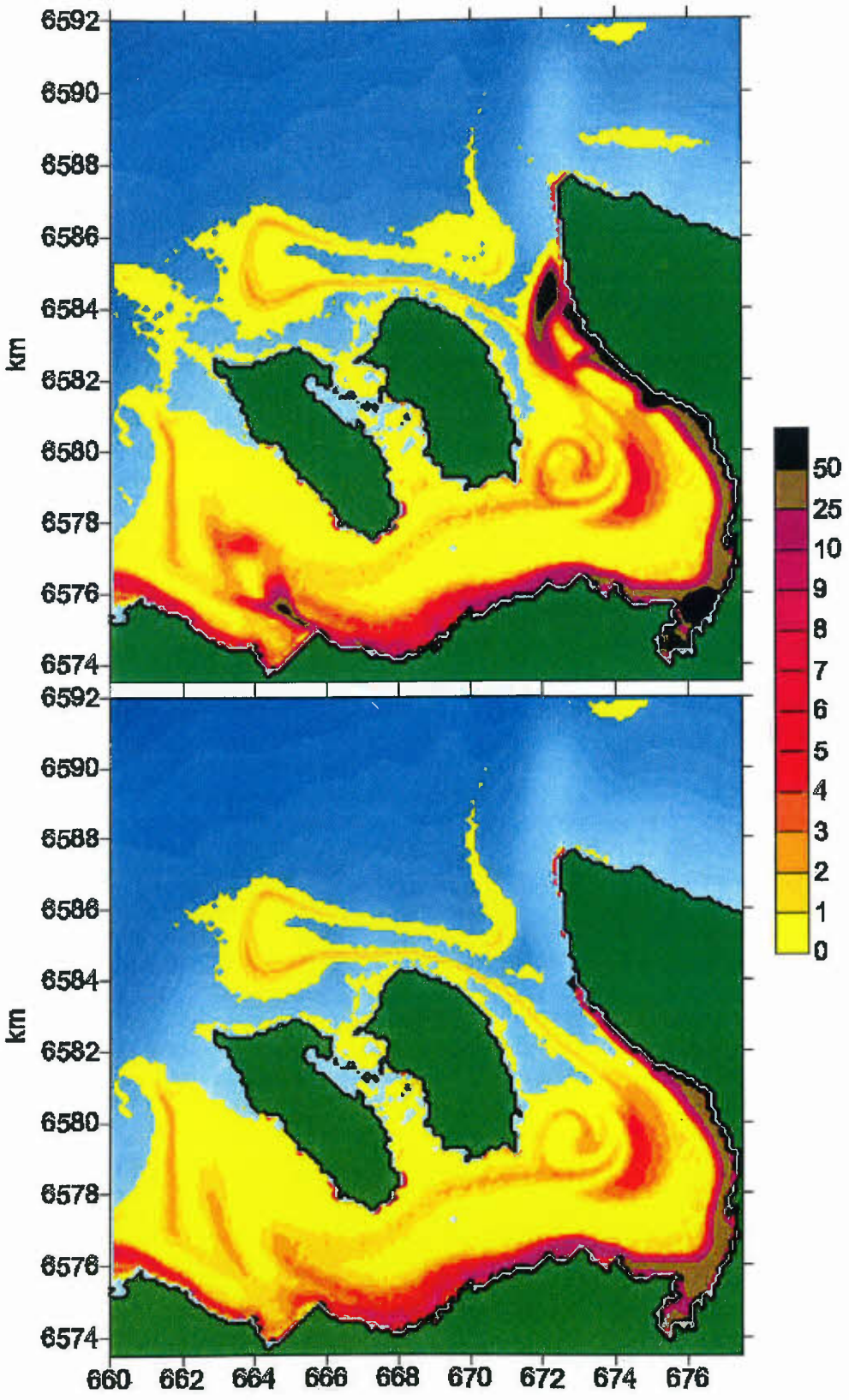
Joonis 3.19 Keskmine hoovuste skeem ja hoovuste muutlikkus perioodi 16. – 31.oktoobri 2002.a ajal



Joonis 3.20 Koguhõljumi, suspendeeritud ja settinud süvendustööde käigus vette sattunud materjali kontsentratsioon (g/m^3, ülemine) ja kerge fraktsiooni kontsentratsioon (g/m^3, alumine) 31.oktoobri 2002.a keskpäeval



Joonis 3.21 Keskmine hoovuste skeem ja hoovuste muutlikkus perioodi 1. – 15.november 2002.a ajal



Joonis 3.22 Koguhõljumi, suspendeeritud ja settinud süvendustööde käigus vette sattunud materjali kontsentratsioon (g/m^3, ülemine) ja kerge fraktsiooni kontsentratsioon (g/m^3, alumine) 15.novembri 2002.a keskpäeval

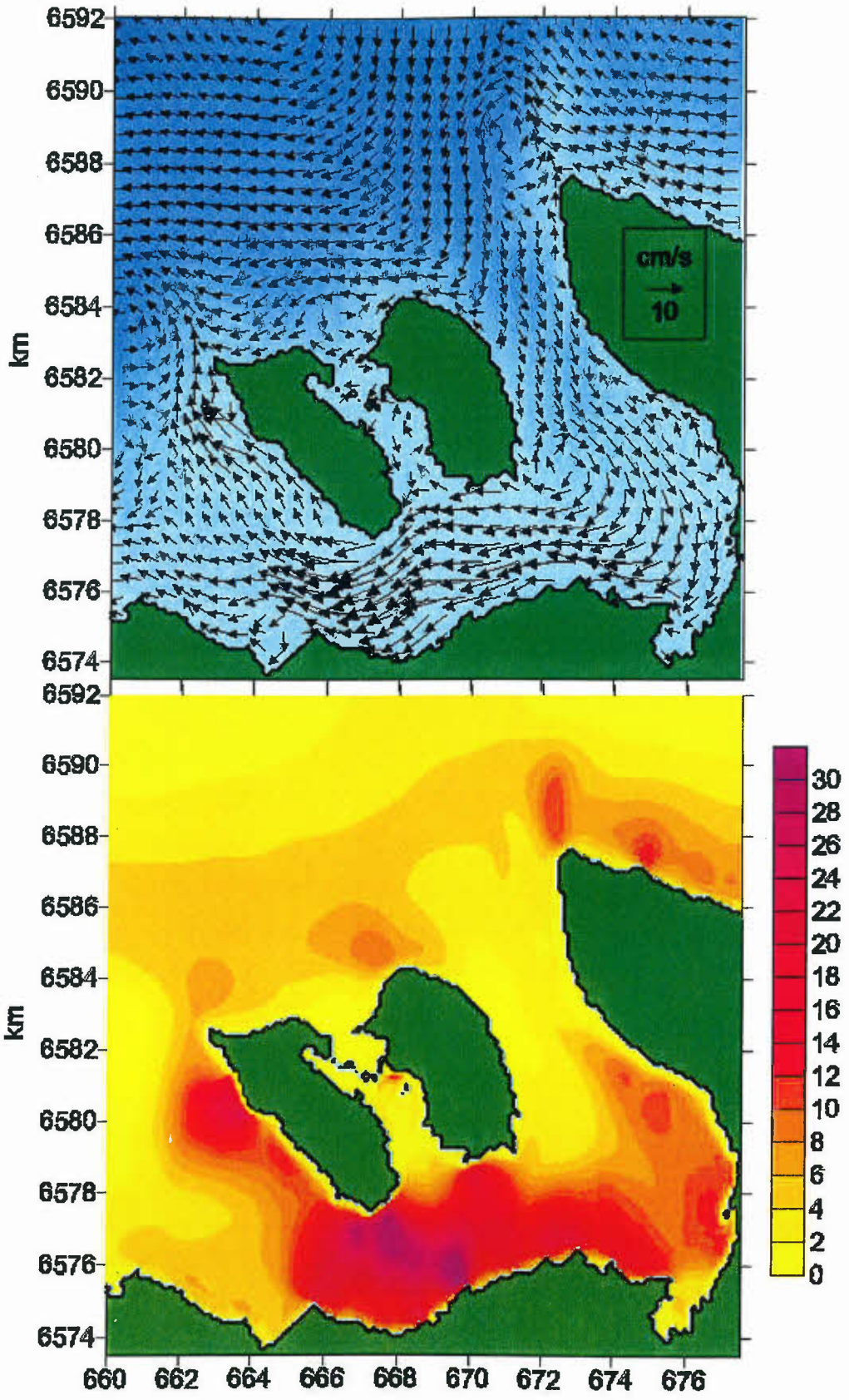
16. – 30.november 2002.a. Novembri teises pooles on rohkem keskmisi ja tugevaid tuuli. Selgelt domineerivad idatuuled. Idatuultega tekib arvestatav keskmine hoovus läbi Pakri lahe – vett kantakse Pakri lahte läbi põhjapoolse avause ning välja läbi Kurkse väina (Joonis 3.23). Kuna on tegemist püsivate tuultega, siis iseloomustab keskmine hoovuste väli küllaltki hästi setete transporti. Heljum ja setted katavad Pakri lahe ja Kurkse väina lõunaosa (Joonis 3.24), kuigi võrreldes kuu esimese poolega on setete kontsentratsion seal vähenenud. Paldiski Lõunasadama juures on suletud hoovuse pesa, mis hoiab hõljumi kergemat fraktsiooni selles piirkonnas. Paldsiki Lõunasadamast põhja poole kuni peaaegu Pakri poolsaare tipuni on enamasti tegemist suurefraktsioonilise materjaliga, mis on arvatavasti peamiselt settinud põhjas.

1. – 15.detsember 2002.a. Detsembri esimesel poolel domineerivad idatuuled, millele nüüd, võrreldes eelmise perioodiga, lisanduvad ka kagutuuled. Keskmise hoovuse struktuuris on selgelt eristunud kagusuunaline hoovus Pakri lahe lõunaosa keskel, mis hargneb ranniku lähedal ida- ja läänesuunaliseks voolamiseks (Joonis 3.25). See hoovus eraldab Paldiski Lõunasadama piirkonda Kurkse väina poolsest osast. Kellaosuti liikumise suunaline suletud hoovus Lõunasadama juures, mis ulatub peaaegu Paldiski Põhjasadamani, hoiab süvendamisel vette saattunud setted selles piirkonnas, transportides uut materjali peamiselt põhja suunas (Joonis 3.26). Teine hoovuse haru, mis on suunatud läände puhastab Pakri lahe edelapoolse osa ning Kurkse väina setetest.

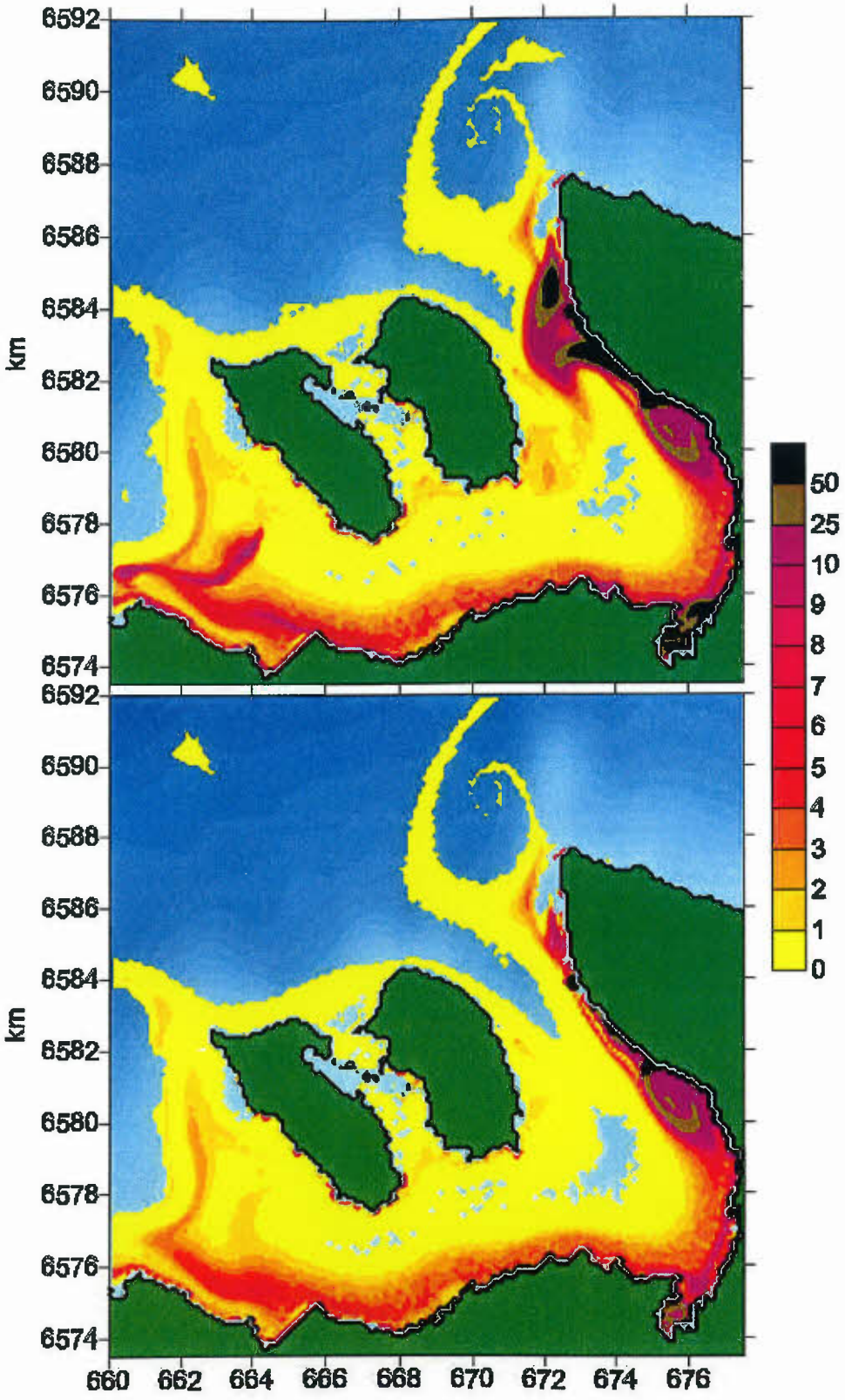
16.detsember 2002.a - 2.jaanuar 2003.a. Detsembri teisel poolel on tuuled küllaltki muutlikud. Peamiselt esinevad loodetuuled, kuid tihti esineb ka ida- ja lõunakaarte tuuli. Tuulte muutlikkuse tõttu on keskmised hoovused küllaltki nõrgad. Kurkse väina kaudu toimub sissevool Pakri lahte (Joonis 3.27). Samas on Pakri lahe lõuna- ja kaguranniku lähedases alas hoovused väga ebaregulaarsed. Pakri lahe lõunaosas Pakri poolsaare ja Väike Pakri saare vahelises piirkonnas on formeerunud kellaosuti liikumise suunale vastupidine hoovus. Väike Pakri saare ja Pakri poolsaare põhjaosa vahel aga kellaositi liikumise suunaline hoovus. Raskem setete fraktsioon on peamiselt Paldiski Põhjasadama lähedases piirkonnas (Joonis 3.28). Suur osa hõljumist on kantud aga Pakri lahe lõunaossa. Muutuva struktuuriga hoovuste korral formeeruvad ka rannikulähedases meres kuni poolekilomeetrise laiusega setete ja hõljumi filamendid.

Sellel perioodil leidis aset ka küllaltki tugev torm Pakri lahes. Iga torm peaks muutma kiiresti ja oluliselt heljumi ja setete jaotust võrreldes tormieelse olukorraga. Tugeva tormi ajal pöördub tuul 24-tunni jooksul edelast läände ja edasi loodesse. Tuule tugevus kasvas 11.5 m/s kuni 24 m/s ja langes siis 18 m/s. Eelnevalt oli olnud tugev päev aega kestev edelatuul ja enne seda pool päeva tugev loodetuul. Setete jaotusest on näha, et tormi alguseks on setted transporditud Paldiski Põhjasadama juurest lõunasse piki lahe keskosa (Joonis 3.29). Edelatuule mõjul toimub intensiivne setete transport Pakri lahe keskosast piki Pakri poolsaare rannikut põhja poole. Tuule pöördumisega läände-loodesse surutakse setted vastu Pakri poolsaart ja trasnporditakse Pakri lahest välja Pakri poolsaare tipu juures.

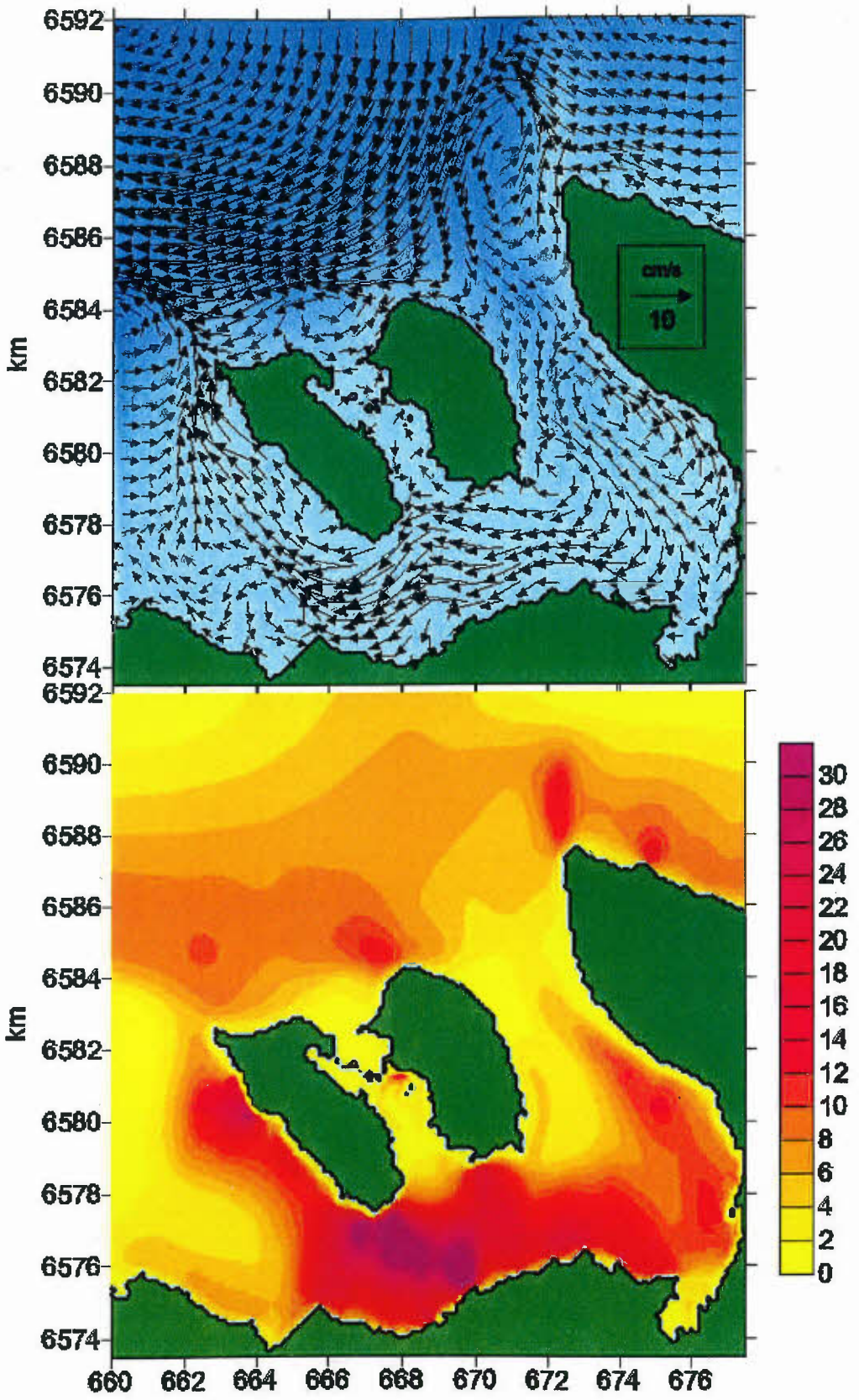
Jaanuarist alates oli Pakri laht kaetud enamuses jääga. See vähendab oluliselt tuule otsest mõju ning sellele vastavat tsirkulatsioon ja setete transporti. Samuti olid süvendustööd sellel perioodil üpris harvad ning mahud väga väikesed. Seega pole modelleeritud perioodi kuni kevadeni.



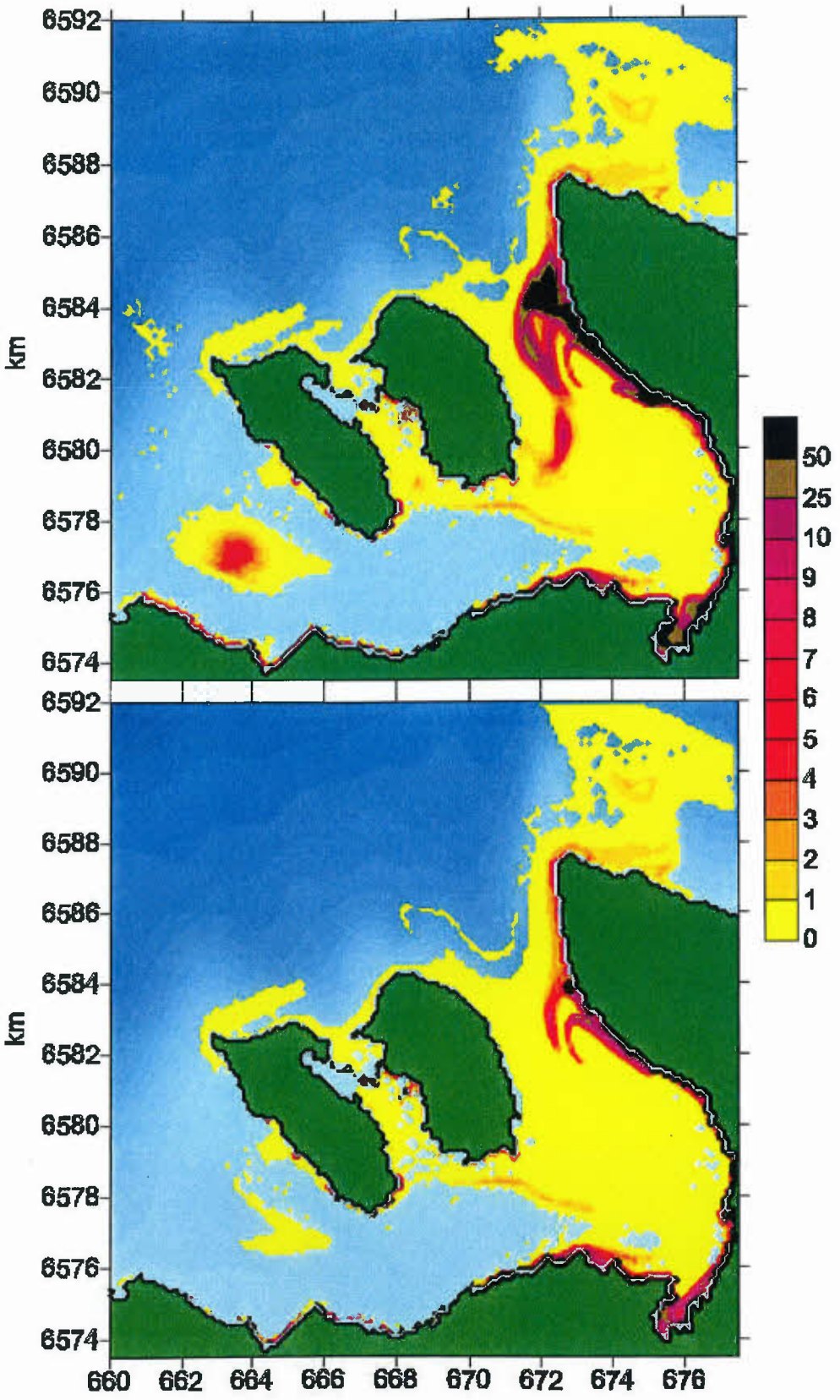
Joonis 3.23 Keskmine hoovuste skeem ja hoovuste muutlikkus perioodi 16. – 30.november 2002.a ajal



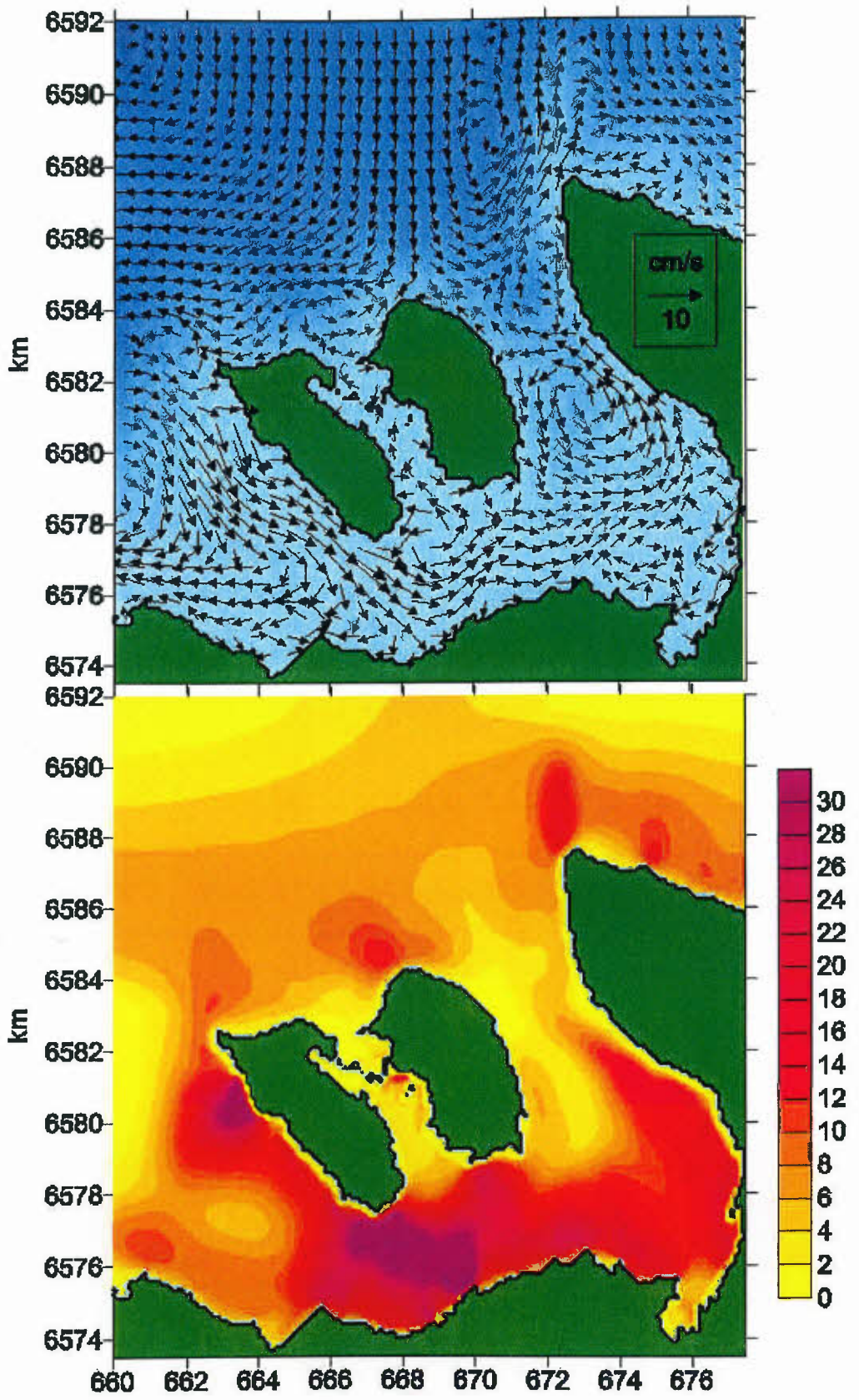
Joonis 3.24 Koguhõljumi, suspendeeritud ja settinud süvendustööde käigus vette sattunud materjali kontsentratsioon (g/m^3, ülemine) ja kerge fraktsiooni kontsentratsioon (g/m^3, alumine) 30.novembri 2002.a keskpäeval



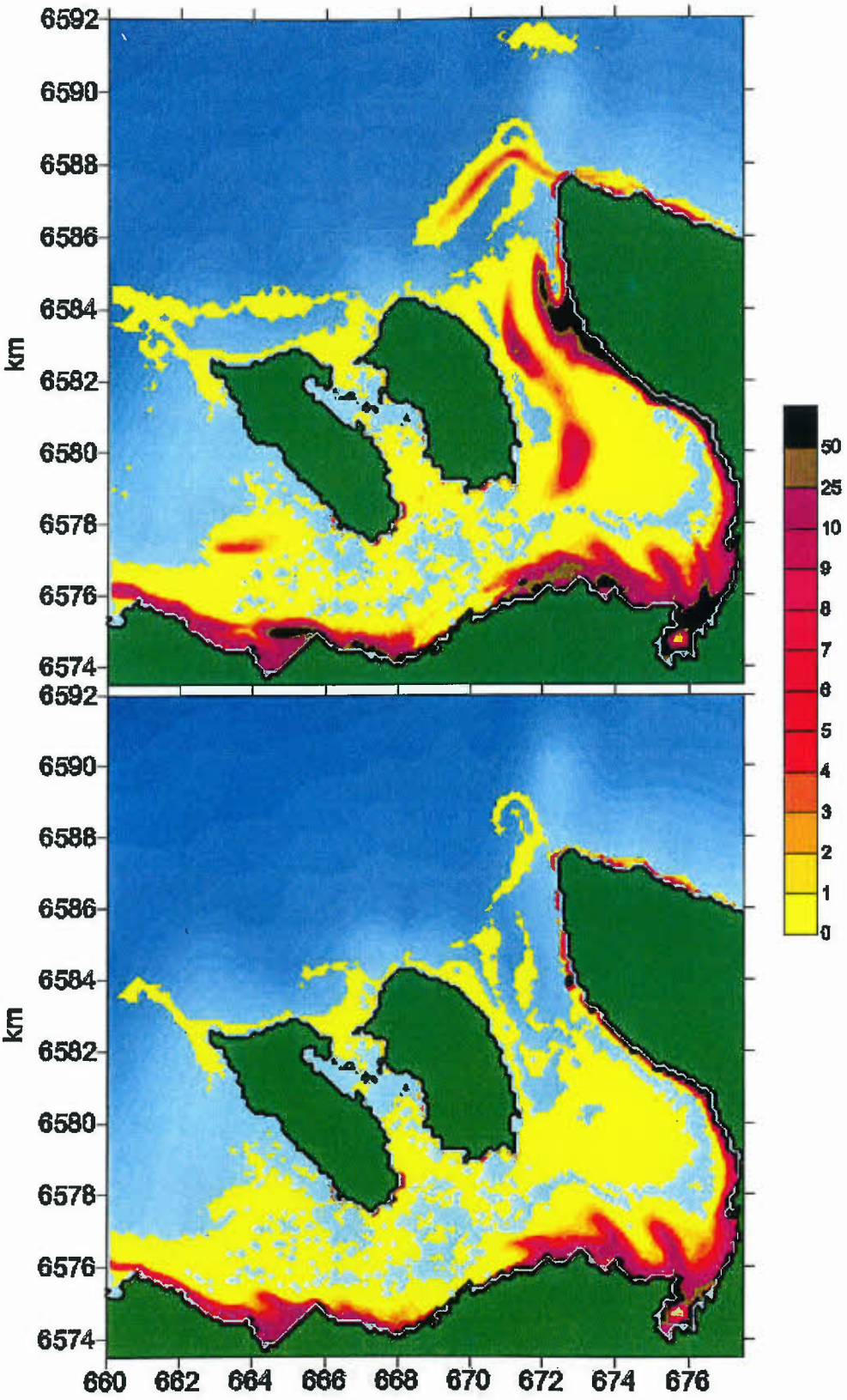
Joonis 3.25 Keskmine hoovuste skeem ja hoovuste muutlikkus perioodi 1. – 15.detsember 2002.a ajal



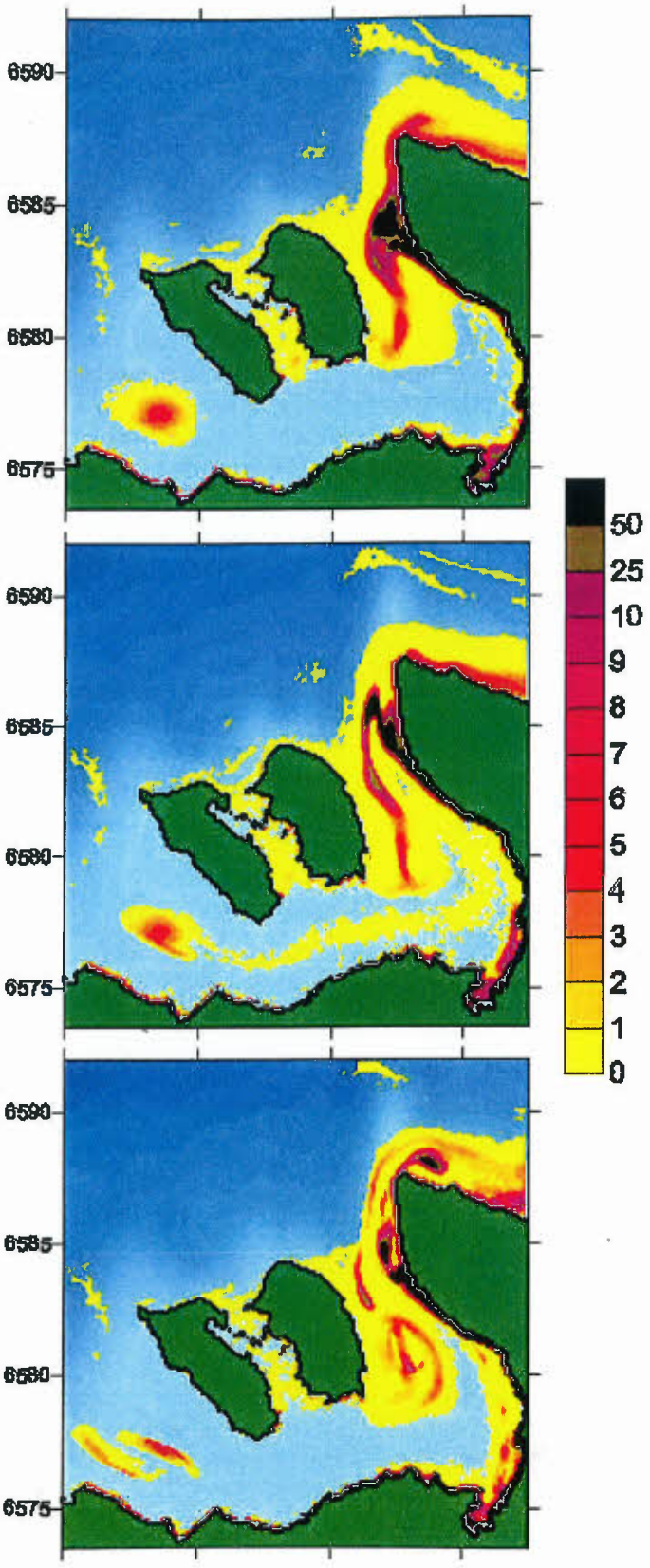
Joonis 3.26 Koguhõljumi, suspendeeritud ja settinud süvendustööde käigus vette sattunud materjali kontsentratsioon (g/m^3, ülemine) ja kerge fraktsiooni kontsentratsioon (g/m^3, alumine) 15.detsembri 2002.a keskpäeval



Joonis 3.27 Keskmine hoovuste skeem ja hoovuste muutlikkus perioodi 16.detsember 2002.a – 02.jaanuar 2003.a ajal



Joonis 3.28 Koguhõljumi, suspendeeritud ja settinud süvendustööde käigus vette sattunud materjali kontsentratsioon (g/m^3, ülemine) ja kerge fraktsiooni kontsentratsioon (g/m^3, alumine) 02.jaanuari 2003.a keskpäeval



Joonis 3.29 Koguhõljumi, suspendeeritud ja settinud süvendustööde käigus vette sattunud materjali kontsentratsioon (g/m^3) 19.detsembri 2002.a keskpäeval (ülemine), 20.detsembri 2002.a kesköösl (keskmine) ja 20.detsembri 2002.a keskpäeval (alumine) tormituulte tingimustel

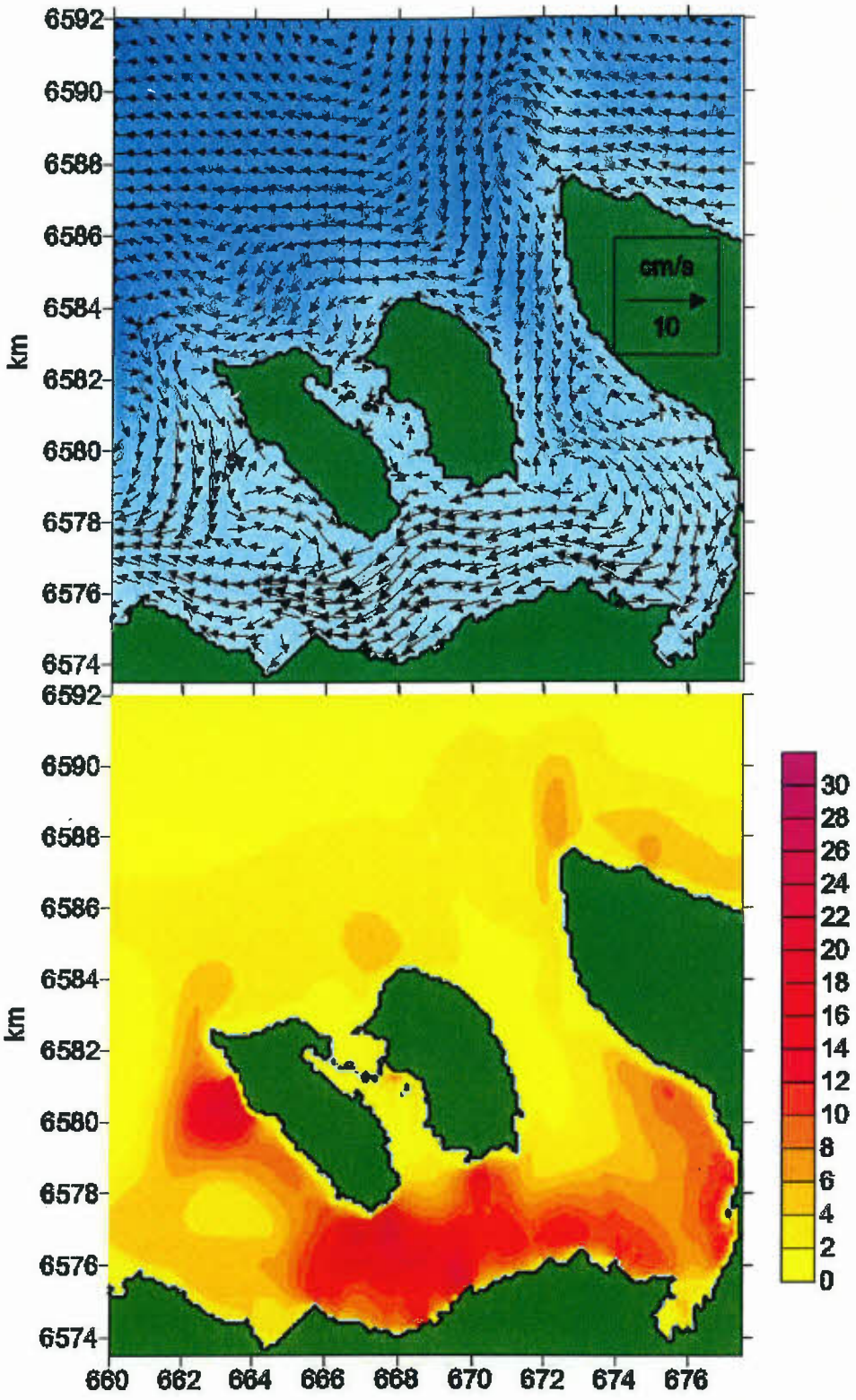
Teine, intensiivsem süvendustööde periood kestis 15.aprillist 22.maini 2003.a.

15. – 30.aprill 2003.a. Aprilli teisel poolel on suhteliselt nõrk keskmine hoovus läbi Pakri lahe. Sissevool on põhjast ja väljavool läbi Kurkse väina (Joonis 3.30). Ka hõljumi jaotus 30.aprillil vastab sellisele hoovuste skeemile. Paldiski Lõunasadama ja Pakri lahe lõunaosa rannikulähedane piirkond on kaetud raskema setete fraktsiooniga (Joonis 3.31). Kergem setete fraktsioon on kantud Kurkse väina ja sealt välja. Hoovuse lahknemine Paldsiki Lõunasadama juures on põhjuseks hõljumi levikule nii Paldsiki Põhjasadama suunas kui ka Pakri lahe lõunaossa. Kuna hoovus on liigutanud raskemaid setteid Paldiski Lõunasadama lähedal edasi-tagasi, siis on need setted kontsentreerunud sellesse piirkonda.

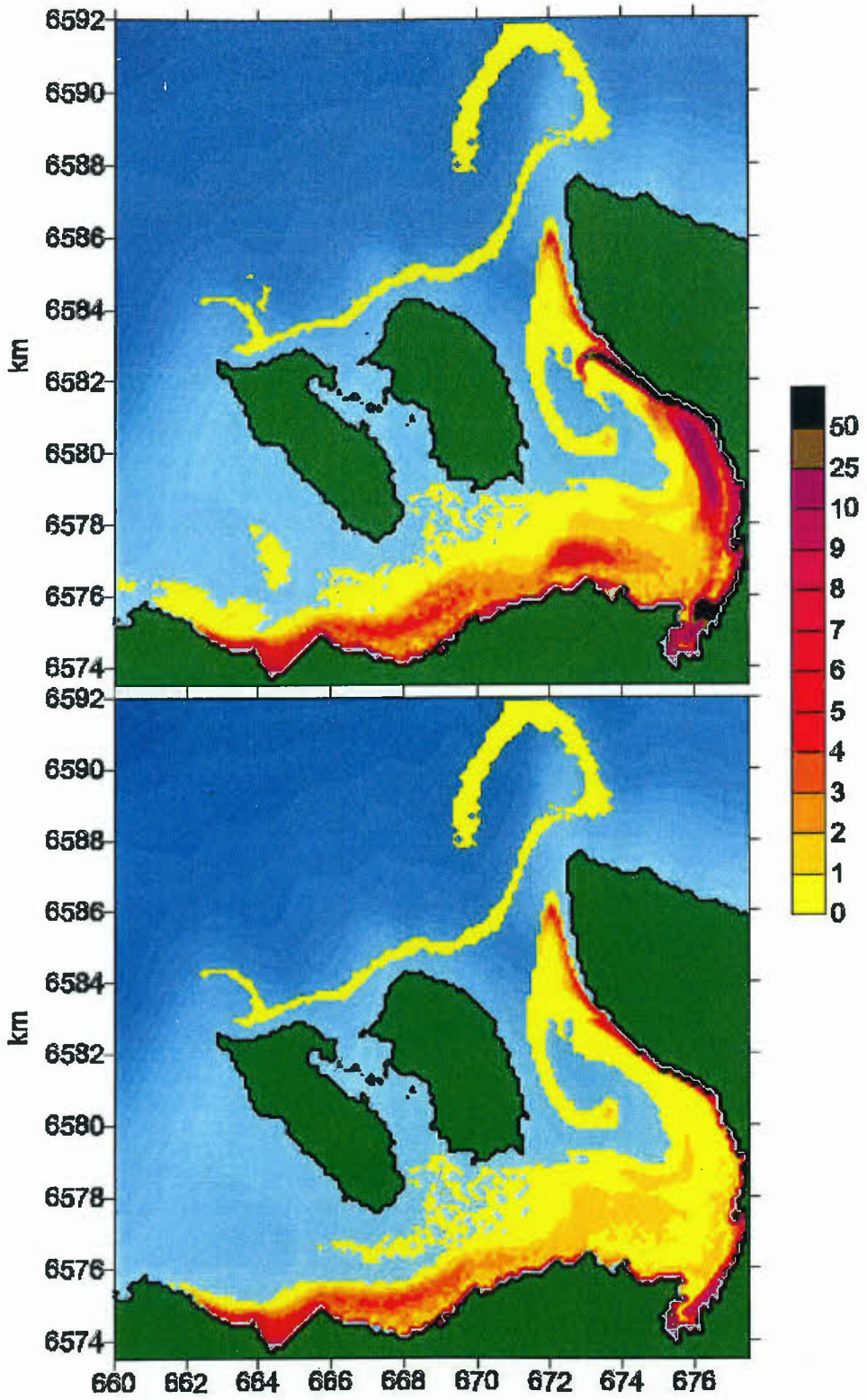
01. – 15.mai 2003.a. Mai esimesel poolel domineerib eelmise perioodiga võrreldes vastupidine hoovuste skeem (Joonis 3.32). Keskmise hoovuse kiiused on samuti märgatavalt suuremad. Nende hoovustega on Pakri lahe lõunaosa hõljumist ja setetest praktiliselt puhastatud (Joonis 3.33). Süvendamisel vette sattuv materjal kantakse peamiselt piki Pakri poolsaare rannikut põhja poole.

16. – 22.mai 2003.a. Selline olukord, kus hõljumit kantakse Paldiski Lõunasadama juurest põhja poole, kestab kuni süvendustööde lõpuni (Joonis 3.34). Pakri lahe lõuna- ja keskosa, Kurkse väin ja Pakri saarte ümbrus on süvendustööde lõpuks kevadiste süvendustööde ajal vette sattunud setetest praktiliselt puhtad.

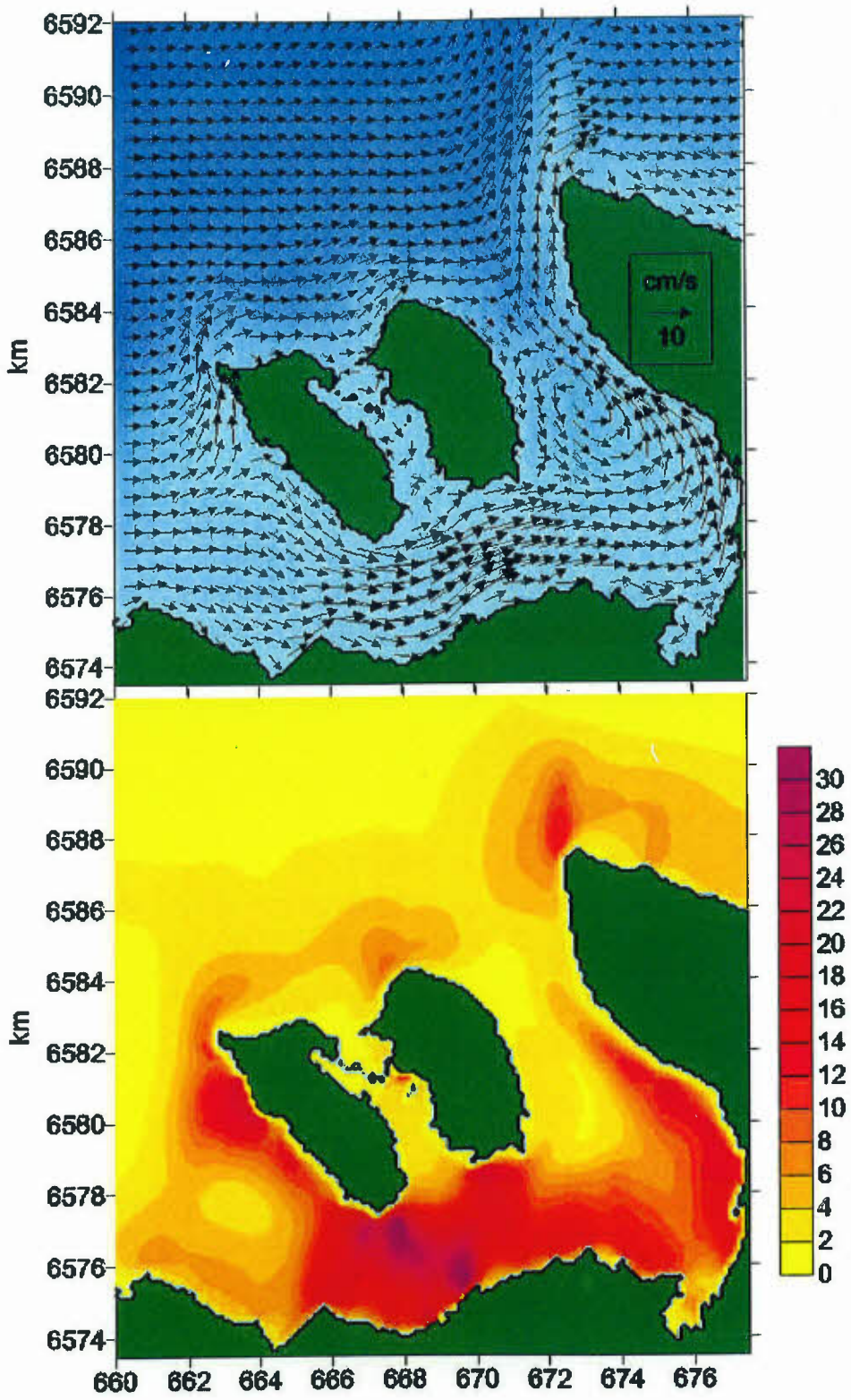
Seire käigus toimus pidevalt mudeliga arvutatud hõljumi jaotuse võrdlus *in situ* mõõtmisandmete ja satelliidipiltidega. Joonisel 3.35 on esitatud võrdlus 13.mai 2003.a jaoks, kui teostati *in situ* mõõtmised ning selge ilma tõttu oli kättesaadav ka satelliidipilt. Kolme erineva meetodiga saadud hõljumi jaotust iseloomustavate parameetrite kokkulangevus on väga hea.



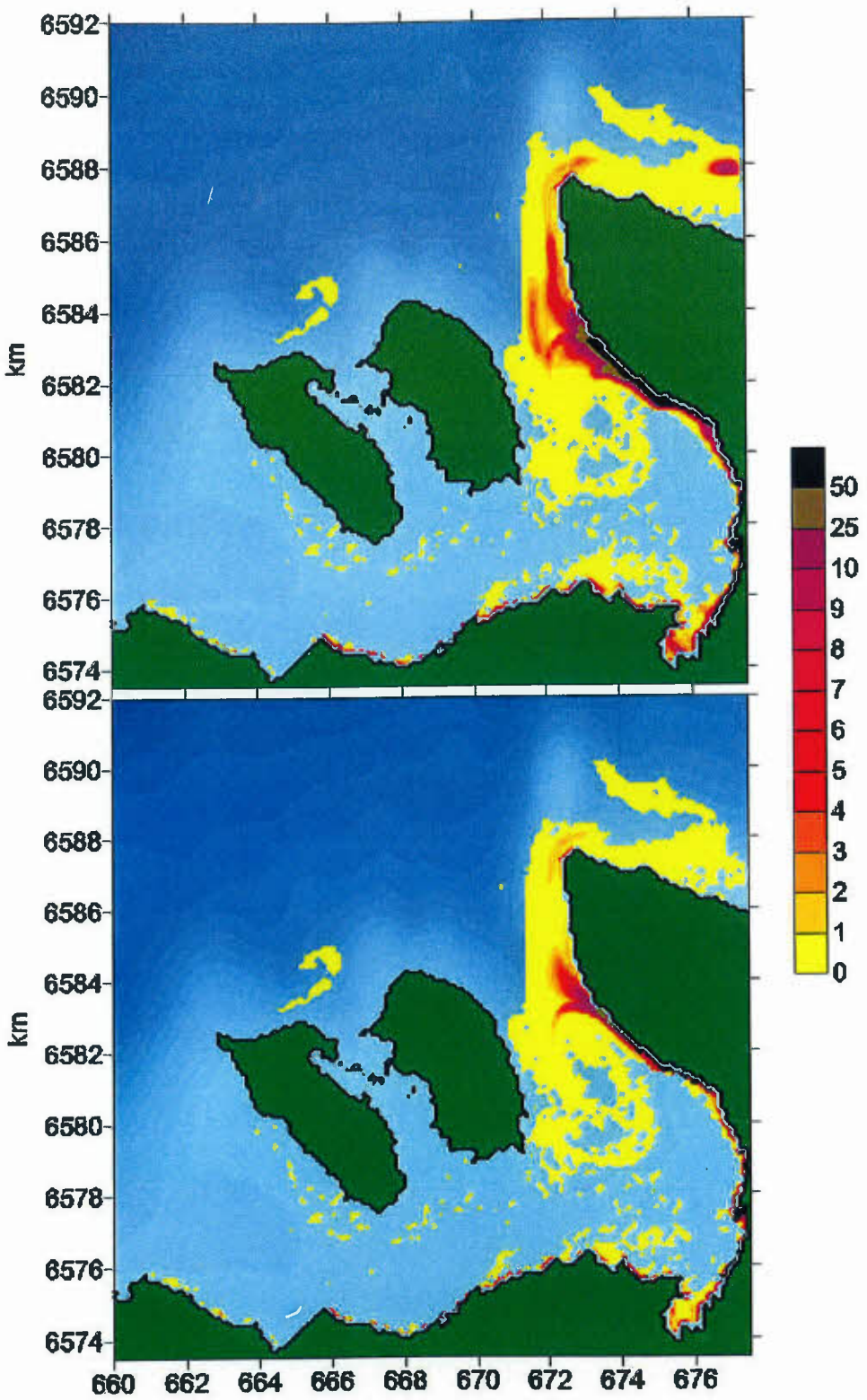
Joonis 3.30 Keskmine hoovuste skeem ja hoovuste muutlikkus perioodi 15. – 30.aprill 2003.a ajal



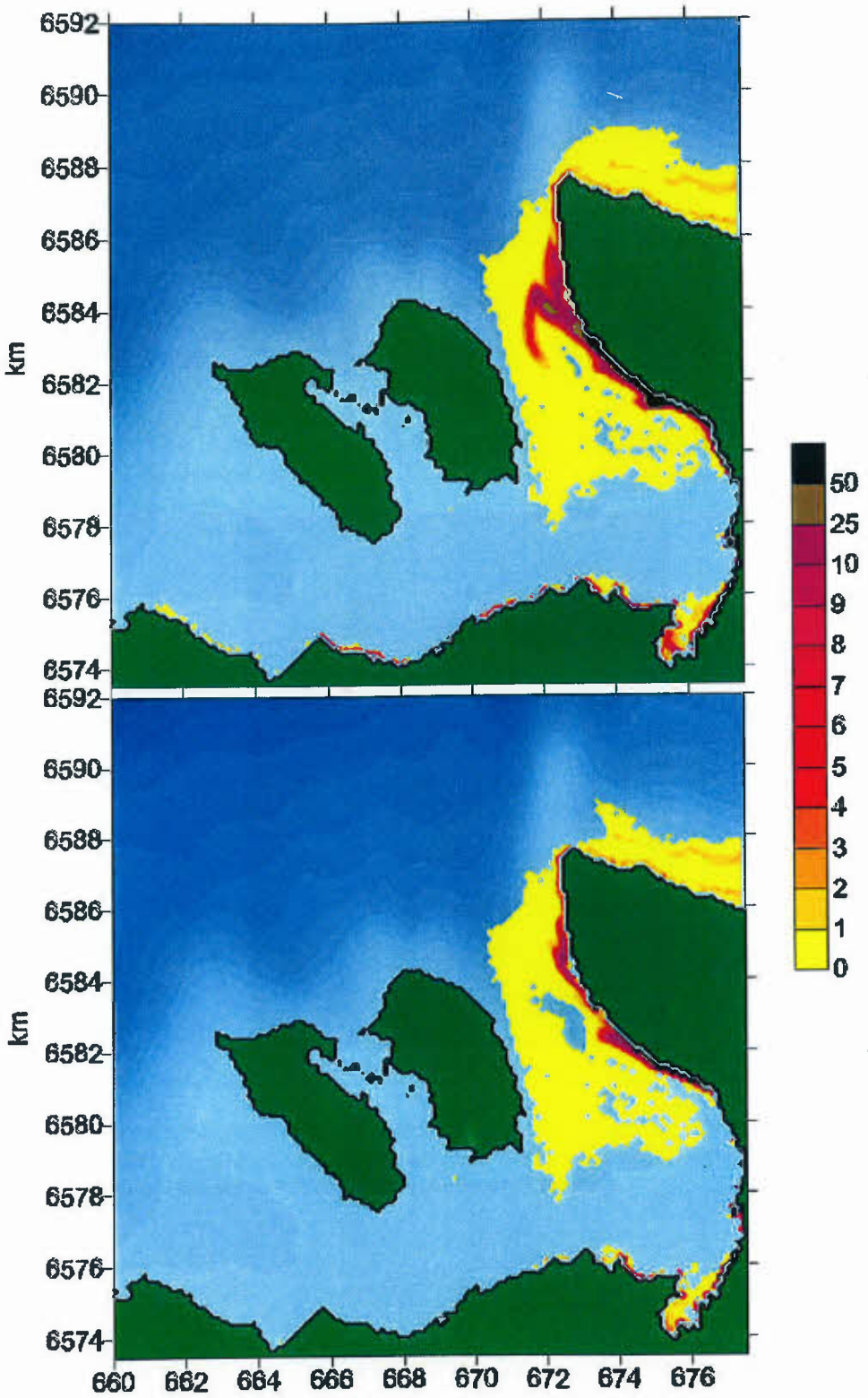
Joonis 3.31 Koguhõljumi, suspendeeritud ja settinud süvendustööde käigus vette sattunud materjali kontsentratsioon (g/m^3, ülemine) ja kerge fraktsiooni kontsentratsioon (g/m^3, alumine) 30.aprilli 2003.a keskpäeval



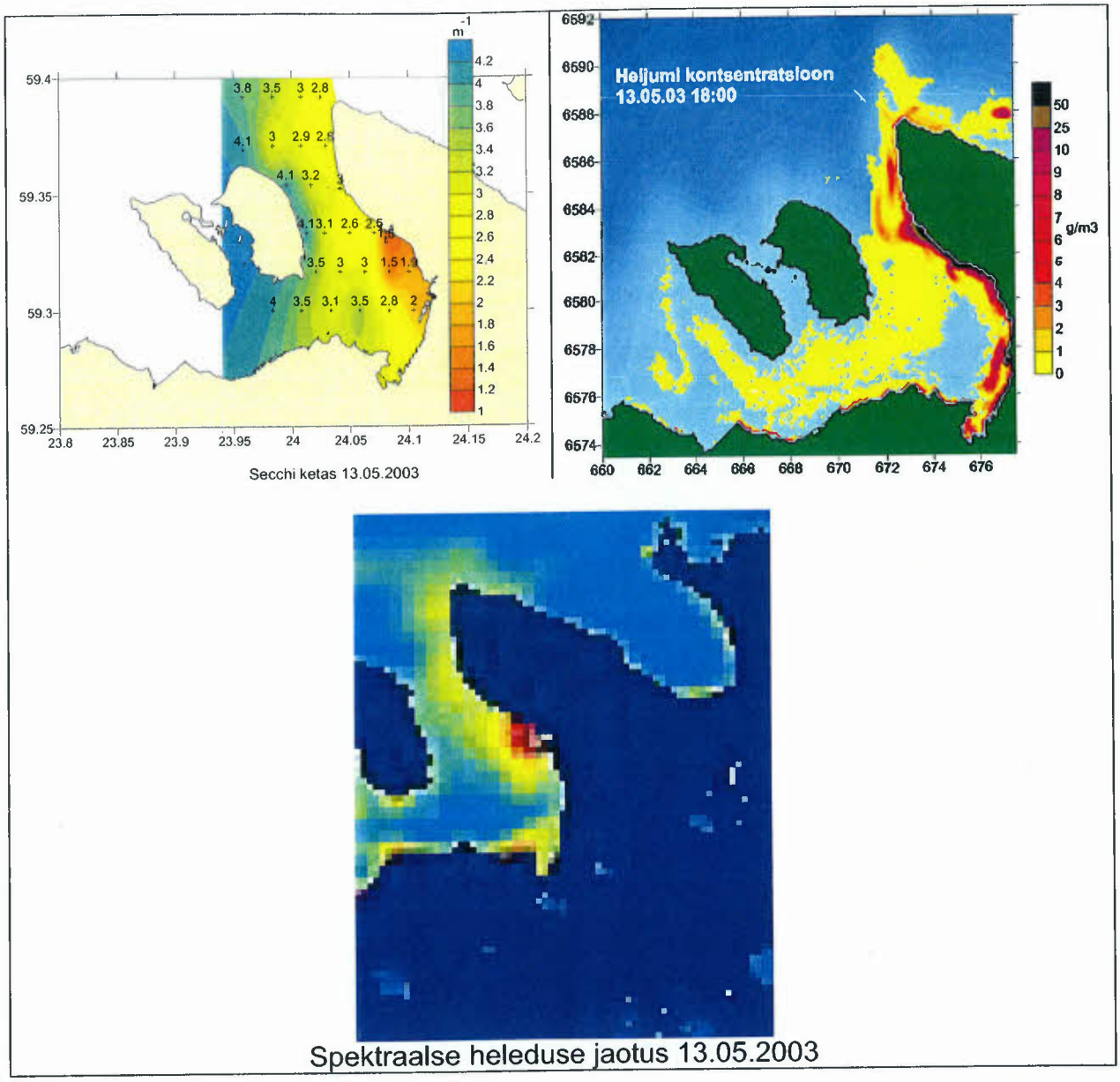
Joonis 3.32 Keskmine hoovuste skeem ja hoovuste muutlikkus perioodi 1. – 15.mai 2003.a ajal



Joonis 3.33 Koguhõljumi, suspendeeritud ja settinud süvendustööde käigus vette sattunud materjali kontsentratsioon (g/m^3, ülemine) ja kerge fraktsiooni kontsentratsioon (g/m^3, alumine) 15.mai 2003.a keskpäeval



Joonis 3.34 Koguhõljumi, suspendeeritud ja settinud süvendustööde käigus vette sattunud materjali kontsentratsioon (g/m^3, ülemine) ja kerge fraktsiooni kontsentratsioon (g/m^3, alumine) 22.mai 2003.a südaööl



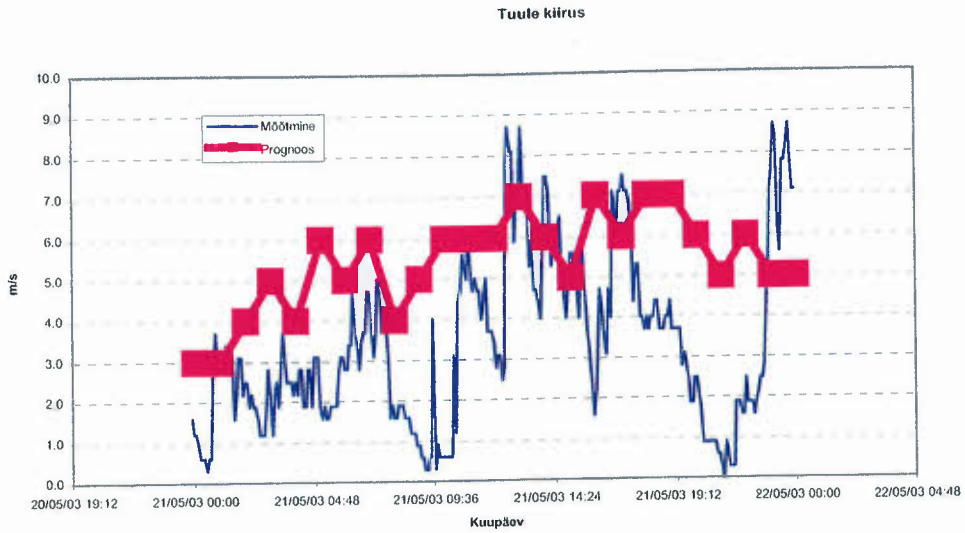
Joonis 3.35 Mudeliga arvutatud hõljumi jaotus 13.mai 2003.a 18:00, mõõdetud Secchi ketta sügavus ja satelliidipilt veepinnalt tagasipeegeldunud kiirgusest. Satelliidipildil on punasem värv hägusem vesi ja sinine värv puhtam vesi. Tumesinine on maismaa.

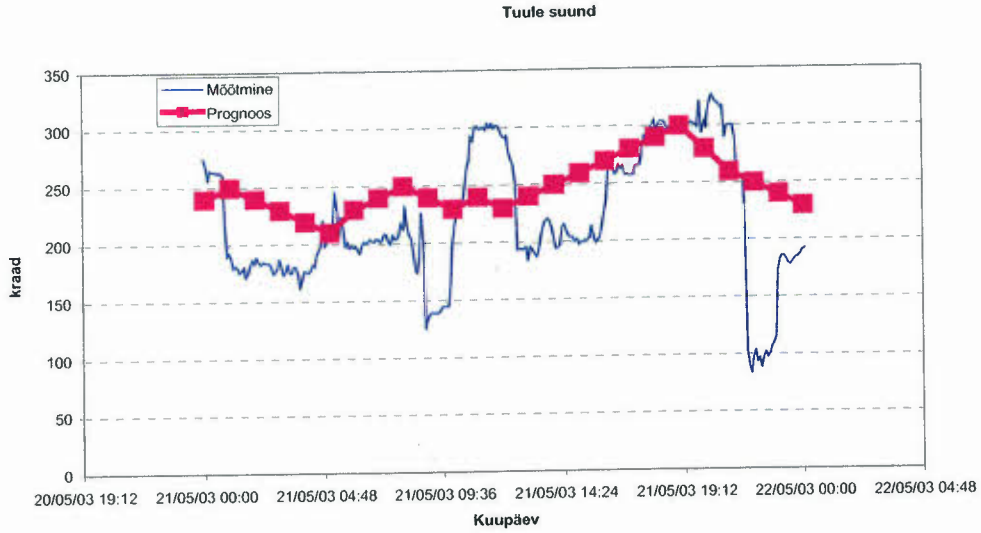
3.7 Hõljumi leviku prognoos

Kevadise süvendamise ajal toimus operatiivne hõljumi leviku prognoos. Selleks kasutati 24-tunnist tuule prognoosi, kus tuule kiirus ja suund olid antud tunnise intervalliga. Prognoos järgmise kuupäeva kohta saabus südaööl. Samas oli eelmise prognoosiperioodi kohta, s.o. eelmine 24-tundi, kasutada Paldiski Lõunasadamas mõõdetud tuult. Seega toimus ümberarvutus mõõdetud tuulega 24-tunnise perioodi kohta ja prognoos järgmise 24-tunnise perioodi kohta. Iga 24-tunni järel korrati samasugust tsüklit. Esimese etapina teostati hinnangu ja prognoosi arvutused hoovuste jaoks ning seejärel analoogiliselt hõljumi leviku jaoks. Kuna hõljumi ja setete jaotuse muutused olid suhteliselt aeglased, välja arvatud tugevate tuulte korral, edastati 12-tunnine prognoos süvendajale ja süvendustöödega seotud institutsioonidele.

Üldiselt on käätesaadav tuule prognoos kasutatav hõljumi leviku 12-tunniseks prognoosimiseks. Näitena on toodud prognoositud ja mõõdetud tuule kiiruse ja suuna ajaread 21.mail (Joonis 3.36). Prognoos on teada tunnise intervalliga, mõõdetud tuule väärtused on aga 10-minutilise intervalliga. Tuule kiiruse ajaline muutlikkus langeb kokku suhteliselt hästi, kuigi prognoositud tuule tugevus on kuni 4 m/s ülehinnatud. Erinevus tuule suundade osas jääb 45° piiresse välja arvatud lühiajalised tuule sündmused.

Prognoositud tuule järgi arvutatud hoovused 21.mail kell 9:00 ja mõõdetud tuule järgi arvutatud hoovused samal ajamomendil on esitatud Joonisel 3.37. Üldjoontes langevad hoovuste skeemid kokku – Kurkse väinast leiab aset sissevool ja Pakri poolsaare ja Väike Pakri saare vahelt väljavool. Prognoosi korral toimub väljavool praktiliselt kogu Pakri poolsaare ja Väike Pakri saare vahelisel ala. Mõõdetud tuule korral toimub väljavool Pakri poolsaare ja Väike Pakri saare ranniku lähedal, keskosas on väljavool takistatud. Prognoosi korral toimub läbivool kogu lahe lõunaosa, mõõdetud tuulele vastava tsirkulatsiooni korral on näha lahe kaguosas formeerunud kahepesalist ringtsirkulatsiooni pesa. Peamine lahknevus seisneb siiski selles, et prognoositud tuulele vastavad hoovuse kiirused on tugevalt ülehinnatud. Käesolev võrdlus on esitatud olukorra jaoks, kus prognoositud tuule kiirus erineb umbes 2-tunnise perioodi jooksul mõõdetud tuulest. Prognoositud tuule kiirus on 5 m/s, mõõdetud kiirus aga peaaegu null. Prognoositud tuul on edelast, mõõdetud tuul aga kagust. Kuna selline suur tuule erinevus on lühiajaline ei avalda see olulist mõju hõljumi transpordile. Pikemaajalise, kui 24-tundi, prognoosi korral võib prognoosi viga kasvada, kui esineb süstemaatiline erinevus prognoositud ja mõõdetud tuule suuna ja kiiruse korral.





Joonis 3.36 Tuule prognoos Pakri lahe jaoks (lilla) ja Paldiski Lõunasadamas mõõdetud tuul (sinine)

Hetkelised prognoositud ja hinnatud hõljumi jaotused viiel järjestikusel päeval on esitatud Joonistel 3.38 - 3.42.

17.mai 2003.a 12:00 Prognoosiga on saadud veidi suurem hõljumi kogus Paldiski Lõunasadamast lõunas. Samas on ka veidi allahinnatud hõljumi levik põhja suunas Paldiski Põhjasadamast põhja poole.

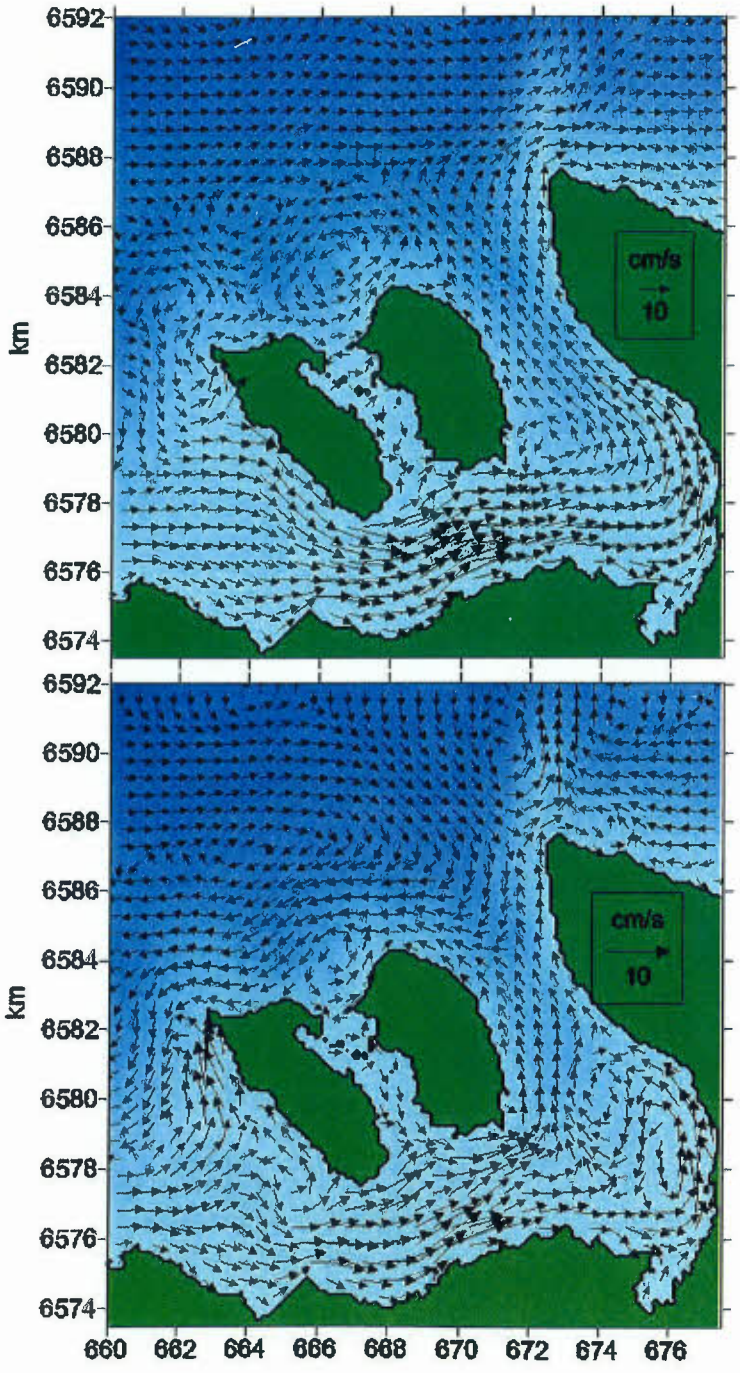
18.mai 2003.a 12:00 Prognoosi ja hinnatud hõljumi jaotuse kokkulangevus on väga hea.

19.mai 2003.a 12:00 Kokkulangevus on väga hea. Väikesed erinevused on Paldiski Lõunasadama vahetus läheduses, kus prognoositud hõljumi ala on veidi laiem.

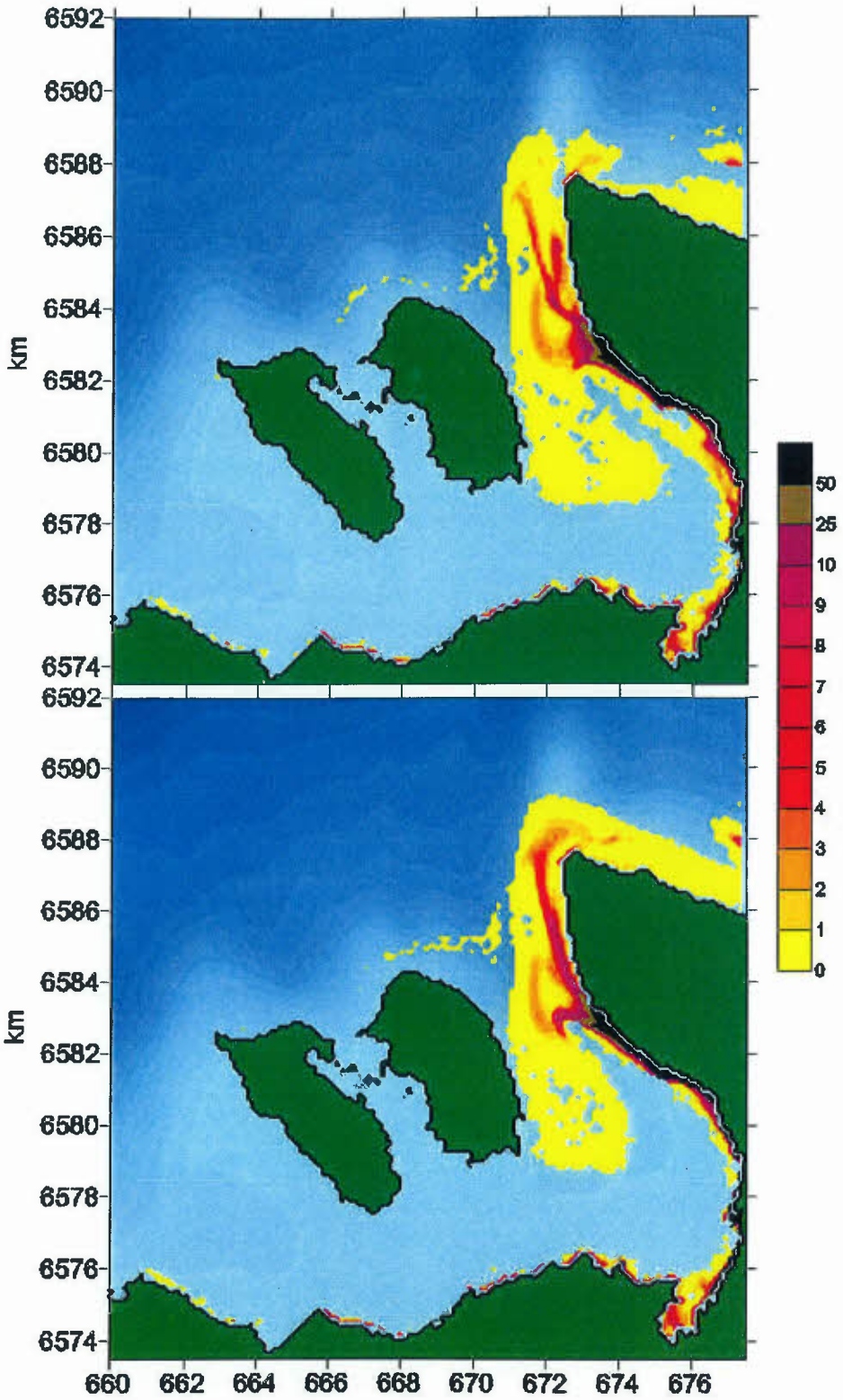
20.mai 2003.a 12:00 Prognoosi ja hinnangu vahel erinevused praktiliselt puuduvad

21.mai 2003.a 12:00 Prognoos ja hinnang langevad küllaltki hästi kokku, olgugi et hoovuse kiiruses oli lühiajaliselt suured erinevused. Siiski tuleb märkida, et hõljumi levik Paldiski Lõunasadamast lõuna poole on prognoositust suurem.

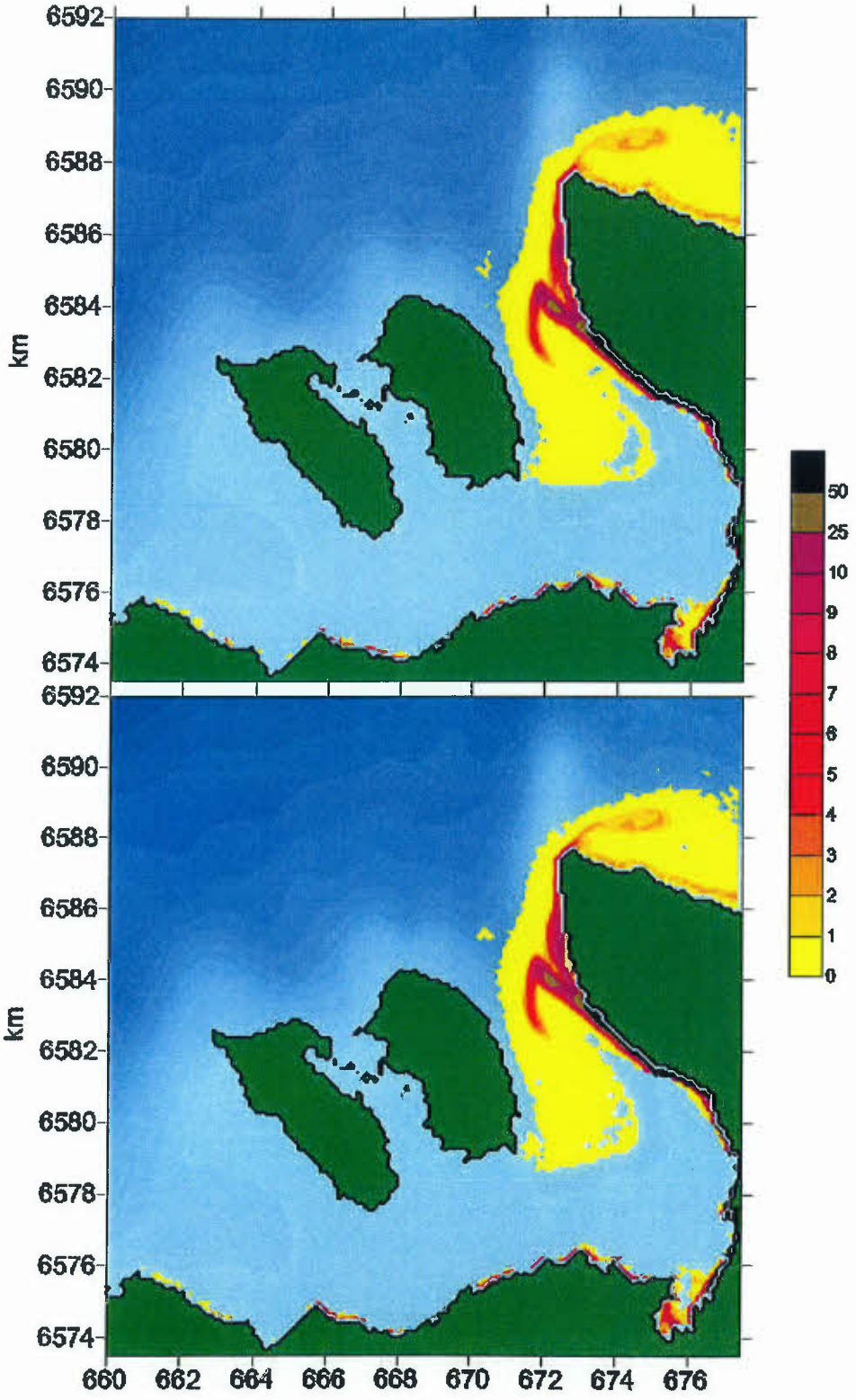
Prognoosid on küllaltki täpsed, kuna muutused üldises hõljumi ja settete jaotuses on väiksed.



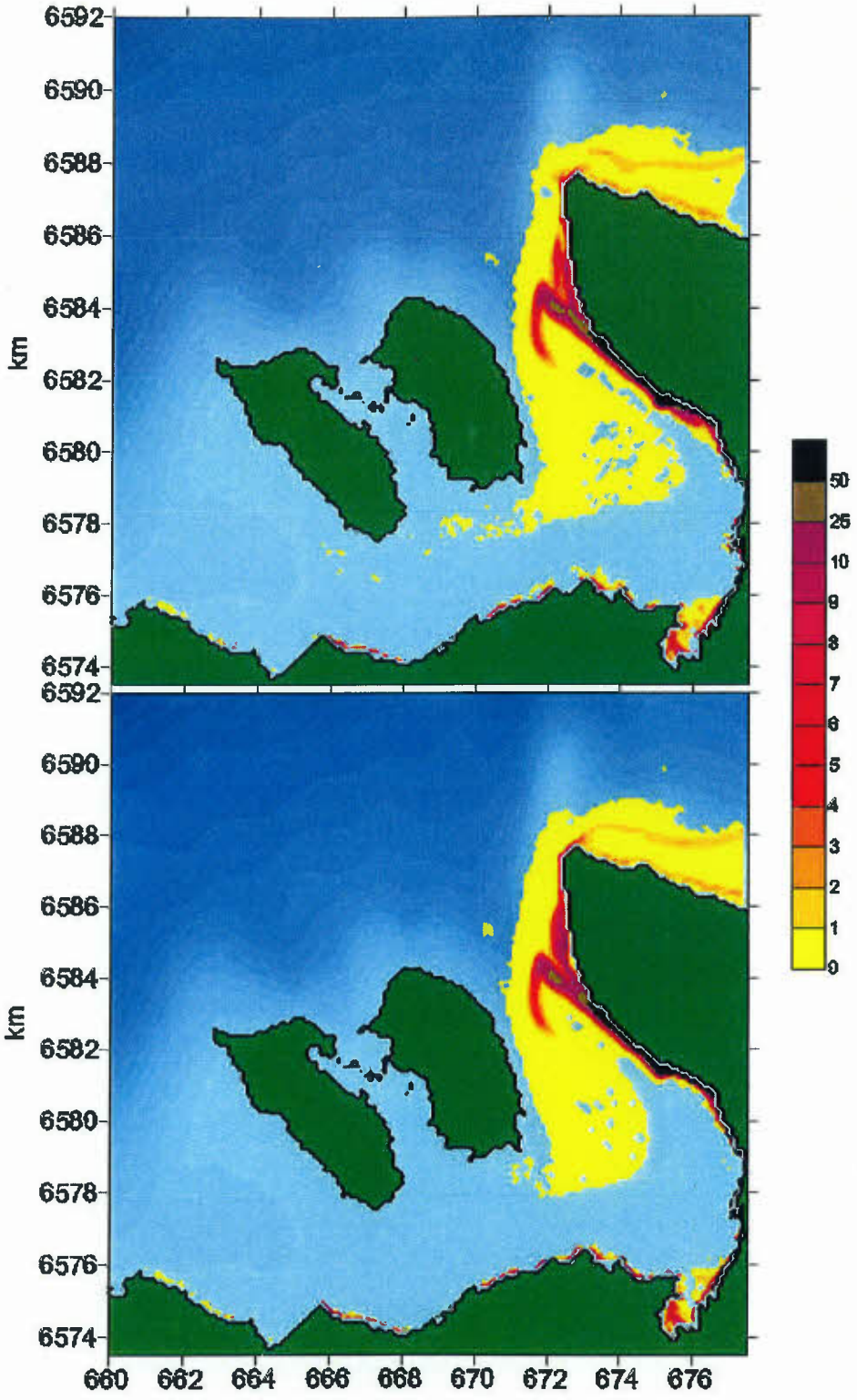
Joonis 3.37 Prognoositud tuule järgi arvutatud hoovused (ülemine) ja mõõdetud tuule järgi arvutatud hoovused (alumine) 21.mail 2003.a kell 9:00



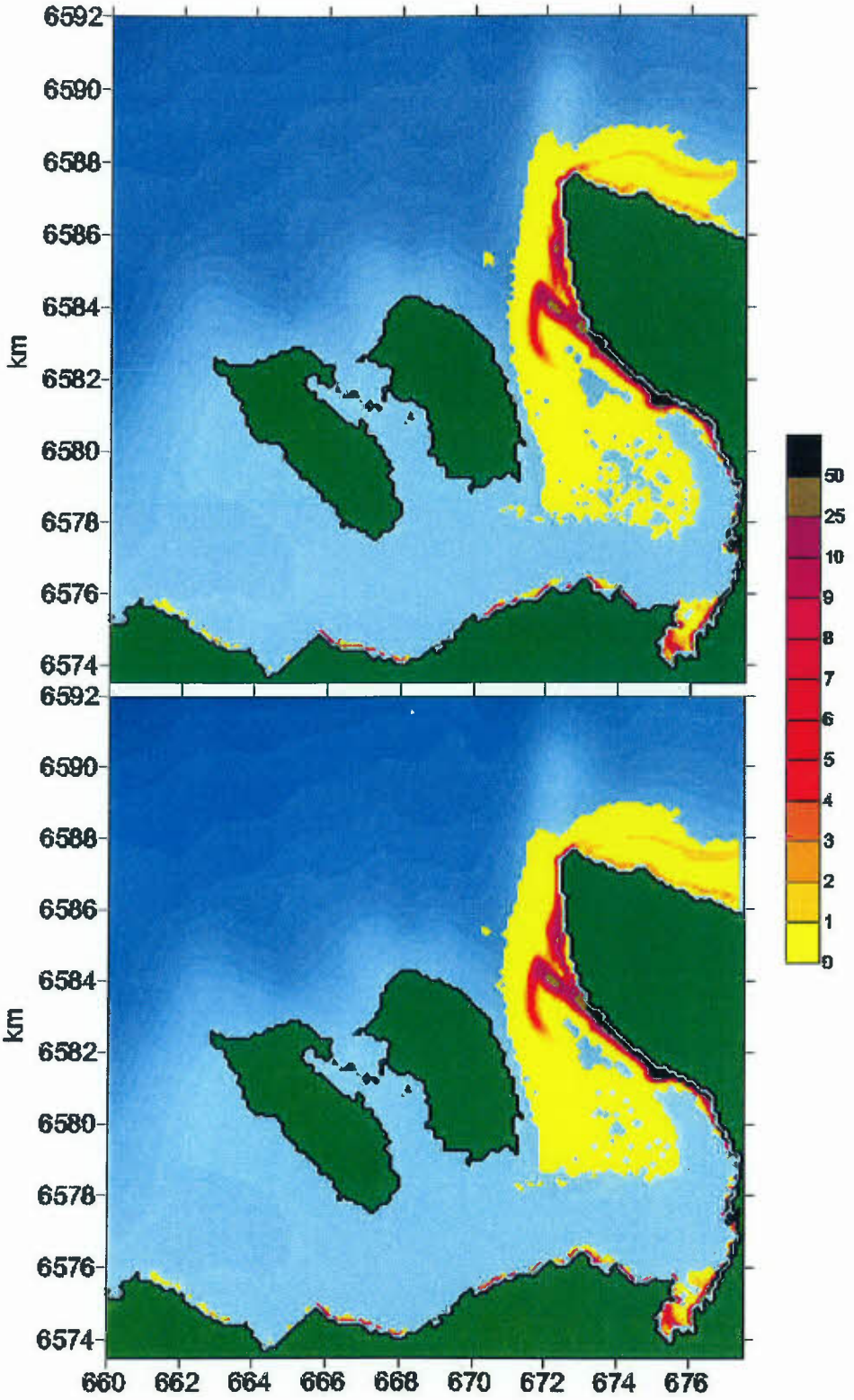
Joonis 3.38 Prognoositud (ülemine) ja hinnatud (alumine) hõljumi jaotus 17.mail 2003.a kell 12:00



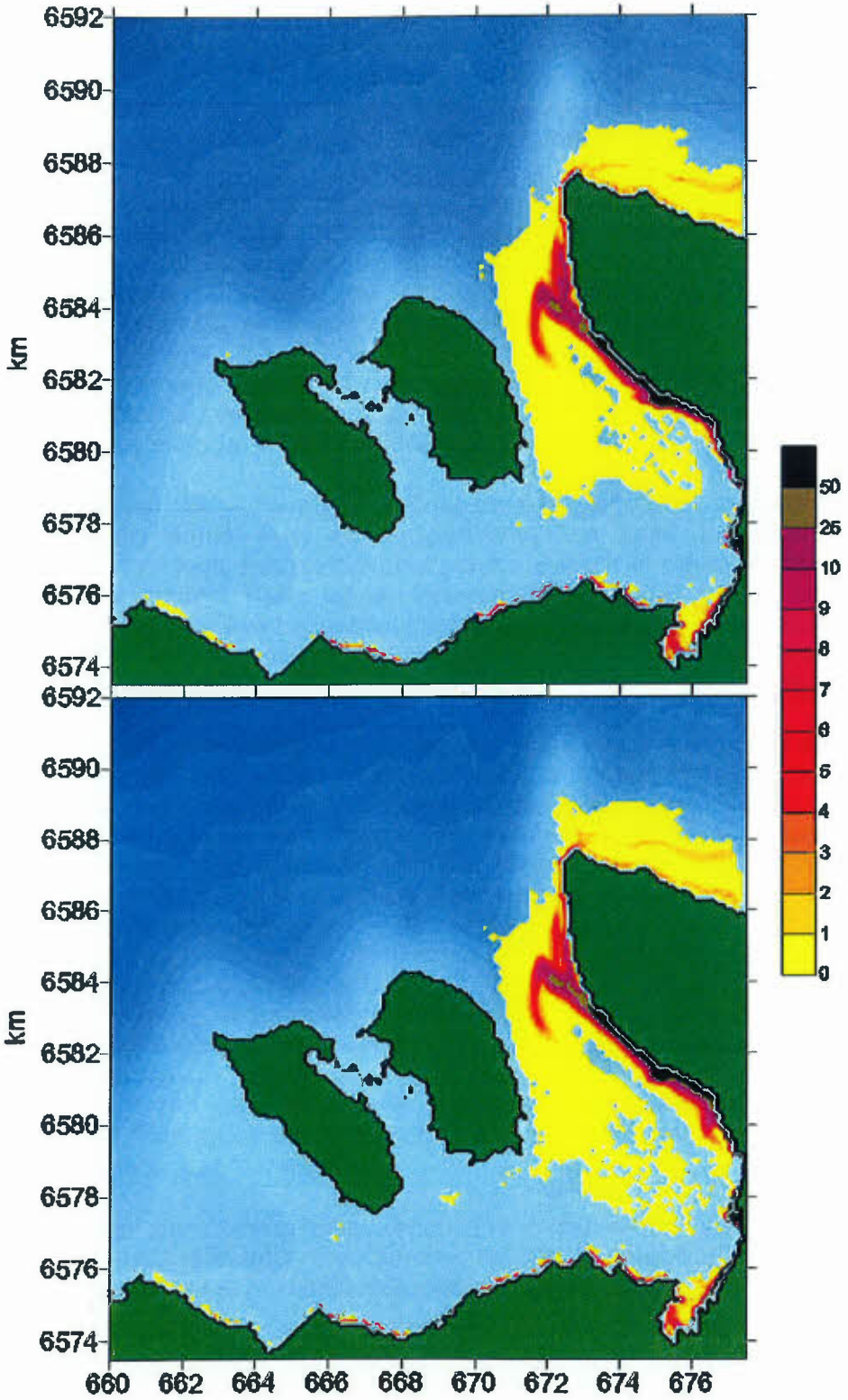
Joonis 3.39 Prognoositud (ülemine) ja hinnatud (alumine) hõljumi jaotus 18. mail 2003.a kell 12:00



Joonis 3.40 Prognoositud (ülemine) ja hinnatud (alumine) hõljumi jaotus 19.mail 2003.a kell 12:00



Joonis 3.41 Prognoositud (ülemine) ja hinnatud (alumine) hõljumi jaotus 20.mail 2003.a kell 12:00



Joonis 3.42 Prognoositud (ülemine) ja hinnatud (alumine) hõljumi jaotus 21.mail 2003.a kell 12:00

3.8 Kokkuvõte

Paldiski Lõunasadama süvendustööde käigus vette sattunud hõljumi ja suspendeeritud setete leviku hindamiseks ja prognoosimiseks kasutati numbrilist hüdrodünaamika ja hõljumi transpordi mudelit. Vette sattunud setete hulga hindamiseks, sõltuvalt süvendatavast pinnasest ja süvendamise tehnoloogiast, kasutati süvendamise käigus süvendaja poolt saadud andmeid süvendusmahtude kohta.

Pakri lahele rakendatud hüdrodüünamika mudeliga saadud hoovuste väärtusi võrreldi mõõdetud hoovustega. Võrdluse tulemused näitasid, et mudeliga saadud hoovuste kokkulangevus mõõtmistega on rahuldav. Hõljumi transpordi numbrilise mudeliga saadud hõljumi jaotusi võrreldi hõljumi ja vee hägususe mõõtmistest saadud jaotustega ja satelliidi piltidega. Erinevate meetoditega saadi hea kokkulangevus.

Modelleerimise tulemusena saadi, et süvendustööde ajal vette sattunud hõljum ja suspendeeritud setted ei ladestunud pikaajaliselt Pakri lahes, sest süvendustöid teostati peamiselt intensiivse meteoroloogilise muutlikkuse perioodil.

Tuule muutlikkusele oli iseloomulik mõnepäevaste tugevate ja nõrkade tuulte vaheldumine. Tuule suuna osas esines perioode, kus tuule suund ei muutunud arvestatavalt, ning perioode, kus tuule suund muutus suhtuliselt kiiresti. Lokaalne tuul on peamine hoovuste tekitaja Pakri lahes. Püsivate tuulte korral toimus hõljumi levik hoovustega suhteliselt rannikulähedases alas. Muutuva tuule korral kanti hõljum ja setted hoovustega üle suurema lahe piirkonna. Lühiajalised tugevad hoovused võivad tekitada intensiivset resuspensiooni ja oluliselt muuta hõljumi ja lahtiste setete jaotust.

Kurkse väin ja Pakri lahe lõunaosa on tugevate väga suure hoovuse muutlikkusega piirkonnad, kus setete pikaajalist akumuleerumist ei toimu. Paldiski Lõunasadama süvendamisel piki Pakri poolsaart põhjapoole kantud hõljum ulatus tavaliselt Paldiski Põhjasadamani, kus hoovuste konvergentsi tõttu oli setete kõrgema kontsentratsiooniga ala, ja toimus hõljumi ning setete kandumine kaldast eemale. Peenefraktsioonilise hõljumi jaotuses esines sageli mõnesaja meetri laiuseid kõrgema kontsentratsiooniga pikki ribasid, mis vaheldusid puhtama vee ribadega.

Süvendusaegse seire ajal tehti hõljumi leviku 12 - 24 tunniseid prognoose. Hõljumi leviku prognoosimine võimaldab operatiivselt juhtida süvendustöid ja on eriti oluline, kui töid teostatakse ökoloogiliselt tundlikus piirkonnas või kriitilisel ajaperioodil. Kahekümne nelja tunnise perioodi kohta on kättesaadav tuule prognoos piisava täpsusega. Püsivate meteoroloogiliste ja hoovuste tingimuste korral võib teostada prognoose pikema ajaintervalliga. Tugevate suure muutlikkusega hoovuste piirkonnas peaks hõljumi leviku prognoos olema tiheda ajaintervalliga.

Hõljumi leviku numbrilise modelleerimise rakendamine koos satelliidipiltide ja otseste vee hägususe mõõtmistega võimaldab operatiivselt hinnata ja prognoosida süvenduse ajal vette sattunud sette levikut ja hõljumist mõjustatud mereala ulatust.

4. Põhjataimestiku seire

4.1 Pakri lahe põhjataimestiku üldiseloomustus

Rannikumere põhjataimestik on mereökosüsteemi üks võtmekomponente mis on nii struktuurilt kui funktsioonilt üks keerulisemalt toimivaid süsteeme rannikumeres. Põhjataimestiku vöönd katab Läänemere tingimustes enamasti sügavusvööndit 0-15m, heade valgustingimuste korral ka 0-20m. ja tema areng sõltub tervest reast erinevatest ökoloogilistest teguritest. Kõige tähtsamad nendest on soolsus, toitainete hulk, veealune valgusrežiim, lainetuse mehaaniline mõju ja merepõhja iseloom (substraat). Kuna põhjataimestiku kooslused on paiksed ja enamasti iseloomustab neid bioloogilise mitmekesisuse kõrge tase, reageerivad nad erinevat liiki keskkonnatingimuste muutustele eelkõige koosluste struktuuri ja funktsiooni muutustega. Ajutiste keskkonnatingimuste muutuste puhul on enamikul juhtudel täheldatud põhjataimestiku koosluste struktuuri taastumist algsete keskkonnatingimuste taastumisel ehk tihti tehnogeensete mõjurite lakkamisel. Võimalikud on ka pöördumatud protsessid, eriti kui on tegemist olulise ja pikkaajalise keskkonnamõjuga antud merealal, mis mõjutab eelkõige mitmeaastast põhjataimestikku.

Süvendus ja pinnasepuiste mõjutavad põhjataimestikku eelkõige veealuse valgusrežiimi (lühiajaline mõju) ja kinnitumissubstraadi kvaliteedi (pikaajaline mõju) muutuste kaudu. Nende kahe põhilise keskkonnafaktori muutuse ulatus määrab ka iga konkreetse tegevuse mõju ulatuse põhjataimestiku kooslustele.

4.2 Põhjataimestiku seire metoodika

Põhjataimestiku vaatlused Pakri lahes viidi läbi 17.oktoobril 2002.a, mille käigus hinnati põhjataimestiku koosluste struktuuri ja levikut kokku neljal transektil milledest kaks asusid lahe madalas päras ja kaks olid Pakerordi panga läheduses, mõeldud iseloomustamaks setete puistekoha mõju põhjataimestiku kooslustele.

Põhjataimestiku uuringud teostati metoodika järgi mis on laialdaselt tunnustatud Läänemere piirkonnas ning mida kasutatakse ka Eesti Riikliku Keskkonnaseire Rannikumere seire programmis. See metoodika põhineb transekti kirjeldamisel põhjataimestiku alumise leviku piirist kuni pinnani. Põhjataimestikku seisundit hinnatakse katvushinnangute kaudu ning registreeritakse ka muud anomaalsed nähtused nagu peenefraktsioonilise sette olemasolu taimedel ja muud muutused põhjataimestiku kooslustes.

Vaatluspiirkonnad olid samad mis septembrikuus toimunud süvenduseelse seire ajal. Vaatluspiirkondade valikul lähtuti järgmistest põhimõtetest:

- Vaatluspiirkonnad pidid jääma süvendus- ja puisteispiirkondade potentsiaalse mõju piirkonda
- Vaatluspiirkonnad ei tohtinud olla inimtegevuse poolt tugevalt mõjustatud rannikumere piirkonnas
- Vaatluspiirkonnad kattusid osaliselt 1998. aastal ja 2001. aastal Pakri lahes läbi viidud uuringualadega

Vaatlused teostati sukeldumise teel, kusjuures igas piirkonnas kirjeldati põhjataimestiku kooslused ning Väike-Pakri ja Pakerordi panga piirkonnas dokumenteeriti põhjakoolsusi ka videolindile.
Kirjeldatavateks parameetriteks olid:

1. Põhjataimestiku üldkatvus
2. Põhjataimestiku liigiline koostis
3. Merepõhja iseloom
4. Lahtise, peenefrakstioonilise sette hulk põhjas ja taimedel
5. Keskkonnatingimused (vee läbipaistvus).

4.3 Põhjataimestiku koosluste seire tulemused

4.3.1 Pakerordi panga piirkond

Merepõhja moodustab siin paepaljand mis jätkub vee all umbes 5 m sügavuseni. Põhjataimestiku kooslused on domineeritud põisadru poolt ülemises transekti osas (Tabel 4.1). Sügavamal puudub põhjataimestik hoopis. Madalamas osas on paeplaat kaetud peenefraktsioonilise settega mis ilmselt pärineb puistepaigast. Settematerjal on tekkinud piirkonda hiljuti. Sellele viitab asjaolu, madalas vees on põhi kaetud enamuses esimese aasta põisadruga mis saab kinnituda vaid puhtale substraadile. Kuna selles rannikumere piirkonnad domineerib kevadsuvise paljunemisega põisadru siis pidi põhja substraat olema puhas vähemalt varakevadel – seega on lahtine sete tekkinud piirkonda alles suve jooksul.

Tabel 4.1 Põhjataimestiku koosluste seisund Pakerordi panga transektil, alguspunktiga 59° 21,762'N, 24° 02,265'E

Sügavus	Põhi	Taimestiku üldkatvus	Kirjeldus
Veepiir	Paeplaat, sellel liiv	80%	Rohevetikavöönd kuival. *Cladophora glomerata* 80 %.
0,1 m	Paeplaat, sellel liiv	50 %	Põisadruvööndi algus. *Fucus vesiculosus* 50 %, Cladophora glomerata 50%.
0,3 m	Paeplaat sellel liiv	100 %	*Fucus vesiculosus 100%, Chorda filum 10%, ceramium tenuicorne 10%*
0,5 m	Paeplaat, sellel liiv	100 %	*Fucus vesiculosus 100%, Chorda filum 10%, Ceramium tenuicorne 10%*
2,5 m	Paeplaat, kivid, liiv	10 %	*Fucus vesiculosus* 10%, Ceramium tenuicorne +
5,0 m	Liiv 90 %, Kivid 10 %	+	*Ceramium tenuicorne* +
6,5 m	Liiv 100 %,	0	Põhjataimestik puudub
8,0 m	Liiv 100 %,	0	Põhjataimestik puudub
10,0 m	Liiv 90 %, Kivid 10 %,	0	Põhjataimestik puudub

+ - üksikud taimed, katvus < 1 %

4.3.2 Väike-Pakri idarannik

Selles piirkonnas on põhjataimestik esindatud samade liikidega, mis Pakerordi panga puhulgi kuigi liikide arv on mõnevõrra suurem. Põisadru vöönd levib siin vaid kuni 1 m sügavuseni. 4 m ja 5 m samasügavusjoone vahel toimub kivise substraadi asendumine liivaga. Üleminekupiirkonnas esineb siin hõredalt meriheina. Piirkonnas ei märgatud süvendamisest või puistest vette sattunudlahtise peenefraktsioonilise sette olemasolu (Tabel 4.2).

Tabel 4.2 Põhjataimestiku koosluste seisund Väike-Pakri transektil, alguspunktiga 59° 21,035' N, 23° 59,850' E

Sügavus	Põhi	Taimestiku üldkatvus	Kirjeldus
Veepiir	Paeplaat	100%	Rohevetikavöönd kuival. *Cladophora glomerata* 80 %.
0 m	Paeplaat	50 %	*Fucus vesiculosus* 10%, *Ceramium tenuicorne* 10%, *Ruppia maritima* 30%
0,1 m	Paeplaat	100 %	Põisadruvööndi algus. *Fucus vesiculosus* 80 %, *Chorda filum* +, *Ruppia maritima* +, *Ceramium tenuicorne* 10%, *Pilayella littoralis* 50%
0,3 m	Paeplaat	100 %	*Fucus vesiculosus 80%, Pilayella littoralis 20%, Chorda filum* +, *Ceramium tenicorne*+, *Polysiphonia nigrescens* +, *Cladophora glomerata* +
0,5 m	Paeplaat, suured kivid	100 %	*Fucus vesiculosus 80%, Chorda filum 10%, Ceramium tenuicorne 10%*
2,5 m	Paeplaat, suured kivid	100 %	*Fucus vesiculosus* +, *Ceramium tenuicorne* +, *Polysiphonia nigrescens* 50%, *Chorda filum* 10%, *Sphacellaria arctica* 10%.
5,0 m	Liiv 90 %, kivid 10 %	+	Üleminek kiviselt põhjalt liivasele. Ülemineku peal *Zostera marina 50%,*
6,5 m	Liiv 100 %,	0	Põhjataimestik puudub
8,0 m	Liiv 100 %	0	Põhjataimestik puudub
10,0 m	Liiv 90 %, kivid 10 %	0	Põhjataimestik puudub

+ - üksikud taimed, katvus < 1 %

4.3.3 Pakri lahe päraosa

Selles piirkonnas domineerivad mudased ja liivased põhjad ja neile iseloomulik põhjataimestik, mis koosneb valdavalt kõrgematest taimedest ja mändvetikatest. Põhjataimestik on siin liigi ja biomassivaene (Tabel 4.3). Põhjas oli märgata arvatavasti süvenduspiirkonnast pärinevat materjali kuid märkimisväärset mõju põhjataimestikule ei registreeritud.

Tabel 4.3 Põhjataimestiku koosluste seisund Pakri lahe päraosas

JAAM	Asukoht	Sügavus (m)	Merepõhja materjal	Põhjataimestik
1	59°17,708 24°02,126	1,5	keskmine liiv, kõdu	ÜK 5%, *Cladophora glomerata +, Potamogeton pectinatus +*
2	59°17,558 24°02,169	0,8	peenliiv, kiviklibu	ÜK 50%, *Myriophyllum spicatum, 10%,Potamogeton pectinatus 50%, Ceramium tenuicorne 5%*
3	59°17,804 24°02,225	2,8	peenliiv	*ÜK 80%,* Lahtine vetikamass *50%, Zostera marina 10%*
4	59°18,356 24°02,466	5,8	peen ja keskmine liiv, peal muda	ÜK 0, Taimi pole
5	59°18,622 24°03,500	6,5	peal mudakiht, all peen ja keskmine liiv	ÜK 0, Taimi pole
6	59°18,610 24°06,066	2,6	peal mudakiht, all peenliiv	ÜK *+,Ruppia maritima +,*
7	59°18,580 24°06,619	1,3	peal mudakiht, all peenliiv	ÜK 0. Taimi ei ole

4.4 Põhjataimestiku seiretulemuste kokkuvõte

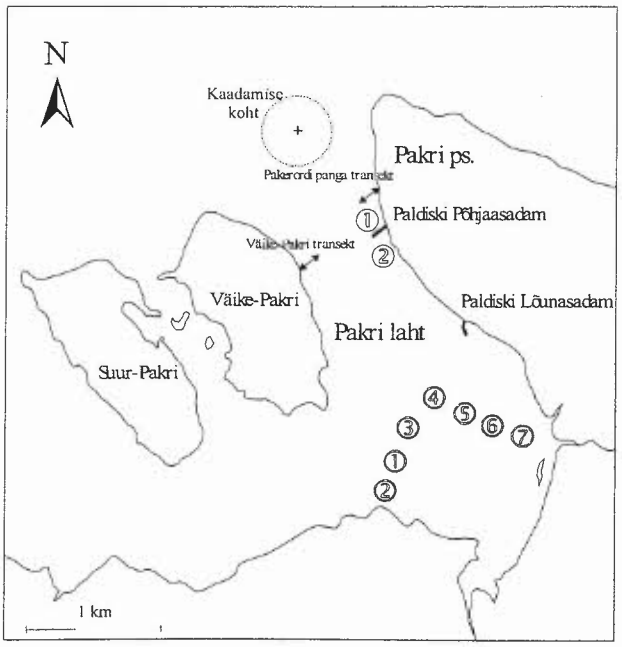
Kirjeldatud merealal täheldati süvendus- ja puistetegevuse mõju rannikumere põhjataimestikule vaid Pakerordi panga vahetus läheduses s.o. piirkonnas mis jääb kõige lähemale puistekohale. Mujal Pakri lahes ei olnud märgata suuremat mõju põhjataimestikule.

5. Põhjaloomastiku seire

Zoobentose uuringud viidi läbi kogu Pakri lahe ulatuses. Töö eesmärgiks on uurida suuremahuliste süvendustööde ja sellega kaasneva pinnasepuiste mõju Pakri lahe põhjaloomastikule. Süvendustööde toimusid Pakri lahe lõunaosas – Paldiski Lõunasadama akvatooriumis ja laevateel. Pinnasepuiste ala asub Pakri lahe suudmes. Kvantitatiivsete põhjaproovide alusel uuriti bentiliste organismide füsioloogilist arengustaadiumi, arvukust ja biomassi.

5.1 Põhjaloomastiku seire metoodika

2002.a oktoobris ja detsembris koguti Lenz tüüpi põhjaammutajaga (haardepindala 1/25 m^2) Pakri lahes 9 jaamast kokku 9 zoobentose proovi (oktoobris) ja 4 jaamast kokku 4 zoobentose proovi (detsembris). Põhjaloomastiku liigilise koosseisu hindamiseks kivistel põhjadel võeti lisaks proove põhjatraaliga. Detsembrikuise mõõdistuse ajal ei võimaldanud rasked jääolud põhjaloomastiku proovide kogumist madalamates jaamades. Oktoobrikuine mõõdistus ja varasemad uurimiskogemused viitavad sellele, et madalates merepiirkondades on süvendustööde järelmõju suhteliselt lühiajalisem, kuna vette paisatud hõljum kantakse hoovustega lõpptulemusena sügavamate merealade suunas. Valitud uurimispunktid jäävad seega sügavusvahemikku, kus süvendustööde potentsiaalne järelmõju peaks olema suurim. Et tagada süvendusaegse seire võrreldavus süvenduseelse perioodiga, külastati 2001. ja 2002.a uuritud statsionaarseid jaamu. Uurimisjaamad on valitud selliselt, et nad haaraksid süvenduspiirkonda ja sellest lõunasse ning läände jäävaid merealasid Pakri lahes (Joonis 5.1). Proovid koguti ja analüüsiti vastavalt HELCOMi poolt väljatöötatud standartitele.



Joonis 5.1 Põhjaloomastiku seire jaamad Pakri lahes, Paldiski Lõunasadama süvendusaegse seire ajal

5.2 Põhjaloomastiku koosluste seire tulemused

Enamik Soome lahe edelaosa lahtedest on avaras ühenduses Soome lahe keskosa süvikutega. Seetõttu on need lahed aktiivsete hüdrodünaamiliste protsesside mõju all, mille tagajärjel setted on sageli lainetuse ja hoovuste toimel hästi läbipestud ja läbisorteeritud. Pakri laht on selles suhtes erandlik. Suhteliselt sügavas vaondis Väike-Pakri ja Paldiski poolsaare vahel on ülekaalus akumulatsiooniprotsessid ja siia kogunevad orgaanikarikkad, pehmed setted.

Setete akumulatsioon on väga aktiivne ka merealal, mis piirneb Vasalemma jõe suudmega. Sellesse piirkonda kantakse domineerivate hoovustega hulgaliselt poollagunenud orgaanilist materjali, mille lagunemisel tekib setetes väävelvesinik ja langeb hapniku kontsentratsioon põhjalähedases vees. Ebasoodsate tingimuste tõttu on Vasalemma suudmelähedasel merealal põhjaloomastiku arvukus ja biomass äärmiselt madal - 2002.a oktoobris olid vastavad arvulised näitajad 200 is/m^2 ja 2,6 g/m^2 (Tabel 5.1, punkt 7).

Vasalemma jõesuust eemal lahe avaosas ja Kurkse väina piirkonnas (sügavused <15 m) domineerivad pisut mudastunud liivased setted (Tabel 5.1, punktid 1, 3 - 6). Sageli on zoobentose arvukus ja biomass sellel merealal madalama väärtusega, vastavalt kuni 1500 is/m^2 ja kuni 60 g/m^2, kui Soome lahe lääneosa merele avatud lahtedes keskmiselt. See on tingitud peamiselt söödava rannakarbi (*Mytilus edulis*) madalast arvukusest ja biomassist. Liigi arengut pidurdavad antud merealal intensiivsed akumulatsiooniprotsessid. Siin esinevad valdavalt limused - balti lamekarp (*Macoma balthica*) ja söödav südakarp (*Cerastoderma glaucum*). Kui naaberlahtedes domineerib analoogses biotoobis balti lamekarp, siis Pakri lahes on arvukuse ja biomassi dominantliigiks söödav südakarp. Laiguti on uurimisalal kivine-kruusane-klibune põhi (Tabel 5.1, punkt 2). Nendel setetel levivad nektobentilised taimestikulembesed liigid – roheline lehtsarv (*Idotea viridis*) ja balti lehtsarv (*Idotea baltica*). Ka kõvadel põhjadel on põhjaloomastiku koosseisus ülekaalus limused - lamekeermene vesitigu (*Hydrobia ulvae*) ja söödav südakarp. Vaadeldava piirkonna põhjaloomastiku liigiline mitmekesisus on kõrvalasuvatest merealadest mõnevõrra suurem, mis on tingitud uurimisala suuremast elupaigalisest mitmekesisusest - näiteks Kurkse piirkonnas olevad ulatuslikud madalveealad, kus on suhteliselt mosaiiksed põhjasetted ja kohati rikkalik põhjataimestik.

Pakri lahe keskosa suurema sügavusega piirkondades (sügavused 15 - 25m) domineerivad tugevalt mudastunud liivased setted. Setetes on palju poollagunenud orgaanilist materjali. Ka siin on loomastiku koosseisus valdavalt limused - vesiteod, rändtigu (*Potamopyrgus antipodarum*) ja balti lamekarp. Viimane on sügavate piirkondade dominantliik. Väga iseloomulik on putukate vastsete sage esinemine uurimisalal. Põhjaloomastiku arvukus ja biomass on sellel merealal madalam, vastavalt <1000 is/m^2, <80 g/m^2 , kui analoogse sügavusega merele avatud naaberaladel.

Väike-Pakri saare idanõlvale on iseloomulikud tüüpilised Soome lahe edelaosa põhjaloomastiku kooslused. Kivistel põhjadel domineerib söödav rannakarp, liivastel-savistel-mudastel merepõhjadel balti lamekarp (Tabel 5.1, punkt Väike-Pakri). Loomastiku üldarvukus ja -biomass on suur, vastavalt 4345 is/m^2 ja 118,9 g/m^2.

Detsembrikuise vaatluse ajal domineerisid põhjaloomastiku kooslustes karbid *Macoma balthica*, *Cerastoderma glaucum* ning kohati ka *Mytilus edulis* ja *Mya arenaria*. *Macoma balthica* biomass uurimisalal on jaotunud võrdlemisi homogeenselt. Biomassi väärtus ei ületa märkimisväärselt Soome lahele iseloomulikke väärtusi.

Pakri lahe lääneosa pehmetel põhjadel olid erandlikult kõrged *Mytilus edulis* biomassid. Nähtust võis käesoleval aastal jälgida kogu Soome lahe ulatuses ning selle põhjuseks arvatakse erakordselt sooja suve, mis halvendas karbiliigi toitumistingimusi ning põhjustas elupaikade hävimist madalaveelistel aladel. Elupaikade hävimise tagajärjel toimus liigi massiline passiivne migratsioon sügavamate alade suunas. Kuna Pakri lahe sügavamatel aladel domineerivad peamiselt pehmed setted, siis ei ole võimalik *Mytilus edulis'e* kinnitumine ning populatsioon on hoovuste mõjul pidevas liikumises.

Tervele Pakri lahele kui uurimisalale on endiselt iseloomulikud võrdlemisi mitmekesised põhjaloomastiku kooslused. Lisaks karpidele on arvukalt esindatud väheharjasussid, *Hediste diversicolor*, *Corophium volutator*, *Hydrobia ulvae*, *H. ventrosa*; lahe lääneosas ka *Balanus improvisus*.

5.3 Süvendustöödest tingitud muutused põhjaloomastiku kooslustes

Detsembrikuise põhjaloomastiku seirevaatluse tulemustel ei täheldatud setetes elavate karbiliikide populatsioonistruktuuris olulisi erinevusi süvenduseelse ja süvenduse intensiivperioodi järgse olukorra vahel. Tulemus viitab sellele, et valdav osa hõljumist, mis süvendamise käigus veesambasse paisati, on juba detsembrikuuks kantud edasi süvikute suunas.

Süvendustöödest tekkinud suurem hõljumi hulk suurendas oluliselt *Mytilus edulis'e* suremust pehmetel setetel (filtreerimisaparaadi ummistumine, halvemad toitumistingimused setete all, võimalik ajutine hapnikupuudus, jne.). Käesolevaks ajaks oli ligikaudu 20% populatsioonist hävinud, ülejäänud populatsiooni füsioloogiline seisund oli ebastabiilne. Madalaveealade kinnitunud *M. edulis*'e populatsiooni puhul süvendustöödest tingitud negatiivseid ilminguid ei täheldatud.

Võrreldes süvenduseelse olukorraga oli uurimisalal kohati suurenenud väheharjasusside ja *Hydrobia ulvae* arvukus. Väheharjasusside asustustiheduse suurenemine viitab piirkonna suuremale mudastumisele. *Hydrobia ulvae* arvukuse kasvu taga on tõenäoliselt toitumistingimuste paranemine. Süvendamise käigus suurenes veesambas toiteelementide hulk, mis omakorda suurendas bentiliste mikrovetikate, so. *Hydrobia ulvae* toiduobjekti, arvukust. Peale mikrovetikate oli uurimisalal oluliselt suurenenud ka lahtiste makrovetikate hulk. Proovidest leiti väga ohtralt pruunvetikate *Fucus vesiculosus*, *Pilayella littoralis*, punavetikate *Polysiphonia nigrescens*, *Ceramium tenuicorne*, *Furcellaria lumbricalis*, rohevetika *Cladophora glomerata* ja kõrgema taime *Ruppia maritima* laguprodukte. Makovetikad on *Hydrobia* liikidele ideaalseks elupaigaks, mistõttu nad suudavad sellisel substraadil tungida ka sügavamatele merealadele.

5.4 Süvenduse ja pinnasepuiste mõjust põhjaloomastikule

Madalaveelistel merealadel mõjutavad põhjaloomastiku arengut järgmised ökoloogilised tegurid:

- Setete koosseis, merepõhja iseloom, substraat
- Põhjataimestiku esinemine, taimestiku liigiline koosseis
- Orgaanilise aine hulk vees ja setetes

- Piirkonna hüdroloogia (temperatuuri-, soolsuse- ja hapnikurežiim põhjalähedastes veekihtides, domineerivad hoovused).

Põhjaloomastiku kooslused reageerivad selgelt ükskõik millise ülalnimetatud teguri muutustele. Süvenduse ja pinnasepuiste tagajärjel muutuvad väiksemal või suuremal merealal setete koosseis, orgaanilise aine sisaldus ning sageli ka põhjataimestiku kooslused. Põhjaloomastik reageerib keskkonnatingimuste muutustele järgnevalt:

- Süvendatud merepõhja läheduses ja pinnasepuiste alal valdav osa põhjaloomastikust hävib (süvenduspiirkonnas tõstetakse setetega välja, pinnasepuiste alal maetakse süvendatud pinnase alla). Põhjafauna taastumine võtab aega kaks kuni kolm aastat.
- Töödega paisatakse vette põhjasetteid, mis levivad hoovustega piirkonnast kaugemale, kuna hõljumi kergem fraktsioon püsib kaua veesambas. Hõljumi kogus on seda suurem, mida suuremad on süvendatavate setete kogused või mida pikemat aega töid läbi viiakse. Süvendustööde ajal 2002.a oktoobris oli vee läbipaistvus kõige väiksem (hõljumi kogused vees kõige suuremad) Lõunasadama läheduses, Pakri lahe idaosas ja Väike-Pakri idarannikul. Ülalloetletud varem liivase põhjaga merealadel olid setted kaetud kuni 2 cm paksuse mudakihiga (Tabel 5.1). Mudakiht oli sinna tekkinud süvendustöödega veesambasse paisatud hõljumi settimise tagajärjel.
- Hõljumi kergem fraktsioon on toiduobjektiks põhjafaunale. Toitumistingimuste paranemise tõttu kasvab filtreerijate (toituvad vees olevast hõljumist) ning detritofaagide (toituvad setetes ja setetel olevast orgaanilisest ainest) arvukus ja biomass. Süvendustööde ajal põhjaloomastiku arvukuse ja biomassi tõusu võrreldes süvenduseelse situatsiooniga veel ei täheldatud, kuna aeg oli selleks liiga lühike. Varasemate uuringute alusel võib väita et umbes poole aasta jooksul pärast süvendustöid võib tõusta filtreerijate: söödava rannakarbi, liiva-uurikkarbi (*Mya arenaria*), tavalise harjasliimuka (*Nereis diversicolor*) ning detritofaagide: balti lamekarbi ja söödava südakarbi arvukus ja biomass. Eriti massiliselt võib areneda söödava rannakarbi populatsioon Väike-Pakri piirkonnas. Seoses taimestiku kahjustustega võib vaesustuda taimestikulembeste põhjaloomade liigiline koosseis.
- Muutused koosluste struktuuris toovad kaasa bioloogilise tasakaalu kadumise teatud ajaperioodiks. Lisandunud hõljumi mõju põhjakooslustele võib täheldada veel 2-3 aastat pärast süvendustöid. Seejärel langeb loomastiku arvukus ja biomass normaalsele (enne süvendustöid olnud) tasemele. Võimalikud on jäävad muutused dominantliikide koosseisus.

5.5 Põhjaloomastiku seiretulemuste kokkuvõte

Süvendustööde ajal teostatud põhjaloomastiku analüüs näitas, et hõljumi mõju põhjafauna koosseisule ei olnud veel avaldunud. Vette paisatud hõljumi mõju põhjaloomastikule avaldub umbes poole aasta jooksul ja püsib järgneva paari aasta jooksul. Tingituna piirkonnas valitsevatest akumulatsiooniprotsessidest settib hõljum peamiselt Pakri lahte. Seetõttu on orgaanilise aine juurdevoolu prognoositav mõju Pakri lahe põhjaloomastikule suur.

Süvendusaegse seirevaatluse põhjal selgus et põhjaloomastiku liikide füsioloogilises seisundis ei esinenud kõrvalekaldeid normaalsest olukorrast. Sellele viitab elustiku tüüpiline vertikaalne levikustruktuur setetes ning normkäitumine.

Süvendustööde intensiivperioodile järgnenud põhjaloomastiku analüüs (detsembris 2002.a) näitas, et hõljumi mõju ei olnud oluliselt muutnud setetes elavate põhjaloomastiku koosluste arvukuse ja biomassi struktuuri. Kuna sellised liigid aga paljunevad kord aastas, siis suurenenud toidubaasi mõju võib avalduda alles järgmise aasta edukamas sigimises. Oluliselt oli kahjustunud kinnitumata *Mytilus edulis'e* populatsioon. Tegemist on aga võrdlemisi haruldase nähtusega uurimisalal – kõva substraadi puudumise tõttu püsiks selline populatsioon isegi inimmõju puudumisel vaid lühiajaliselt.

Suurenenud väheharjasusside ja *Hydrobia ulvae* arvukus viitab aktiivsetele mudastumisprotsessidele piirkonnas ning kinnitumata makrovetikate intensiivsele kuhjumisele sügavamatel aladel. Sellised muutused koosluste struktuuris ei kesta tõenäoliselt üle aasta.

Tabel 5.1 Proovikogumisalade üldiseloomustus, setete ja põhjaloomastiku koosseis seirevaatluse ajal 2002.a oktoobris

JAAM	Asukoht	Sügavus (m)	Merepõhja materjal	Liik	Arvukus (is. m^{-2})	Biomass (g m^{-2})
1	59°17,708 24°02,126	1,5	keskmine liiv, kõdu	*Cerastoderma glaucum*	1100	53,3
				Hydrobia ulvae	75	0,6
				Nereis diversicolor	75	1,5
				Oligochaeta	325	0,5
2	59°17,558 24°02,169	0,8	peenliiv, kiviklibu	*Cerastoderma glaucum*	975	45,9
				Oligochaeta	25	0,2
				Lymnea peregra	75	2,8
				Hydrobia ulvae	925	5,1
				Idotea baltica	100	1,4
				Idotea viridis	25	0,1
				Odonata	25	1,0
3	59°17,804 24°02,225	2,8	peenliiv	*Macoma balthica*	75	13,0
				Chironomidae	275	1,1
				Oligochaeta	25	0,1
				Hydrobia ulvae	3250	31,3
				Hydrobia ventrosa	325	0,7
4	59°18,356 24°02,466	5,8	peen ja keskmine liiv, peal muda	*Mya arenaria*	25	0,1
				Cerastoderma glaucum	1000	29,9
				Macoma balthica	150	14,6
				Hydrobia ulvae	200	0,9
				Hydrobia ventrosa	50	0,1
				Oligochaeta	50	0,1
				Nereis diversicolor	25	0,5
5	59°18,622 24°03,500	6,5	peal mudakiht, all peen ja keskmine liiv	*Cerastoderma glaucum*	650	18,0
				Mya arenaria	25	1,7
				Hydrobia ulvae	325	3,0
				Macoma balthica	125	28,8
				Mytilus edulis	25	1,6
				Oligochaeta	150	0,3
				Nereis diversicolor	25	0,2
6	59°18,610 24°06,066	2,6	peal mudakiht, all peenliiv	*Macoma balthica*	125	2,1
				Cerastoderma glaucum	775	32,3
				Hydrobia ulvae	675	2,6
				Hydrobia ventrosa	175	0,3
				Potamopyrgus antipodarum	25	0,3
				Chironomidae	50	0,1
				Prostoma obscurum	25	0,1
7	59°18,580 24°06,619	1,3	peal mudakiht, all peenliiv	*Nereis diversicolor*	25	0,1
				Prostoma obscurum	25	0,1
				Macoma balthica	75	1,7
				Cerastoderma glaucum	25	0,7
				Chironomidae	50	0,1
Väike -Pakri	59°21,035 23°59,850	8,0	peal mudakiht, all nõrgalt mudastunud peen ja keskmine liiv	*Cersatoderma glaucum*	3920	22,1
				Macoma balthica	275	96,0
				Hydrobia ulvae	75	0,6
				Nereis diversicolor	25	0,1
				Oligochaeta	50	0,1
Põhja - sada m 1	59°21,007 24°02,739	9,8	peal kiht muda, all peenliiv	*Nereis diversicolor*	50	0,2
				Theodoxus fluviatilis	25	2,7
				Hydrobia ulvae	75	0,5
				Macoma balthica	725	29,5
				Cerastoderma glaucum	600	47,1
				Mya arenaria	25	0,2

Tabel 5.2. Proovikogumisalade üldiseloomustus, setete ja põhjaloomastiku koosseis seirevaatluse ajal 2002.a detsembris

JAAM	Asukoht	Sügavus (m)	Merepõhja materjal	Liik	Arvukus (is. m^{-2})	Biomass (g m^{-2})
1	59°19,720 24°04,561	12	peenliiv	*Macoma balthica*	375	76,9025
				Cerastoderma glaucum	75	10,9775
				Mya arenaria	50	1,3825
				Hediste diversicolor	150	14,6625
				Oligochaeta	200	0,1350
				Hydrobia ventrosa	25	0,0875
				Hydrobia ulvae	550	3,2275
2	59°19,000 24°03,750	10	peenliiv	*Macoma balthica*	50	1,6050
				Corophium volutator	50	0,0950
				Hydrobia ulvae	25	0,2300
3	59°18,966 24°01,660	11	peen- ja jämeliiv, peal süvendus-muda	*Mytilus edulis*	1175	265,930
				Cerastoderma glaucum	75	21,2475
				Macoma balthica	750	70,0175
				Mya arenaria	50	11,3625
				Balanus improvisus	50	0,9125
				Oligochaeta	25	0,0575
				Hydrobia ulvae	350	2,7850
4	59°21,007 24°02,739	10	peenliiv, peal muda	*Macoma balthica*	400	73,5275
				Balanus improvisus	50	2,715
				Oligochaeta	225	0,1675
				Mya arenaria	25	0,0925
				Hydrobia ulvae	850	5,3475
				Hydrobia ventrosa	50	0,0875

6. Kalastiku seire

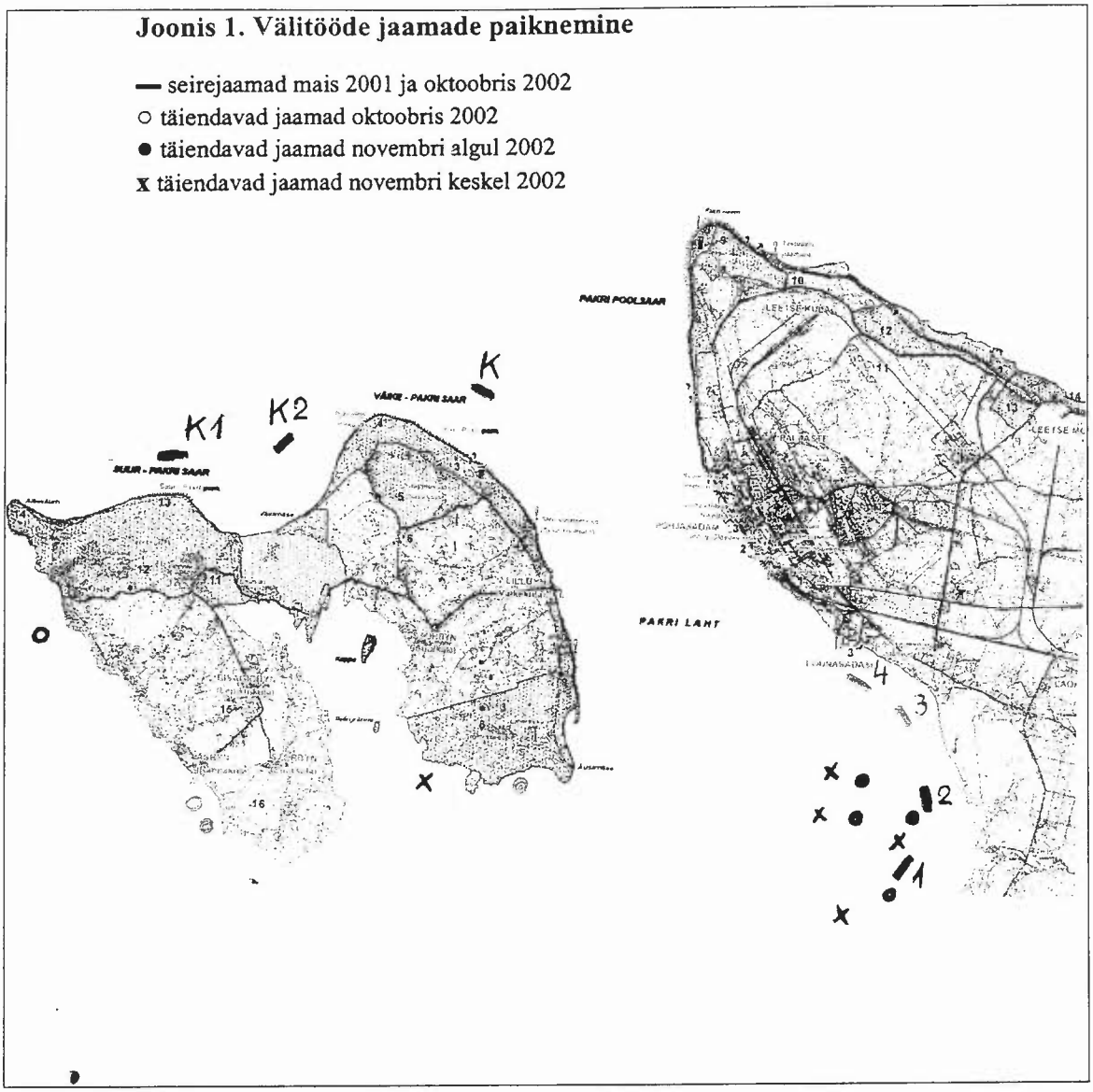
6.1 Kalastiku seiremõõdistused ja nende metoodika

Seirepüük 30. - 31.mail 2001.a
Kalu püüti nakkevõrkudega neljas jaamas (seirejaamad 1 - 4 Joonisel 6.1) sügavusel 2 m. Tuul N, 1-3 m s^{-1}, Secchi sügavus 2.5 m, vee temperatuur ca 10° C. Jaam 4 paiknes Paldiski Lõunasadama vahetus läheduses, jaamad 3 kuni 1 vastavalt ca 1, 2 ja 3 km sadamast. Igas jaamas oli jada standardseid nakkevõrke silmasuurusega 17, 22, 25, 30, 33 ja 38 mm ning lisaks (analüüsis nende saak ei kajastu) üks suurema silmasuurusega (42-55 mm) kapronvõrk. Materjali vanuse määramiseks (nagu ka hilisematel välitöödel) koguti vaid merisiialt.

Seirepüük 10. - 13.oktoobril 2002.a
Puhus NE ja E tuul, 5 - 7 m s^{-1}, vee temperatuur oli 3.4-4.2 °C. Püüti nakkevõrkudega (silmasuurus 17, 22, 25, 30, 33 ja 38 mm) kaks ööd neljas jaamas (jaamad 1-4) Pakri lahes 2 m sügavuses (samad jaamad mis 2001.a) ja üks öö – kahes jaamas (jaamad 5-6, võrgud silmasuurusega 22, 30, 38, 50 ja 60 mm) Pakri ssartest põhja pool (pinnasepuisteala läheduses, jaam K ja kontrollala, jaam K1) 20 m sügavuses. Jaamades 1 ja 4 kasutati lisaks standardsele jadale võrke silmasuurusega 42, 45, 50 ja 60 mm (nn. siiajaam, suuremate kalade, sealhulgas merisiia püügiks).

Seirepüük 5. - 9.novembril 2002.a
Püüki teostati 7 jaamas, sh. pinnasepuiste kohas (K) ja vastaval võrdlusalal (K1 ja K2). Tugeva tuule tõttu kattusid võrgud vetikatega ja välja püüti vaid mõned merisiiad ning lestad.

Seirepüük 14. - 17.novembril 2002.a
Püüti pinnasepuiste kohas (K) ja vastaval võrdlusalal (K2) ning (nn. siiajaamadega) 5 jaamas (Joonisel 6.1). Siiajaamades oli kokku vaid 3 siiga ja 4 lesta. Vee temperatuur oli langenud 1.5 kraadini. Vee läbipaistvus (Secchi kettaga) oli pinnasepuiste alal 5.5m ja kontrollalal (K2) 7 m. Üks siigadest (jooksva niisaga isane) oli 23 lõpusepiiga, seega vähepiilise mereskudeva siiavormi esindaja. See siiavorm on praeguseks kõige haruldasem meie rannikumeres. Pakri laht on siiani selle vormi sigimiskohaks. Meie katsepüükides ei olnud jooksva marjaga emaskalu, küll püüdsid kohalikud kalurid jooksva marjaga emase merisiia paar päeva enne meie välitööde algust.



Joonis 6.1 Kalastiku seirejaamad Pakri lahes

6.2 Kalastiku seire tulemused

6.2.1 Kalastiku hiliskevadine aspekt: mai 2001

Kokku registreeriti 14 liiki kalu. Lisaks standardsetes nakkevõrkudes olnud 12 liigile (Tabel 6.1, 6.2) tehti kindlaks veel kammelja (püüti kapronvõrguga) ja luukaritsa (suure tobia toidus) esinemine. Sadamast kaugemal paiknenud jaamades oli kalade arvukus suurem kui sadama lähedal (Tabel 6.3).

Erineva silmasuurusega võrkude saak (kalade arv ja kaal) on esitatud Tabelites 6.4 ja 6.5. Nii arvult kui kaalult oli kõige enam kalu püüti 17 mm silmasuurusega võrkudes, suurema silmasuurusega võrkude (30-38 mm) saagi põhilise osa moodustas lest. Lesta

keskmine pikkus ja kaal olid suuremad sadamast eemal paiknenud jaamades 1 ja 2 (Joonis 6.2). Ahvena keskmine pikkus ja kaal erineva silmasuurusega võrkudes on esitatud Joonisel 6.3, kuigi kalu oli vähe (22, 30 ja 38 mm silmasuurusega võrkudes vaid 1) on ilmne, et alates 30 mm silmasuurusest püüavad võrgud ahvenat, kelle pikkus on üle alammõõdu (19 cm).

Lesta keskmine pikkus ja kaal erineva silmasuurusega võrkudes on esitatud Joonisel 6.4, kuhu on lisatud ka 42 ja 45mm silmasuurusega võrkude andmed. Lesta keskmine pikkus ja kaal vähenesid 17 mm kuni 30 mm silmasuuruseni ja siis hakkasid taas suurenema. Alles 45 mm silmasuurusega võrkudes ületas lesta keskmine TL 200 mm ja TW 100 g.

Tulemused näitavad, et kõik uuritud jaamad olid sobivad mageveekalade elupaigaks. Sadamale lähemal asuvad jaamad on ilmselt sobivamad mereliikidele kui jaamad 1 ja 2. Sadama piirkonnas ilmselt ei toimu räime kudemist, kas see on seotud kudemisalade väljalangemisega sadama mõjul, peavad näitama põhjataimestiku ja merepõhja iseloomu uuringud. Tervikuna oli sadamale lähemates jaamades kalade arvukus madalam ja seal elasid väiksemad lestad kui sadamast kaugemal asuvates jaamades.

Tabel 6.1 Liigiline koosseis ja kalade arv jaamade kaupa

JAAM	AHVE	EMKA	LEST	METI	RAIM	RUNT	SARG	VIID	TUHA	MESI	KIIS	SUTO	KOKKU	%
1	2	1	67	1	33	2	3	1	1	0	0	0	**111**	*49,1*
2	3	0	17	0	22	0	1	3	0	2	0	0	**48**	*21,2*
3	1	3	9	0	4	0	0	2	0	1	1	1	**22**	*9,7*
4	3	9	22	0	6	0	3	2	0	0	0	0	**45**	*19,9*
KOK-KU	**9**	**13**	**115**	**1**	**65**	**2**	**7**	**8**	**1**	**3**	**1**	**1**	**226**	*100,0*
%	*4,0*	*5,8*	*50,9*	*0,4*	*28,8*	*0,9*	*3,1*	*3,5*	*0,4*	*1,3*	*0,4*	*0,4*	*100,0*	

Tabel 6.2 Saagi kaal liikide ja jaamade kaupa (grammides)

JAAM	AHVE	EMKA	LEST	METI	RAIM	RUNT	SARG	VIID	TUHA	MESI	KIIS	SUTO	KOKKU	%
1	99	47	3530	41	1544	51	245	34	477	0	0	0	**6068**	*51,8*
2	176	0	1282	0	741	0	113	91	0	130	0	0	**2533**	*21,6*
3	125	123	348	0	129	0	0	69	0	95	68	11	**968**	*8,3*
4	172	473	882	0	433	0	125	54	0	0	0	0	**2139**	*18,3*
KOK-KU	**572**	**643**	**6042**	**41**	**2847**	**51**	**483**	**248**	**477**	**225**	**68**	**11**	**11708**	***100***
%	*4,9*	*5,5*	*51,6*	*0,4*	*24,3*	*0,4*	*4,1*	*2,1*	*4,1*	*1,9*	*0,6*	*0,1*	***100,0***	

Tabel 6.3 Kalade arvukus ja kaal ning kalaliikide arv sadamalähedastes jaamades (jaamad 3 ja 4) ja sadamast kaugemal paiknevates jaamades (1 ja 2)

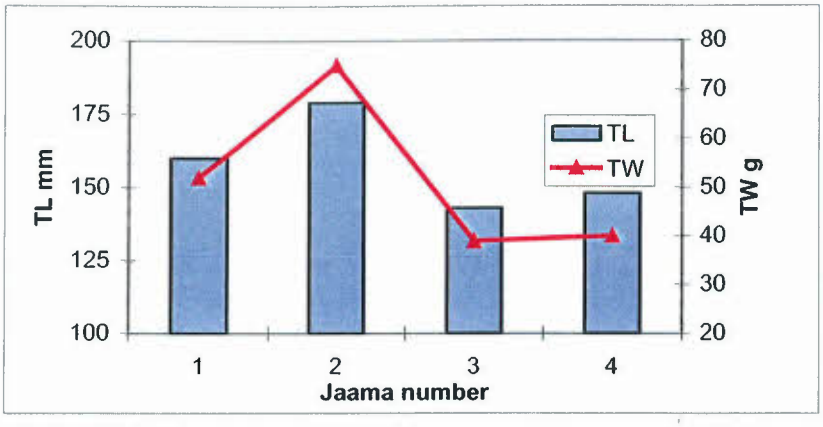
	Jaam 1+2		Jaam 3+4	
Kalade arv	159	*70,0%*	68	*30,0%*
Kaal (g)	8601	*73,4%*	3107	*26,6%*
Liikide arv	10		9	

Tabel 6.4 Kalade arv eri silmasuurusega seirevõrkudes (4 jaama)

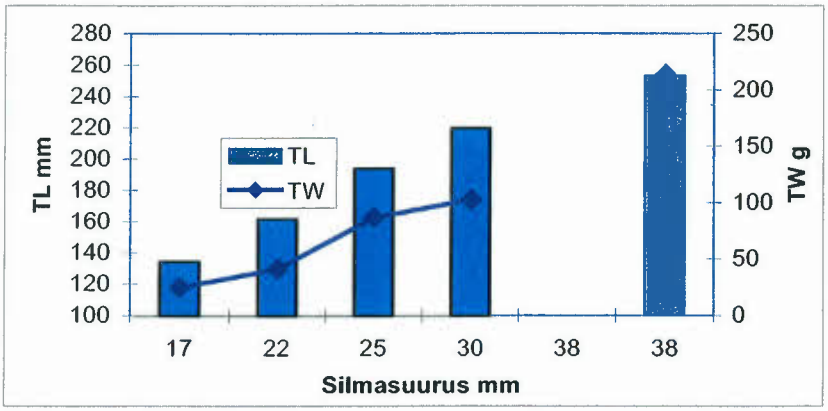
VÕRK	AHVE	EMKA	LEST	METI	RAIM	RUNT	SARG	VIID	TUHA	MESI	KIIS	SUTO	KOKKU	%
17	3	11	8	1	60	2	2	8	0	0	1	1	**97**	*42,9*
22	1	2	3	0	1	0	2	0	0	3	0	0	**12**	*5,3*
25	4	0	16	0	1	0	1	0	1	0	0	0	**23**	*10,2*
30	1	0	42	0	2	0	2	0	0	0	0	0	**47**	*20,8*
33	0	0	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**27**	*11,9*
38	0	0	19	0	1	0	0	0	0	0	0	0	**20**	*8,8*

Tabel 6.5 Kalade kaal eri silmasuurusega seirevõrkudes liikide kaupa (4 jaama)

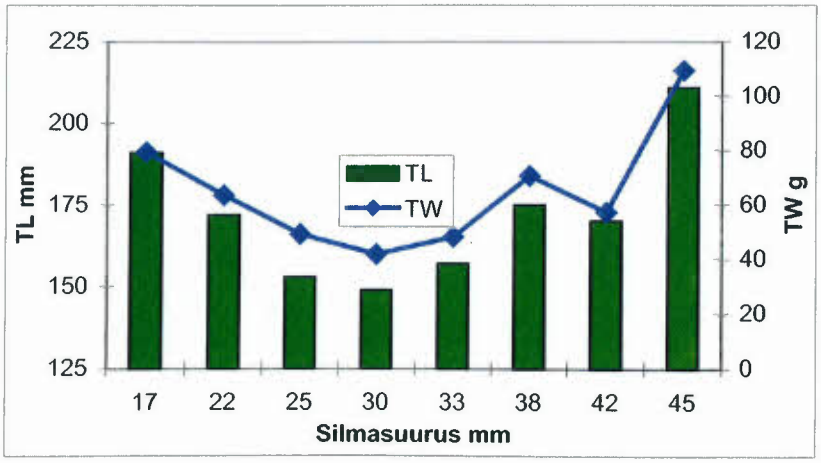
VÕRK	AHVE	EMKA	LEST	METI	RAIM	RUNT	SARG	VIID	TUHA	MESI	KIIS	SUTO	KOKKU	%
17	76	484	635	41	2157	51	51	248	0	0	68	11	**3822**	*32,6*
22	42	159	191	0	75	0	100	0	0	225	0	0	**792**	*6,8*
25	351	0	789	0	96	0	78	0	477	0	0	0	**1791**	*15,3*
30	103	0	1762	0	477	0	254	0	0	0	0	0	**2596**	*22,2*
33	0	0	1322	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**1322**	*11,3*
38	0	0	1343	0	42	0	0	0	0	0	0	0	**1385**	*11,8*



Joonis 6.2 Lesta pikkus (TL) ja kaal (TW) eri seirejaamades Pakri lahes



Joonis 6.3 Ahvena pikkus (TL) ja kaal (TW) eri silmasuurusega võrkudes



Joonis 6.4 Lesta pikkus (TL) ja kaal (TW) erineva silmasuurusega võrkudes

6.2.2 Kalastiku sügisene aspekt: oktoober 2002

Oktoobrikuiste püükide saak jaamade kaupa on esitatud Tabelites 6.6 ja 6.7.

Tabel 6.6 Kalastiku liigiline koosseis ja kalade arvukus seirejaamades Pakri lahes ja pinnasepuiste alal (jaam 6) ning kontrollalal

Liik	Jaam 4		Jaam 3		Jaam 2		Jaam 1		Jaam K1	Jaam K
Püük	I	II	I	II	I	II	I	II	I	I
Ahven	9	10	3	7	2	3	5	1	0	11
Emakala	2	2	4	3	2	3	7	1	0	1
Hõbekoger	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lest	85	112	15	7	18	14	16	17	0	6
Nurg	8	1	4	0	0	0	0	0	0	0
Räim	8	1	11	7	33	6	61	2	16	58
Rünt	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Särg	25	18	14	0	1	5	1	2	0	0
Viidikas	205	119	52	2	12	1	0	5	0	0
Vimb	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Linask	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Kiisk	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Merisiig	0	0	0	0	0	0	0	1	0	4
Meritint	0	0	0	0	0	2	1	0	1	7
Roosärg	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0
Tursk	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Nolgus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
KOKKU	**344**	**266**	**105**	**26**	**68**	**35**	**91**	**29**	**18**	**88**
Kokku ilma pelaagilisteta	**131**	**146**	**42**	**17**	**23**	**26**	**29**	**22**	**1**	**23**
Liikide arv	**9**	**9**	**9**	**5**	**6**	**8**	**6**	**7**	**3**	**7**

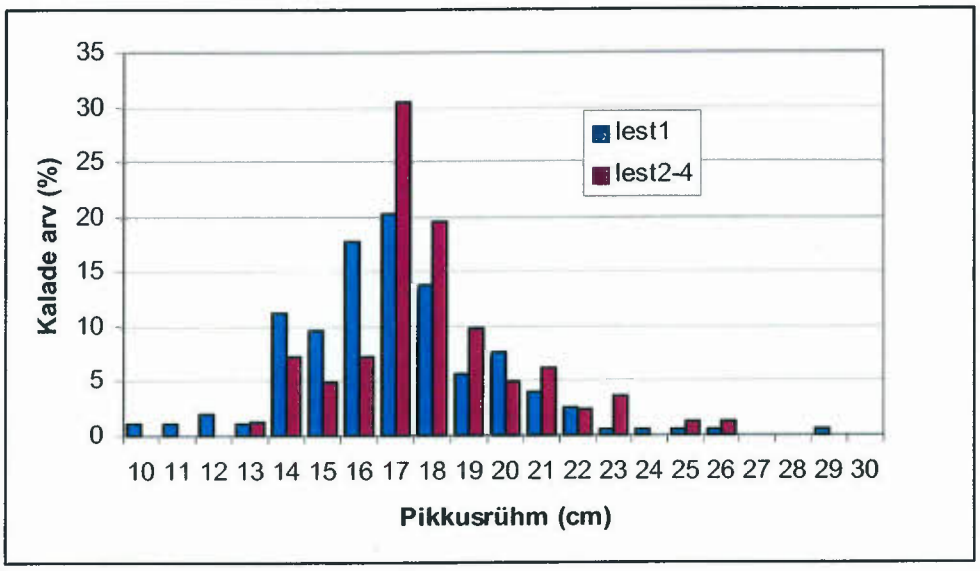
Tabel 6.7 Kalastiku liigiline koosseis ja kalade arvukus siiajaamades Pakri lahes (jaamad 1 ja 4)

Liik	Jaam 4		Jaam 1	
Püük	I	II	I	II
Lest	79	78	10	20
Haug	0	0	1	0
Räim	0	0	4	0
Merisiig	0	0	2	6
Vimb	1	0	0	0
Kokku	**80**	**78**	**17**	**26**

Üllatavalt (ja erinevalt kevadest 2001) oli kalade arvukus suurim sadama piirkonnas (jaam 4), kus oli väga arvukalt viidikaid ja väikesi lesti. Arvatavasti on tegemist kalade

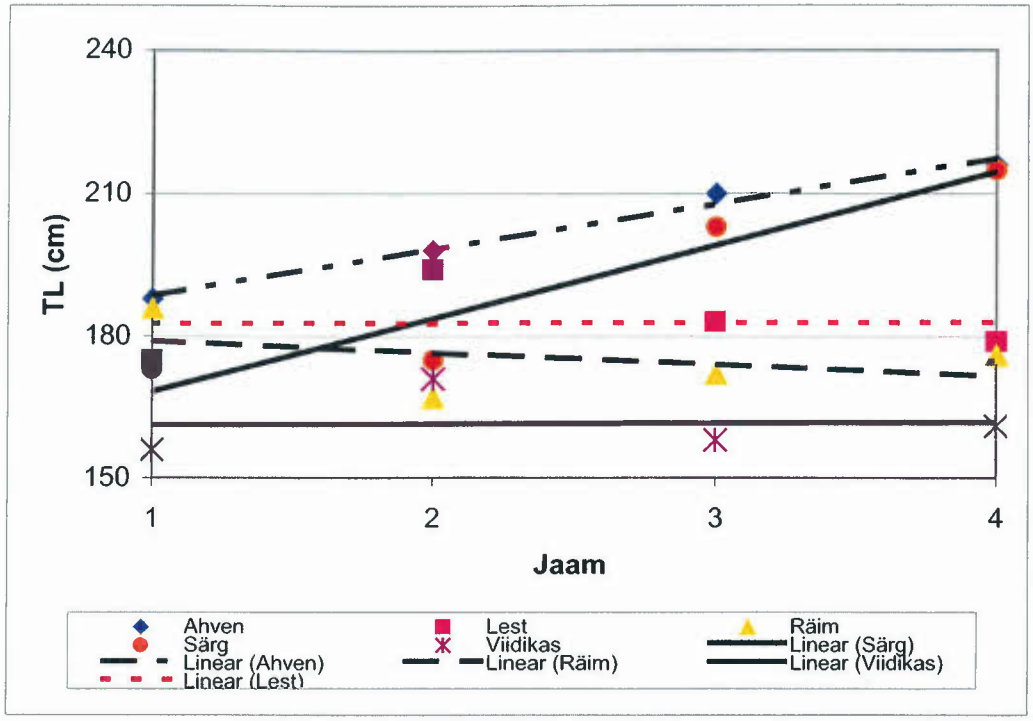
sesoonsetest liikumistest põhjustatud iseärasustega. Lahe tähelepanuväärseimat kalaliiki – merisiiga (Eesti Punase Raamatu liik) esines vaid sadamast kaugeimas jaamas. Pinnasepuiste alal oli kalade arvukus märksa suurem kui võrdlusalal ja seal esines üsna arvukalt ka merisiiga.

Sadama piirkonnas oli (nagu ka 2001.a kevadel) suhteliselt arvukamalt väikesi lesti kui sadamast kaugemal asuvates jaamades (Joonis 6.5).

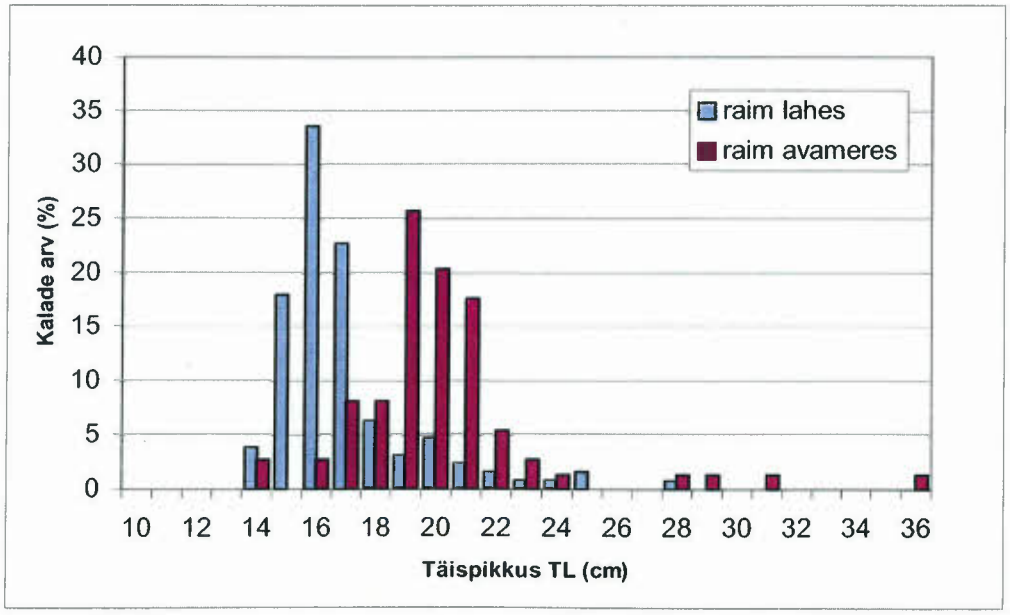


Joonis 6.5 Lesta pikkuseline jaotumine sadama piirkonnas jaamas 4 (lest 1) ja sadamast kaugemates jaamades (lest 2-4)

Ahvena ja särje keskmine pikkus seirevõrkudes suurenes Paldiski Lõunasadamast (süvendustööde kohast) eemaldumisel (Joonis 6.6). Samas olid räimed suurimad just sadama piirkonnas, mis pole üllatav (selle merelise liigi suuremad isendid on ikka merelisematel aladel võrreldes lahesoppidega).
Räimed Pakri lahes olid väiksemad kui pinnasepuiste alal ja kontrollalal (Joonis 6.7).
Süvendustöödest tingitud mehhaanilisi vigastusi kaladel ei registreeritud.



Joonis 6.6 Kalade keskmine täispikkus TL erinevates seirejaamades. Jaamade numeratsioon vastupidine Joonisele 6.1 (jaam 1 Joonisel 6.6 on jaam 4 jne.)



Joonis 6.7 Räime pikkuseline jaotumine Pakri lahes (jaamad 1-4) ja avameres (jaamad K, K1) oktoobris 2002

6.2.2 Kalastiku hilissügisene aspekt: november 2002

Novembri alguse püüke segas tugev tuul. Pakri lahest (Madise piirkonnast) püüti kokku 10 merisiiga, kes kõik kuulusid keskmise (ca 30) lõpusepiide arvuga siigade hulka. Selle vormi isendid prevaleerivad praegu nii Soome lahes kui Saaremaa lääneranniku l (Verliin, 2002). Vähepiilise mereskudeva siia isendeid ei saadud, lisaks oli võrkudes mõni lest.

14.-16. novembrini 2002.a toimunud tööde käigus püüti märkimisväärne hulk kalu vaid pinnasepuiste alal ja selle kontrollalal K2 (Tabel 6.8). Jällegi (nagu ka oktoobris) oli pinnasepuiste ala kalastik liigirikkam ja isendite arvukus seal mõnevõrra suurem kui kontrollalal.

Tabel 6.8 Kalade arv standartses seirejaamas pinnasepuiste alal (K) ja võrdlusalal (K2)

Liik	K	K2
Ahven	12	4
Lest	1	3
Merihärg	1	1
Meritint	1	2
Räim	29	23
Emakala	1	0
Nolgus	2	0
Kokku	*47*	*33*

Muudes jaamades oli kokku vaid 3 siiga ja 4 lesta, kusjuures kõik siiad püüti Madise piirkonnast. Üks siigadest (jooksva niisaga isane) oli 23 lõpusepiiga, seega vähepiilise mereskudeva siiavormi esindaja. See siiavorm on praeguseks kõige haruldasem meie rannikumeres (Verliin, 2002). Teostatud katsepüükides ei olnud jooksva marjaga emaskalu, küll püüdsid teadaolevalt kohalikud kalurid jooksva marjaga emase paar päeva enne meie välitööde algust. Viimatinimetatud fakt lubab väita et Pakri laht on jätkuvalt vähepiilise mereskudeva siiavormi sigimiskohaks.

6.2.3 Kalastik pinnasepuiste alal

Käesoleva seireandmestiku valguses oli pinnasepuisteala kalastik liigirikkam ja kalade arvukus seal suurem kui kahel kontrollalal. See on arvatavasti tingitud Pakri lahe suudme loomulikust suuremast liigi- ja isendirikkusest võrreldes naaberaladega. Eesti Punase Raamatu liikidest püüti pinnasepuiste alalt merisiiga, merihärga ja nolgust.

Pinnasepuiste otsest kahjulikku mõju kalastikule ei täheldatud, võimalik kahju kalandusele ja ökosüsteemile sõltub puistatud materjalis sisalduvate kahjulike ühendite kontsentratsioonist. Seda küsimust saaks lähemalt selgitada pinnasepuisteala seire raames.

6.3 Ülevaade kalastiku liigilisest koosseisust seireperioodil

Allpool on toodud liigid, keda õnnestus püüda välitööde käigus 2001. ja 2002.a Piirkonna kalastik kahtlemata ei ammendu nende liikidega. Tööndusрüükidest on Pakri piirkonnast registreeritud ka näiteks lõhe, meriforell, kilu.

2. *Clupea harengus membras* L. 1761 - räim **RAIM**
2001.a kevadel esines arvukamalt jaamades 3 ja 4 (kokku 55 isendit); tõenäoliselt koeb nimetatud piirkonnas. Gonaadid olid nii emastel kui isastel IV küpsusastmes. Sadamalähedastes jaamades oli arvukus väike (kokku 10 isendit). Saagis prevaleerisid pikkusrühmad 17 ja 18 (TL 161-180 mm) (kokku 43 isendit); saadi ka kolm suurt räime, neist kaks jaamast 1. Suurimal isendi TL oli 329 mm, TW 299.6 g.
Sügisperioodil (2002.a) oli räime arvukus madalaim sadama piirkonnas (jaamad 3 ja 4) ning kõrgem – kaugemal lahes (jaamad 1, 2) ning avamerelistes jaamades (puisteala, selle võrdlusala); avameres prevaleerisid pikkusrühmad 19-21 cm, lahes – 15-17 cm.

10. *Coregonus lavaretus* (L. 1758) - merisiig **MESI**
Liik esineb regulaarselt (nii toitumis- kui sigimisperioodil) nii sadama piirkonnas, lõuna pool lahes (kus tema arvukus näib olevat kõrgeim), Pakri saarte ümbruses (k.a. puisteala). Pakri laht on Eesti ohustatuima siiavormi (hõredapiilise mereskudeva siia) sigimiskohaks, selle vormi isendeid esineb väga vähearvukalt. Tuleb tagada tingimused selle siiavormi sigimiseks lahes.
Eesti Punase Raamatu liik

12. *Osmerus eperlanus* (L. 1758) - meritint **METI**
2001.a kevadel saadi üks isend jaamas 1 (TL 196 mm, TW 40.8 g). 2002.a sügisel püüti nii puistealalt (7 isendit) kui võrdlusalalt ja lahest (jaamad 1 ja 2).
Eesti Punase Raamatu liik.

13. *Esox lucius* L. 1758 – haug **HAUG**
Püüti vaid 1 isend (jaam 1).

15. *Rutilus rutilus* (L. 1758) - särg **SARG**
Jaamades 1, 2 ja 4 püüti 2001.a kevadel kokku 7 isendit, TL 178±38 *SD* (130-232) mm, TW 69.0±44.4 *SD* (25.1-141.4) g. Ühel särjel (jaam 4) oli tinditõbi. Sügisel (2002.a) püüti kõigist lahe jaamadest. Ei esinenud avameres (pinnasepuiste alal, selle võrdlusalal).

20. *Scardinius erythrophthalmus*(L.1758)-roosärg **ROSA**
Püüti kokku 3 isendit (jaamad 2 ja 4; 2002.a oktooberis).

23. *Tinca tinca* (L. 1758) - linask **LINA**
Ainuke isend püüti 2002.a oktoobris jaamast 4 (sadama piirkonnast).

24. *Gobio gobio* (L. 1758) - rünt **RUNT**
1991.a kevadel püüti 2 isendit jaamas 1: emane TL 142 mm, TW 25.6 g, IV küpsusaste ja isane TL 142 mm, TW 25.6 g, V küpsusaste. 2002.a oktoobris saadi 1 isend sadama piirkonnast (jaam 4).

25. *Alburnus alburnus* (L. 1758) - viidikas **VIID**
Esines kõigis seirejaamades, silmatorkavalt arvukalt – 2002.a oktoobris sadama piirkonnas (jaamad 4 ja 3). 2001.a kevadel püütud 8 isendi TL oli 163±6.6 *SD* (152-172) mm ja TW 31.0±4.7 *SD* (26.0-39.8) g.

27. *Blicca bjoerkna* (L. 1758) - nurg **NURG**
Püüti 2002.a oktoobris sadama piirkonnast (jaamad 4 ja 3)

29. *Vimba vimba* (L. 1758) – vimb **VIMB**
Ainus isend püüti oktoobris 2002 jaamast 3.

32. *Carassius gibelio* (Bloch 1783) - hõbekoger **HOKO**
Ainus isend püüti oktoobris 2002 jaamast 4 (sadama juurest).

38. *Belone belone* (L. 1758) – tuulehaug **TUHA**
Püüti üks isend jaamas 1, TL 730 mm, TW 476.5 g (2001.a. mai).

42. *Gadus morhua* L. 1758 - tursk **TURS**
Ainus isend püüti oktoobris 2002 jaamast K1.

44. *Pungitius pungitius* (L. 1758) - luukarits **LUKA**
1 isend suurtobia toidus, jaam 3.

49. *Perca fluviatilis* L. 1758 – ahven **AHVE**
2001.a kevadel püüti kõigist jaamadest, kokku 10 isendit, TL 182±41 *SD* (133-253) mm, TW 78.4±59.5 *SD* (24.2-213.8). Suguküpseid üle 200 mm pikkuseid isendeid püüti neli (jaamad 2, 3 ja 4), kolm isast (ühe gonaadid olid V küpsusastmes, ülejäänutel IV küpsusastmes) ja üks emane (gonaadid IV küpsusastmes). Päris ilmselt koeb Pakri lahes. 2002.a sügisel püüti kõigist jaamadest lahes, samuti pinnasepuistealalt (K) ja võrdlusalalt (K2).

50. *Gymnocephalus cernua* (L. 1758) - kiisk **KIIS**
2001.a kevadel püüti üks isane kiisk (jaam 3), TL 168 mm, TW 68.1 g, gonaadid V küpsusastmes. Teine isend saadi samast jaamast oktoobris 2002.

53. *Zoarces viviparus* (L. 1758) – emakala **EMKA**
2001.a kevadel esines arvukamalt jaamades 3 ja 4 (kokku 12 isendit), üks emakala püüti ka jaamas 1. 1991.a kevadel oli TL 227±20 *SD* (201-270) mm, TW 49.4±15.8 *SD* (33.1-86.0) g. 2002.a sügisel püüti kõigist jaamadest lahes, samuti pinnasepuiste alalt (jaam K).

55. *Hyperoplus lanceolatus* (Le Sauvage 1824) – suurtobias **SUTO**
Püüti 1 isend jaamas 3; TL 182 mm, TW 11.2 g.

62. *Triglopsis quadricornis* (L. 1758) – merihärg **MEHA**
Püüti kaks isendit 2002.a novembris – pinnasepuiste alalt ja võrdlusalalt K2.
Eesti Punase Raamatu liik.

63. *Myoxocephalus scorpius* (L. 1758) – nolgus **NOLG**
Liiki püüti üksnes pinnasepuiste alalt – nii oktoobris kui novembris 2002 (kokku 3 isendit).
Eesti Punase Raamatu liik.

68. *Psetta maxima* (L. 1758) – kammeljas **KAMM**
Jaama 3 juurest püüti 2001.a maikuus 1 isend, TL 146 mm, TW 57.4 g.

71. *Platichthys flesus* (L. 1758) – lest **LEST**
Esines kõigis jaamades Pakri lahes, samuti pinnasepuiste alal ja võrdlusalal K2. 2001.a kevadel püüti standardsete seirevõrkudega 115 isendit (50.9% kogu saagist), lisaks 15 isendit 42-45 mm silmasuurusega võrkudega. Jaamades 1 ja 2 oli lesta arvukus kõrgem ja kalad suuremad kui jaamades 3 ja 4.

6.4 Süvendustööde mõjust Pakri lahe kalastikule

Otsest süvendustööde kahjulikku mõju Pakri lahe kalastikule seire käigus kogutud andmed ei näita. Vigastuste ja haigustega kalu ei esinenud ei süvendustööde alal ega kontrollaladel.

Kalastiku liigirikkus oli suurim Paldiski Lõunasadama vahetus läheduses paiknenud jaamades (Tabel 6.9). Tõenäoliselt on see tingitud selle mereala sobivusest nii mageveeliikide kui mereliikide elupaigaks. Lisaks on sadamalähedane mereala ka noorte lestade koondumisalaks toitumisperioodil.

Tabel 6.9 Registreeritud kalaliikide arv eri seirejaamades

Jaam	Liikide arv	Punase Raamatu liike
Jaam 4 – sadam	12	0
Jaam 3	12	1 (merisiig)
Jaam 2	8	1 (merisiig)
Jaam1	11	2 (merisiig, -tint)
Jaam K (puisteala)	8	4 (merisiig, -tint, nolgus, merihärg)
Jaamad K1 + K2	5	2 (merihärg, -tint)

Pinnasepuiste ala kalastiku liigirikkus oli märksa suurem kui kahel võrdlusalal, samas registreeriti seal ka kõige enam ohustatud ja haruldasi, Eesti Punase Raamatu liike.

Süvendamise ja pinnasepuiste pikaajaline mõju kalastikule sõltub teisaldatavas pinnases sisalduvate kahjulike ühendite kontsentratsioonist ning sette kandumisest hõljumina kalade sigimisaladele. Sigimisalana tuleb ennekõike arvestada Paldiski Lõunasadamast lõuna poole jäävat mereala (Madise rannik), samuti Pakri saarte vahelist madalat merd. Kalastikule mõjuks väga kahjulikult sadamast lähtuv reostus, eriti mõne suurema avarii korral kui ka pidev reostus madalates konsentratsioonides.

Eraldi tuleb märkida haruldase siiavormi (mereskudeva hõredapiilise merisiia) esinemist ja ilmset sigimist Pakri lahes, tuleks ette näha selle kalaliigi sigimisalade kaardistamine Pakri lahes. Vajalik on sadama piirkonna kalastiku pidev seire tulevikus, kui sadam opereerib juba suuremates mahtudes kui tänapäeval. Soovitavalt tuleks teostada seirepüüke juba kujunenud jaamades (jaamad 1 - 4 lahes, K, K1, K2). Seire peaks olema sesoonne – vähemalt kaks korda aastas, suveperioodil ja sügisel (oktoobri lõpus).

7. Linnustiku elupaikade seire

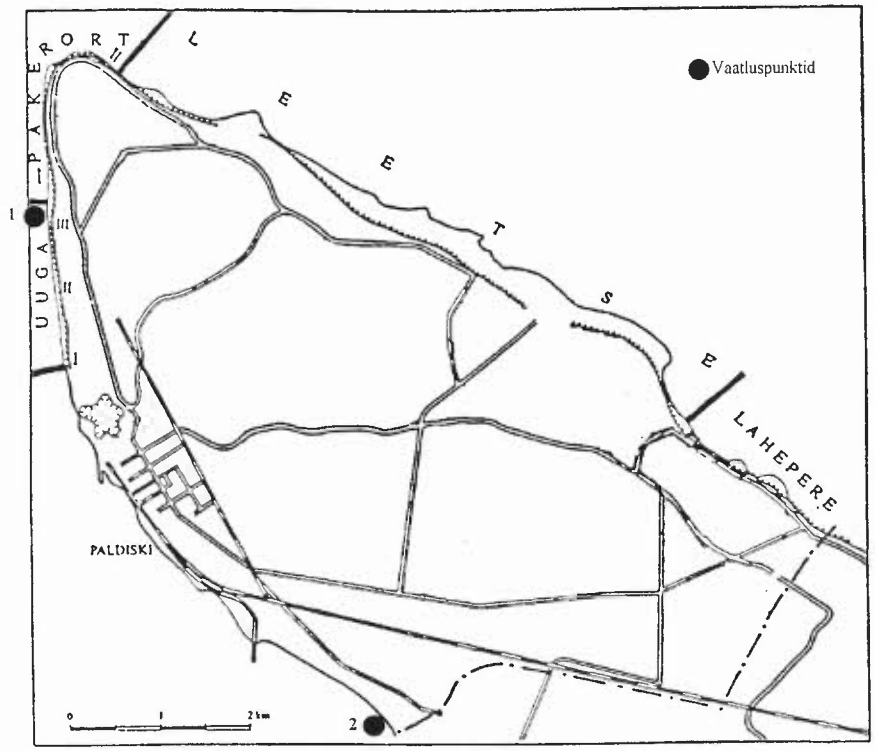
7.1 Linnustiku elupaikade lühikirjeldus

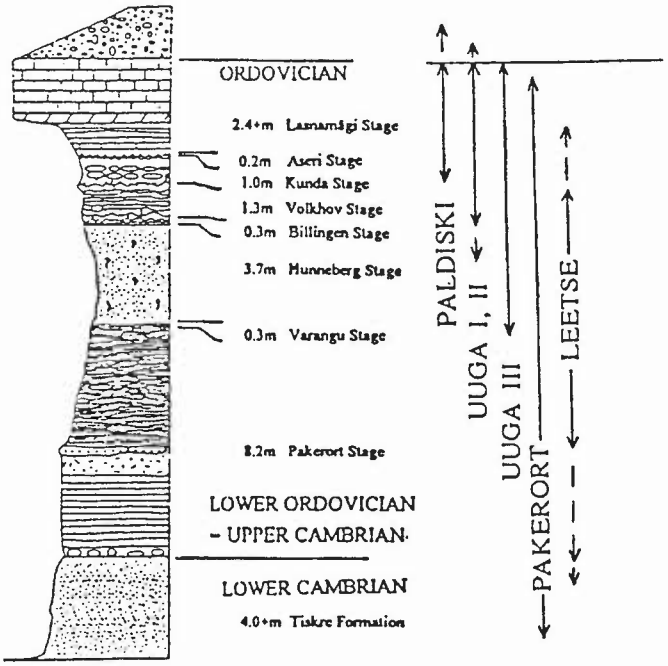
Pakri poolsaare kõige tähelepanuväärsemaks pinnavormiks on paekallas (klint), mille kõrgus Pakri neemel ulatub 24.8m üle merepinna. Paekallas on tüüpiline murrutuspank, mille kuju sõltub teda moodustavate kivimite kõvadusest ja neid läbivatest tektoonilistest lõhedest. Pakri pank on alguseks Balti klindi maismaalisele lõigule Eestis. Panga ainulaadsuseks on tema allumine intensiivsele mere murrutusele, mis takistab rusukalde kujunemist. Pakri neem kerkis merest umbes 9000–8500 ^{14}C aastat tagasi ja on tänu meremurrutusele taandunud lõuna poole. Astangul on jälgitavad arvukad murrutuskulpad, panga sakilisel serval ristuvad tektoonilised lõhed.

Klindiastangul Pakri neemel paljanduvad Ordoviitsiumi lubjakivid (paksus 5–6 m) Alam-Ordoviitsiumi liivakivi, savi ja diktüoneemakilt (Joonis 7.1). Siin on jälgitav ka Kambriumi ja Ordoviitsiumi piirikihtide kontakt. Läbilõike omapäraks on diktüoneemakilda suur paksus – 4,6 m. Siin asuvad Pakerordi lademe stratotüüp ja mitmete kivististe tüüpleiukohad. Väärtuslik on ka Pakri panga geoloogilise arenguga seotu – murrutus, ärakande- ja kuhjumisprotsessid. Looduslikest teguritest ohustavad panka mere murrutusest tingitud varingud. Suurim neist toimus 22.aprillil 1996, väiksemaid on registreeritud igal kevadel.

Pakri poolsaarel ja sellega piirneval merealal on rikkalik linnustik. Kokku on siin on kindlaks tehtud 138 linnuliiki, neist pesitsevaid 125 liiki. Pakri laht ja Kurkse väin on sügistalvest kevadeni rände peatuspaigaks ja talvitusalaks paljudele veelindudele. Pakri linnulaata on kirjeldatud juba 19. sajandil: 1873. aastal leidis Valerian Russow pesitsemas 27 liiki ranna- ja veelinde, 1930. aastatel loendati Pakri koloonias üle 100 krüüslipaari, mis käesolevaks ajaks on kahanenud 10–15 paarini.

Vabariigi Valitsuse 5.mai 1998.aasta määrusega nr 97 loodi Pakri maastikukaitseala (pindala 1454 ha) haruldaste ja teadusliku väärtusega geoloogiliste objektide ning elusloodu se koosluste kaitseks. Maastikukaitsealasse kuulub paekallas Uugalt Merikülani. Lahustükina kuulub Pakri maastikukaitsealasse Väike- ja Suur-Pakri saare põhjaosa, saartevaheline meri koos Kappa ja Bjärrgrånne saarega ning Väike-Pakri saare lõunaosa (Joonis 2). Kaitseala jaguneb sihtkaitse- ja piiranguvööndiks. Pakerordi sihtkaitsevööndisse kuulub krüüslite pesitsemisala – paekallas Pallaste karjamõisa piirilt Pakri joani, kus inimestel on keelatud viibida 1.maist kuni 31.augustini. Vaatluspunkt nr 1 asub sihtkaitsevööndi edelapiiril.

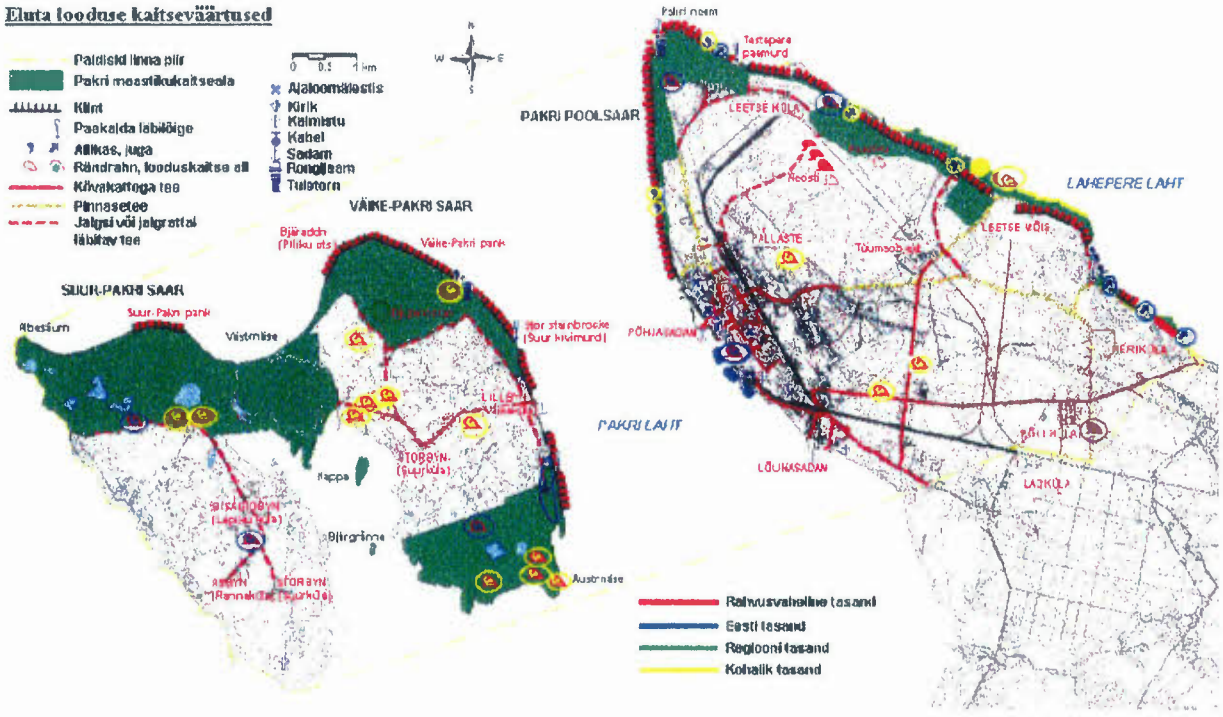




Joonis 7.1 Geoloogilised läbilõiked Pakri poolsaare pankrannikul, punktid 1 ja 2 tähistavad linnustiku elupaikade seirepunkte

Foto 7.1 Vaade merele vaatluspunktist 1 (VP1) Pakri neemel, vasakule u. 1.5km kaugusele jääb pinnasepuiste plats (T.Kõutsi foto).

Foto 7.2 Vaade merele vaatluspunktist 2 (VP2) Laoküla rannas, taamal on töötamas süvendaja VOLVOX HOLLANDIA, paremal Paldiski Lõunasadam (T.Kõutsi foto).



Joonis 7.2 Pakri poolsaare ja saarte vaatamisväärsused. Pakri maastikukaitseala

7.2 Reostuskoormuse taust Paldiski Lõunasadama piirkonnas

Aastal 1940 hakkasid end. Nõukogude Liidus okupatsiooniväed rajama Paldiski Lõunasadamat. Sadam oli mõeldud allveelaevade baasiks ja seda ehitati aastaid. Sadamat kasutati allveelaevade baasina 1992. aastani. Peale Nõukogude Liidu sõjaväe lahkumist oli Lõunasadamas merepõhi risustatud mitmesuguste rauast ja terasest konstruktsioonidega, lattide, vaatide ja muu prügiga. Uputati kolm allveelaeva. Reostatud oli 620 m^2 akvatooriumi (AS Ecoman, 1994). Heitvesi suunati puhastamata Pakri lahte. Rannal olid suurematekseks reostusallikateks, mis mõjutasid ka maasiseselt akvatooriumi:

- maasisesed torpeedopaatide ja allveelaevade kütusehoidlad koos sadamasillani ulatuvate torujuhtmetega;
- allveelaevade akumulaatorite hoidla;
- allveelaevades õhku puhastavate kemikaalide hoidla;
- tuumapeadega torpeedode hoidlad;
- maa-alused kütusejääkide ja hapete hoidlad.

Seoses keskkonnaauditi koostamisega (AS Ideon & Co, AS Eco-Pro) võttis Geoloogia Instituut 17.mail 1999. aastal sadama akvatooriumist merevee proovid, milles labori määrangul sisaldus merevesi naftasaadusi 31 µg/l. Seega toimus reostuskoldest naftasaaduste leostumine merevette. 1994. a. prognooside kohaselt võib maa-alune reostus toimuda 10–20 aasta vältel. Kütusega reostunud pinnase kattis sadam 1999.a. saepuru, puiduhakke ja turbaga.

2001.a. detsembrikuu alguses veeti Paldiski Lõunasadama kaiehituselt pärinev pinnas Keilasse, kus see tunnistati reostusallikaks.

Pakri lahe lõunaosa ja Kurkse väina on aastaid mõjutanud Ämari lennuväli. Endise NL sõjaväe lennuvälja pindala oli 930 ha. Sõjaväeobjekt oli keskkonnaohtlik lohaka reaktiivkütuse käitluse tõttu, kusjuures eesvooluks on Pakri lahe lõunaossa suubuv Vasalemma jõgi. Nii näiteks 1991. a. juhiti Vasalemma jõkke puhastamata reovett 250 m^3/päevas. Samaaegselt voolas avarii tagajärjel Vasalemma jõkke 9,1 tonni lennukipetrooli.

7.3 Kaitsealused linnuliigid ja rannatüübid ning nende staatus Pakri lahe rannikul

1994.a. tuvastati (P. Ernits, 1996) Pakri poolsaarel 123 linnuliigi pesitsemine, nende seas arvukatemana sõtkas (*Bucephala clangula*), väljaloorkull (*Circus cyanus*), nurmkana (*Perdix perdix*), rukkirääk (*Crex crex*), krüüsel (*Cepphus grylle)*, händkakk (*Strix uralensis*), vaenukägu (*Upupa epops*), vööt-põõsalind (*Phylloscopus trochiloides*), väiketikk (*Ficedula parva*), pähklimänsak (*Nucifraga caryocatactes),* põldsiisitaja (*Emberza hortilana*). Väga arvukas oli pankrannikul kivitäks (*Oenanthe oenanthe*) ning linavästrik (*Motacilla alba*). Klindil asus kolm suuremat räästapääsukese (*Delichon urbica*) kolooniat kokku umbes 220 paariga. Klindiastangutel merest 7–12 m kõrgusel pesitses 2 paari väiketikke (*Fidedula parva*), 1 paar rohe-lehelinde (*Phylloscopus trochiloides*). Mererannikul oli väga arvukas pesitseja ristpart (*Tadorna tadorna*) ja hahk (*Somateria mollissima*).

Pakri poolsaare ümbruse meri on kevad-talvisel ajal väga linnurikas. Tavalised on mitmetuhandelised auli- ja vaeraparved. Hilissuvel lisanduvad suured (200–300 is.) hahaparved. Pakri neeme tipu lähedal kividel asub kümmekond kormoraani (*Phalacrocorax carbo*). 1994. a. talvel loendas M.Kose tuletorni juures umbes 3000 auli. 2000.a. tehti Pakri poolsaarel, saartel ja neid ümbritseval merealal kindlaks 138 linnuliiki, neist pesitsesid 125 (U. Timm, 2001). Lahepere ja Pakri laht, Kurkse väin ning Pakri saartevaheline mereala on sügistalvest kevadeni rände peatuspaigaks ja talvitusalaks paljudele veelindudele.

Kaitsealustest ja haruldasematest linnuliikidest on poolsaarel tähelepanuväärsemad sõtkas, väljaloorkull, mänsak, vöötpõõsaslind, rohe-lehelind, väiketikk, krüüsel, põldtsiisitaja ja vaenukägu. Pakri neeme tippu ümbritsevas meres on arvukalt kormoraane, kevad-talvisel ajal kogunevad sinna sõtkad, aulid, vaerad ja hahad. Mererannas pesitsevad ristpardid. Suur-Pakri ja Väike-Pakri arvukate linnuliikide hulgas on (Eesti Punase Raamatu lindude nimestiku põhjal) ohualteid (tutkad), mitmed haruldasi (merikotkas, väike-konnakotkas, kalakotkas, väiketiir, soo-loorkull) ja tähelepanu vajavaid (sarvipütt, tõmmuvaeras) linnuliike (Gröndahl, 1997).

Kogu piirkonna kõige tähelepanuväärsemaks linnuliigiks on krüüsel. Krüüsel on eriti ohustatud liigina kantud Eesti punasesse raamatusse ning kuulub kaitstavate loodusobjektide seaduse alusel II kategooria kaitsealuste liikide hulka. Krüüslikoloonia kaitseks on Pakri maastikukaitsealale moodustatud Pakerordi sihtkaitsevöönd.

Loodusväärtuseks on ka Pakri poolsaar ja Pakri saarte ümbruse mereala veelindude talvitus- ja rändepeatuspaigana. Siin peatuvate lindude arvu ja liigilise koosseisu alusel klassifitseerub nimetatud ala rahvusvaheliste kriteeriumide alusel "tähtsaks linnualaks" (Important Bird Areas – IBA), mis kui varem käivitunud projekt on aluseks Natura 2000

linnuhoiualade (Special Protection Areas – SPA) moodustamisel. 2002.a. arvati Pakri laht Eesti rahvusvahelise tähtsusega linnualade hulka. Tähtsamateks liikideks Pakri poolsaare ja Pakri saarte ümbruse merealal on väikeluiged (200–300 isendit), laululuiged (200–700 isendit), merivardid (3000–7000 isendit) ja sõtkad (7000–8000 isendit).

Eesti tähelepanuväärseim rannatüüp on pankrand, kus lained ulatuvad lõhkuma merepiiril ja rannikumeres paljanduvaid aluspõhjakivimeid. Pakri pangal ja selle varikaldel kasvab haruldasi samblaid ja soontaimi. Geoloogiamälestisena omab Pakri paekallas rahvusvahelist kaitseväärtust. Seepärast tehti 2001.a. ettepanek lülitada Pakri maastikukaitseala UNESCO geoparkide võrgustikku. Klindiesisel mererannal on 2 ala lülitatud 2001.a. valitud NATURA loodushoiualade (Special Areas of Conservation – SAC) hulka. Paekaldaga piirneva rannikumere keskkonnaseisund oli kuni Lõuna-Sadama süvendustöödeni hea. Pakri maastikukaitseala asub sihtkaitse- ja piiranguvööndis.

7.4 Krüüslite elutingimused Pakri neemel enne süvendustööde algust

Krüüsel (*Ceppus grylle*) on alklaste sugukonnast arktiline musta sulestiku, valgete tiivalaikude ja erkpunaste jalgadega väike merelind. Ta elutseb peamiselt Atlandi ja Vaikse ookeani ning Põhja-Jäämere äärsete mandrite ja saarte rannakaljudel. Holarktilise levikuga linnulaatade elanikuna tunneb krüüsel end Pakri poolsaare klindijärsakul koduselt.

Eestisse saabuvad krüüslid mai alguses. Nad ujuvad ja sukelduvad väikeste salkadena merel, toitudes väikestest kaladest, vähilaadsetest ja limustest. Pesad ehitatakse klindiastangu lõhedesse, Pakri neemel enamasti pudedasse glaukoniitliivakivisse. Juunis muneb emalind kaks muna, mida hauvad mõlemad vanalinnud. Pojad kooruvad juulikuus ja umbes 35 päeva vanuselt laskuvad pesadest vette. Septembris, kui pojad on lennuvõimelised, lahkuvad krüüslid Eestist.

1930-ndatel aastatel loendati Pakerordi koloonias üle 100 krüüslipaari. 1970–80-ndatel aastatel loendati Paldiski Vene Gümnaasiumi õpilaste poolt igal aastal pesitsemas umbes 40 krüüslipaari. Kuigi oli tegemist militaaralaga (end. Nõukogude piirivalve, allveelaevad, raketibaasid jne.) soodustas tookordne poolsaare range suletus krüüslite pesitsemist. 1994. aastal pesitses krüüsleid umbes 10 paari. 28.juunil olid krüüslid juba lennuvõimelised ja käisid koos vanalindudega merel kalastamas. 1995.a. pesitses klindil kuni 15 paari krüüsleid. 2000-2002 aastal pesitses klindiastangul 10–20 krüüslipaari.

Pakri neeme pangaastangul pesitsevate krüüslite koloonia on Eestis ainulaadne ja ühtlasi üks lõunapoolsemaid pesitsuspaiku maailmas. Looduses krüüslil vaenlasi ei ole. Krüüslite turvalisust võib kahandada ainult kajakate arvukuse suurenemine. Suurim vaenlane krüüslile on inimene, halvendades merevee kvaliteeti ning muutes seega krüüslite toidulaua vaesemaks. Krüüslit, eriti noorlinde, ohustavad ka kalavõrgud. Seni on suurimaks mõjuriks olnud ajakirja "Loodus" korraldatud rahvarohked (200–400 osavõtjat) matkad klindiesisel alal. Paldiski Lõunasadama süvendusmaterjali puiste tegelik mõju selgub siiski alles järgnevatel aastatel, kuigi antud seire raames jälgitakse faktilisi vee omadusi Pakri neeme ümbruse meres ja rannikul.

7.5 Linnustiku ja mereranna seirepunktid süvendamise ja puistekoha mõju piirkonnas

Seire ülesandeks oli rannadünaamika, setete kuhjumise ja linnustiku jälgimine Paldiski Lõunasadama süvendus- ja süvendusmaterjali puistetööde ajal. Vaatlused toimusid süvendus- ja puistetööde mõju piirkonnas. Punktide asukoha valikul arvestati seniste vaatlusandmete (Paldiski meteojaama andmed) töötlusel kindlaks tehtud sügis-talvisel perioodil valdavate tuultega ning loode-põhjasuunaliste hoovustega. Vaatlused toimusid pankrannikul Pakri neemel ja liivarannal Laokülas. Arvestati kaitseväärtuste ja nende ohustatusega.

Vaatluspunktideks valiti (Joonis 7.1):

- ***Vaatluspunkt 1 (VP1)*** **Pakri neem.** Pakri poolsaare looderannikul Pakri maastikukaitseala piiranguvööndi ja sihtkaitsevööndi piiril pankrannikul, maaüksuse Pallase mõis põhjapiiril. Mõjuriks oli sadama süvendusmaterjali puiste Väike-Pakri saare põhjatipu ja Pakri neeme vahele. 2001.a. sügistalvisel puistejärgselt registreeriti setete kuhjumist antud piirkonda. Esialgsetel hinnangutel põhjustasid puistatud setete kandumist kaitseala sihtkaitsevööndisse valdavad SW ja W suunalised tuuled.

- ***Vaatluspunkt 2 (VP2)*** **Laoküla.** Lõuna pool Lõunasadamat (end. NL piirivalvepostist 200 m loode pool), sadama ja piirivalve posti vahel rändrahnuderikkal liivarannal. Tegemist on populaarse puhkemaastikuga (laagrid jms.). Mõjuriks oli sadama akvatooriumi süvendamine.

Regulaarseid vaatlusi viidi läbi igal teisel nädalal, kokku 23 vaatlust, sh. üks kord merelt. Vee omaduste laboratoorseks analüüsiks võeti rannikumerest veeproovid.

7.6 Seirevaatluste tulemused

Esimene vaatlus 26.septembril 2002.a.
VP1 Pakri neemel oli rand puhas, merevesi oli selge ning sügisele omane linnukooslus: kajakaid (*Larus sp.*) – 40, lahkuvaid hanesid (*Anser sp.*) – 45. Sihtkaitsevööndi peremehed krüüslid (*Cepphus Grylle*) valmistusid lahkuma. Registreeriti 12 krüüslit.
VP2 Laokülas oli merevesi samuti selge, kaldal veidi adru. Linde ei olnud.
Valdasid N ja O suunalised tuuled keskmise kiirusega 1.7m/s, iilid ulatusid 4.1m/s.

Teine vaatlus 29.septembril.2002.a.
VP1 Pakri neemel oli rannale klindi jalamile kuhjunud adru. Merevesi oli selge ja linde ei olnud. Siin võis olla põhjuseks 28.septembril.2002.a. toimunud AS Loodus'e 200 osavõtjaga matk piki klindi jalamit kuni sihtkaitsevööndini.
VP2 Laokülas oli merevesi hägune ja rannale kuhjunud adru. Linde ei olnud. Valdasid SW, NW tuuled keskmise kiirusega 4,85 m/s, iilid ulatusid 8,48 m/s.

Kolmas vaatlus 03.oktoobril 2002 a.
VP1 Pakri neemel olid rannale klindi jalamile kuhjunud 0,5 m kõrgused adru ja musta muda vallid (1,0 m). Merevesi oli hägune, tase madal, klindi murrutust (roheline glaukoniit-liivakivi) ei toimunud. Muda oli ilmselt merelt süvendusmaterjali puistekohalt kandunud. Linde ei olnud.
Valdasid NW ja N tuuled keskmise kiirusega 4,65 m/s, iilid ulatusid 8,17 m/s.

Neljas vaatlus 10.oktoobril 2002.a.

VP1 Pakri neemel olid rannale klindi jalamile kuhjunud 0,7 m kõrgused adruvallid. Laineid ei olnud, aga veepinnal olid jälgitavad vahused triibud. Klindi murrutust ei toimunud. Registreeriti sügisele omane linnukooslus: kühmnokk luiki (*Cygnus olor*) – 4, kajakaid (*Larus sp.*) umbes 100 ja kormoraane (*Phalacrocorax carbo*) – 3. Viimased on ilmselt juhukülalised, kuna nende alaline peatuspaik on Pakri neeme kirderannal joa suudmes madalas vees paiknevatel kividel.

VP2 Laokülas veeti ära rannast ja madalast veest rändrahne sadama kai täiteks. Rand oli läbikaevatud ja mudane. Merevesi oli läbipaistmatu. Linde ei olnud.

Viies vaatlus 15.oktoobril 2002. a.

Toimusid vaatlused merelt. Pakri neemel VP1 juures oli 4 kühmnokk luike (*Cygnus olor*) 2 pojaga, 2–3 kaupa lendas kormoraane (*Phaloc rocorax*), arvukalt oli kajakaid (*Larus sp.*), aule (*Clangula hyemalis*) ja valgepõsk laglesid (*Branta leucopsis*). Merevesi oli hägune. Saarte vahel ja neeme tipus lendas pidevalt linde (kormoraane, valgepõsk-laglesid – kuni 200 pealiste parvedena ja üksikuid aule. Saarte vahel laguunis, tammist põhja pool, oli linde vähe.

Väike-Pakri saare idarannikul meres oli kividel kormoraane.

Kuues vaatlus 17.oktoobril 2002.a.

VP1 Pakri neemel oli merevesi hägune ja tase madal. Mudane hägusus ei pärinenud ranna murrutusest. Lindudest registreeriti 9 kühmnokk luike (*Cygnus olor*), 5 auli (*Clangula hyemalis*) ja 11 parti (*Anos sp.*)

VP2 Laokülas oli rändrahnude äravedu peatatud. Merevesi oli läbipaistmatu. Vaatluspunktis linde ei olnud. 200 m kaugusel endise piirivalveposti juures registreeriti 3 parti (*Anas sp.*).

Valdas O ja NO suunaline tuul keskmise kiirusega 4,62 m/s, iilid ulatusid 6,92 m/s.

Seitsmes vaatlus 23.oktoobril 2002 a.

VP1 Pakri neemel oli merevesi hägune. Rannale setteid ei kuhjunud ja murrutust ei toimunud. Linde vaatluspunktis ei olnud.

VP2 Laokülas oli merevesi endiselt hägune ja läbipaistmatu. Vaatluspunktis linde ei olnud. 200 m kaugusel endise piirivalveposti juures, kus rand ja meri on säilinud looduslikuna, registreeriti 23 vaerast (*Aythya fuligula*).

Valdas O suunaline tuul keskmise kiirusega 5,32 m/s, iilid ulatusid 7,71 m/s.

Kaheksas vaatlus 28.oktoobril 2002.a.

VP1 Pakri neemel oli merevesi endiselt hägune. Kohalikku murrutust ei toimunud ja rannale ei kuhjunud ka merelt setteid. Registreeriti 7 kühmnokkluike (*Cygnys olor*) ja 60 hahka (*Somateria mollissima*).

VP2 Laokülas oli merevesi hägune ja läbipaistmatu. Vaatluspunktis ja ümbruses linde ei olnud.

Valdasid N ja No suunalised tuuled keskmise kiirusega 3,10 m/s, iilid ulatusid 5,03 m/s.

Üheksas vaatlus 07.novembril 2002.a.

VP1 Pakri neemel oli merevesi hägune ja läbipaistmatu. Meres registreeriti sogaseid selgesti eraldatavaid triipe. Kohalikku murrutust ei toimunud. Vaatluspunktis linde ei registreeritud. Õhus oli 6 merikajakat (*Larus marinus*).

VP2 Laokülas oli merevesi läbipaistmatu. Lindusid ei olnud. 100 m kaugusel mõlemal pool vaatluspunkti registreeriti 48 hõbekajakat (*Larus argentatus*) ja merikajakat (*Larus marinus*), 3 auli (*Clangula hyemalis*) ja 3 parti (*Anus sp.*).

Valdasid SW ja S suunalised tuuled keskmise kiirusega 7,10 m/s, iilid ulatusid 12,01 m/s.

Kümnes vaatlus 21.novembril 2002.a.

VP1 Pakri neemel oli randa kuhjunud adruvall kõrgusega 0,5 m. Merevesi oli hägune, jälgitavad olid merelt rannikule suunduvad mudased triibud. Kohalikku murrutust ei toimunud. Meres ujus adru. Vaatluspunktis linde ei registreeritud. 200 m kaugusel Paldiski pool vaatluspunkti registreeriti umbes 80–90 pardilist (*Anas sp.*).

VP2 Ka Laoküla randa oli kuhjunud 0,3 m kõrgune adruvall. Vaatluspunktis linde ei registreeritud. 300 m lõuna pool oli umbes 20 auli (*Changula hyemalis*) ja sadama juures 15 parti (*Anas sp.*).

Valdasid N ja NO suunalised tuuled keskmise kiirusega 3,10 m/s, iilid ulatusid 7 m/s.

Üheteistkümnes vaatlus 05.detsembril 2002.a.

VP1 Pakri neemel oli rannikumeres ja kaldal rüsijää. Adruvallid veepiiril olid roosakas-lillad. Jääl oli kaks 1,5–3 m läbimõõduga punast laiku. (Lilla adru kuhjatised ja punased laigud olid säilinud ka 10.detsembril 2002.) Registreeriti 3 kühmnokk luike (*Cygnys olor*); 10.12.02. oli vaatluspunktist 200 m neeme pool 10 kühmnokk luike (*Cygnys olor*).

VP2 Laokülas ulatus jää 150 m kaugusele rannast. Merevesi oli hägune. Registreeriti 3 kühmnokk luike (*Cygnys olor*).

Valdasid S ja O suunalised tuuled keskmise kiirusega 4,20 m/s, iilid ulatusid 7,13 m/s.

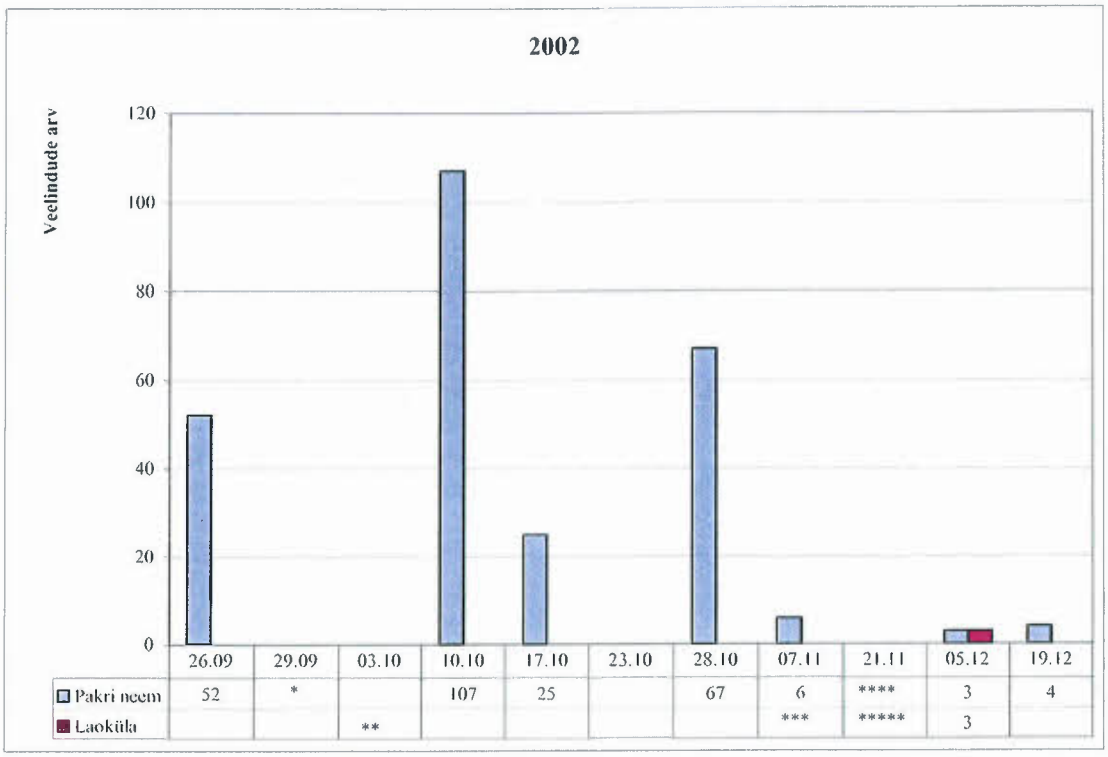
Kaheteistkümnes vaatlus 19.detsembril 2002.a.

VP1 Pakri neemel oli rüsijää levikulaius suurenenud. Vesi oli vetikatest pruun, jää lillakaspruun. Registreeriti 4 kühmnokk luike (*Cygnys olor*).

VP2 Laokülas ulatus jää kohati 200 m kaugusele rannast. Merevesi oli sogane. Lindusid ei olnud. Sadamas töötas süvendaja.

Torm, NW suunalise tuule kiirus oli 17 m/s, iilid ulatusid üle 20 m/s.

Lindude arvukuse ajaline dünaamika mõlemas seirepunktis süvendustööde esimesel ja teisel etapil on esitatud Joonisel 7.3.



28.septembril Toimus ajakirja "Loodus" matk piki klindi jalamit sihtkaitse vööndini, osavõtjaid 200.
** Toimus rändrahnude äravedu kaldalt ja madalast veest
*** 200 m kaugusel 6 lindu
**** 200 m kaugusel ca 80 lindu
***** 300 m kaugusel 15 lindu

Joonis 7.3 Lindude arvukus seirepunktides 1 ja 2 (Pakri neemel ja Laokülas) ajavahemikul 26.september – 19.detsember 2002.a.

Kolmeteistkümnes vaatlus 14.jaanuaril 2003.a.

VP1 Pakri laht oli kinni külmunud. Jäävaba oli ainult laevasõidu tee. Jää peal rannikul olid säilinud 05.veebruaril 2002.a kindlakstehtud punased laigud. Vaatluspunktis linde ei olnud.

VP2 Laokülas oli meri jääs. Vaatluspunktis linde ei olnud.

Tuul N ja NW suunaline, kiirus 3–11 m/sek. Õhutemperatuur –2–-10°C.

Neljateistkümnes vaatlus 06.veebruaril 2003.a.

VP1 Pakri neemel oli 200 m kaugusel rannast lahvanduses 3 kühmnokk-luike (*Cygnus olor*). Punased laigud jälgitavad lume all. Rannal olid rüsijää vallid.

VP2 Laokülas oli meri jääs. 100 m kaugusel rannast oli rüsijää vall. Kalda ääres oli pruun mudavöönd. Linde ei olnud.

Võrdluseks: Lahepere laht külmunud, linde ei olnud. Paldiski linnas Põhjasadama juures lahvanduses oli 80 hahka (*Somateria mollissima*).

Tuul O suunaline, kiirus 6–17 m/sek. Õhutemperatuur-2–-7°C.

Viieteistkümnes vaatlus 20.veebruaril.2003.a.
VP1 Pakri neemel oli meri jääs. Lahvanduses 1 kühmnokk luik (*Cygnus olor*). Rüsijää vall oli kadunud.
VP2 Laokülas oli meri jäätunud. Linde ei olnud.
Võrdluseks: Lahepere laht oli jääs, linde ei olnud.
Paldiski linnas Põhjasadama juures lahvanduses 160 kühmnokk luike (*Cygnus olor*), 120 sinikael parti (*Anas platyrhynchos*) ja 60 jääkosklat (*Mergus merganser*).
Tuul on N suunaline, kiirus 2–6 m/sek, õhutemperatuur –7–+2°C.

04.veebruaril 2003.a. toimus Paldiski Põhjasadama juurest lahvandusest 109 kühmnokk-luige (*Cygnus olor*) evakueerimine Saaremaa edelaranniku merre Vilsandil.

Kuueteistkümnes vaatlus 20.märtsil.2003. a.
VP1 Pakri neemel oli meri jääs, linde ei olnud.
VP2 Laokülas oli meri jääs, linde ei olnud.
Võrdluseks: Paldiski Põhjasadama juures sadevee eesvoolu kohal lahvanduses 160 kühmnokk-luike (*Cygnus olor), 120* sinikael-parti (*Anas platyrhynchos*) ja 60 jääkosklat (*Mergus merganser*).
Tuul NW, N suunaline, kiirus 5–17 m/sek, õhutemperatuur 0—10°C.

Seitsmeteistkümnes vaatlus 27.märtsil 2003.a.
VP1 Pakri neemel jälgitavad paarisaja meetri kaugusel üksikud lahvandused, linde ei olnud.
VP2 Laokülas oli meri jääs, linde ei olnud.
Võrdluseks: Lahepere lahes hästi jälgitavad lahvandused, kus oli 11 kühmnokk luike (*Cygnus olor*). Paldiski Põhjasadama juures sadevee eesvoolu kohal lahvanduses 100 kühmnokk-luike (*Cynus olor*). ja 100 pardilist (*Anas sp.).* Toimus lindude söötmine.
Tuul SW suunaline, kiirus 5–12 m/sek, õhutemperatuur –3–+7°C.

Kaheksateistkümnes vaatlus 10.aprillil 2003.a.
VP1 Pakri neeme vaatluspunktis olid kaldale kuhjunud 0,5–1,0 meetri kõrgused rüsijää vallid, mida kattis adru. Seega olid vallid pealt mustad ja alt valged. Merel jälgitavad lahvandused, linde ei olnud.
VP2 Laokülas oli meri 100 m ulatuses kaldast jääs. Lahvandustes 5 pardilist (*Anas sp.*) ja 3 kühmnokk luike (*Cygnus olor*).
Võrdluseks: Lahepere lahe lahvandustes oli 3 sinikael-parti (*Anas platyrhynchos*), 26 tuttvarti (*Aythya fuligula*) ja 2 kühmnokk-luike (*Cygnus olor*).
Paldiski Põhjasadama juures oli 11 kühmnokk-luike (*Cygnus olor*) ja kaugemal 100 pardilist (*Anas sp.).*
Tuul SO suunaline, kiirus 4–13 m/sek, õhutemperatuur 0–+4°C.

Üheksateistkümnes vaatlus 08.mail 2003.a.
VP1 Pakri neemel oli rand puhas, linde ei olnud.
VP2 Laokülas oli rand puhas, linde ei olnud.
Võrdluseks: Lahepere lahes oli ligi 200 partlast (*Anas sp.).*
Tuul SW, S suunaline, kiirus 3–8 m/sek, õhutemperatuur +9 kuni +14°C.

Kahekümnes vaatlus 14.mail.2003.a.
VP1 Pakri neemel olid jälgitavad kruusa ja adru vallid kõrgusega 20–30 cm. Adru oli kohati 10 cm. Rannal oli mitte kohaliku päritoluga musta ainest. Merevesi oli hägune, adruga kaetud olid ka kivid madalmeres. Pakri neeme pool ca 300 m kaugusel ujusid 2 partlast (*Anas sp.*). Võeti merevee üldanalüüsi ja raskmetallide proovid.
VP2 Laokülas oli merevesi hägune ja adrune. Samuti oli rannale kuhjunud 20–30 cm adru. ~200 m kaugusel ujus 8 luike (*Cygnus olor*) ja 16 partlast (*Anas sp.).*

Võrdluseks: Lahepere lahes Pakri joa suublas kivil oli 8 kormoraani (*Phalacrocorax carbo*). Adru ei olnud kaldale kuhjunud. Paldiskis oli Peetri kindluse juurde kuhjunud 1,5 m kõrgune kruusa vall. Põhjasadama ja sadevee eesvoolu juures meres 7 luike *(Cygnus sp.)* ja 5 parti (*Anas sp.)*.
Tuul oli W js SW suunaline, kiirus 4–10 m/sek, õhutemperatuur +9–+21°C.

Kahekümne esimene vaatlus 22.mail 2003.a.
VP1 Pakri neemel oli merevesi hägune. Randa kattis 10 cm paksune adrukiht. Jälgitav adrurohke ligi 100 m laiune madalmeri. Merel Väike-Pakri saare ja Pakri neeme vahel hästi jälgitav süvendusmaterjali puistekoht. Vaatluste ajal toimusid puistetööd. Pakri neeme pool (ca 200 m kaugusel) oli meres 5 kühmnokk luike (*Cygnus olor*), 2 tuttvarti (*Aythya fuligula*) ja vaatluspunktis 5 kaldapääsukest (*Riparia Riparia*).
VP2 Laokülas oli merevesi hägune, linde ei olnud.
Võrdluseks: Lahepere lahes Pakri joa suublas oli 11 kormoraani (*Phalacrocorax carbo*).
Tuul oli W ja SW suunaline, kiirus 4–9 m/sek, õhutemperatuur +4 kuni +17°C.

Kahekümne teine vaatlus 29.mail 2003.a.
VP1 Pakri neemel oli merevesi hägune (mudane) rannast 250 m kauguseni vaatluspunktist Pakri neemeni. Randa kattis 20 cm paksune muda ja adrukiht. Merel Väike-Pakri saare ja Pakri neeme vahel hästi jälgitav süvendusmaterjali puistekoht. Vaatluste ajal toimusid puistetööd. Vaatluspunkti ja Pakri neeme vahel 35 kühmnokk-luike (*Cygnus olor).* Vaatluspunktis 3 kaldapääsukest (*Liparia Riparia*) ja 23 tuttvarti (*Aythya fuligula*).
VP2 Laokülas oli merevesi mudane. Mudavoog tuli Lõunasadama poolt. Vaatluspunktis 1 kühmnokk-luik (*Cygnus olor*) ja 2 partlast (*Anas sp.*).
Tuul oli W ja SW suunaline, kiirus 2–8 m/s. Õhutemperatuur +3–+16°C.

Kahekümne kolmas vaatlus 05.juunil 2003.a.
VP1 Pakri neemel oli merevesi hägune (mudane) rannast 200 m kauguseni ulatusega vaatluspunktist Pakri neemeni. Randa kattis 10 cm paksune muda ja adrukiht. Merel Väike-Pakri saare ja Pakri neeme vahel oli endiselt hästi jälgitav mudane puistekoht. Madalal 1 jääkoskel (*Mengus merganser*).
VP2 Laokülas oli merevesi mudane (~500 m kaugusel jälgitav mudane viirg). Kaldal muda ja vaht, adruvall 50 cm. Merevesi oli hägune (mudane) 60 m kauguseni rannast. Vaatluspunktis oli 6 kühmnokk-luike (*Cygnus olor*) ja 2 partlast (*Anas sp.*).
Tuul oli SW suunaline, kiirus 4–9 m/sek. Õhutemperatuur oli +8 kuni +24°C.

7.7 Merevee kvaliteedi keemilised näitajad seirepunktides

Vastavalt seire lähteülesandele võeti vaatlusperioodil 26.septembrist kuni 19.detsembrini 2002.a rannikumerest 1 m sügavusest veest 7 merevee proovi Pakri neemel sihtkaitsevööndi alguses krüüslite elupaikade lähedusest. Pakri lahe lõunaosast Laokülast võeti tellija soovil 6 merevee proovi. Neljal esimesel proovivõtmise korral tehti Keskkonnauuringute Keskuse laboris üldanalüüs, alates 21.novembrist 2002.a määrati olulisemad komponendid (kuivjääk, hõljuvaine, KHT_{Mn}; $N_{üld}$, $P_{üld}$, Cl, SO_4, Fe). Raskmetalle (Co, Cr, Ni, Pb) määrati kolmel korral (Joonised 7.4 – 7.7).

Võrdlusandmetena kasutati 1994. - 98.a TTÜ Geoloogia Instituudi varasemaid seireandmeid (EV Keskkonnaministeeriumi leping, Soome-Eesti ühisprojekt). Lahepere ja Pakri lahe veeseisundit jälgiti arvestades endise NL militaarobjektidelt lähtuvaid reostusvooge kuues punktis (Lahepere lahes tuumaobjekti heitvee suublas 2 punktis, Pakri neemel, Pakri lahes Lõuna- ja põhjasadama ning puhastusseadme juures).

Merevee keemiline koostis vastas tookordsetele Eestis kehtestatud normidele, välja arvatud kõrge rauasisaldus (norm 0,05 mg/l, sadamates kuni 0,41 mg/l). Heljumit oli merevees kõige rohkem (68 mg/l) tuumaobjekti suublas, mineraalaineid (7129 mg/l), kloriidiooni (3230 mg/l) ja sulfaatiooni (473 mg/l) Lõunasadamas.

Kui 1994.-1997.a vähenes Lõunasadamas merevees hõljum ja kuivjäägi sisaldus, siis 1998. a. need näitajad suurenesid. 17.mail 1999.a sisaldas merevesi Lõunasadamas naftasaadusi 31 µg/l, Põhjasadamas - <10 µg/l. Raskmetallidest esines merevees Cd, Pb, Ni, Cr. Radioaktiivset saastatust mõõtmistega ei registreeritud.

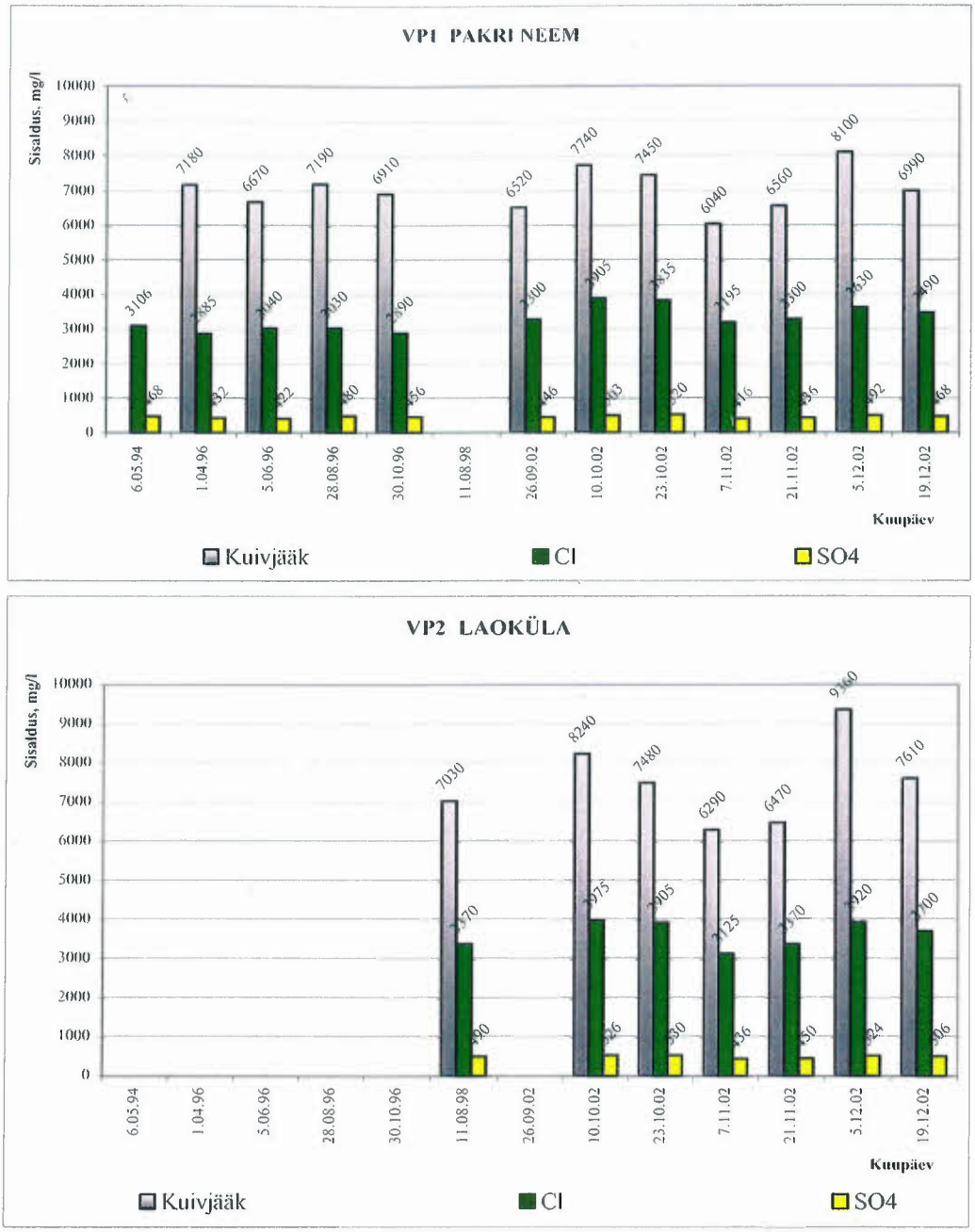
Pakri neemel oli 26.septembril 2002.a. merevee keemiline koostis sarnane 1994.-1996.aastate analüüside andmetega. Peale adru- ja mudavallide kuhjumist oli 10.oktoobril 2002.a võetud merevee proovis oli suurenenud kuivjääk, ulatudes 7740 mg/l. Suurenenud oli ka üldfosfori (0,036 mg/l) ja fosfaadi (0,018 mg/l) sisaldus. Rauda oli 0,18 mg/l. 23.oktoobril 2002.a püsisid merevees kõrgendatud näitajad, välja arvatud raua sisaldus, mis vähenes 0,02 mg/l. Raskmetallidest esines kaadiumi (0,2 µg/l), kroomi (0,012 mg/l) ja seatina (0,005 mg/l). 07.novembril 2002.a ja 21.novembril 2002.a vähenes merevees kuivjääk, kloori ja sulfaadi sisaldus. Fosfori, lämmastiku ja raua sisaldus püsis endisel tasemel. 05.detsembril 2002.a suurenes kuivjäägi sisaldus (8100 mg/l) ületades merevee esimese halvenemisperioodi näitajat. Samaaegselt registreeriti uue muda- ja adruvalli kuhjumine.

Laoküla rannamere rüüstamise (rändrahnude ebaseaduslik kaevandamine) ajal 10.oktoobril 2002.a võetud merevee proovis ulatus kuivjäägi sisaldus 8240 mg/l. 1998.a oli Lõunasadama merevee kuivjäägi maksimaalne sisaldus 7030 mg/l. Hõljuvaineid oli 46 mg/l (1998.a – 4 mg/l). Raua sisaldus merevees ulatus 2,1 mg/l (1998.a – 0,06 mg/l, 1994.a – 0,12 mg/l). Üldfosforit oli 0,15 mg/l, 1994 – 0,03 mg/l. Kuni detsembrikuu alguseni näitajad paranesid, väljaarvatud 07.novembril 2002.a, kui hõljuvainete sisaldus vees suurenes 218 mg/l ja fosfori sisaldus 0,24 mg/l. Ka Laokülas halvenes merevee seisund 05.detsembril 2002.a kui kuivjäägi sisaldus suurenes (9360 mg/l). Kuigi vee kvaliteedi halvenemine Laokülas langeb ajaliselt kokku Pakri neeme merevee teise halvenemisperioodiga, on siin lisamõjuriks ranniku rüüstamine.

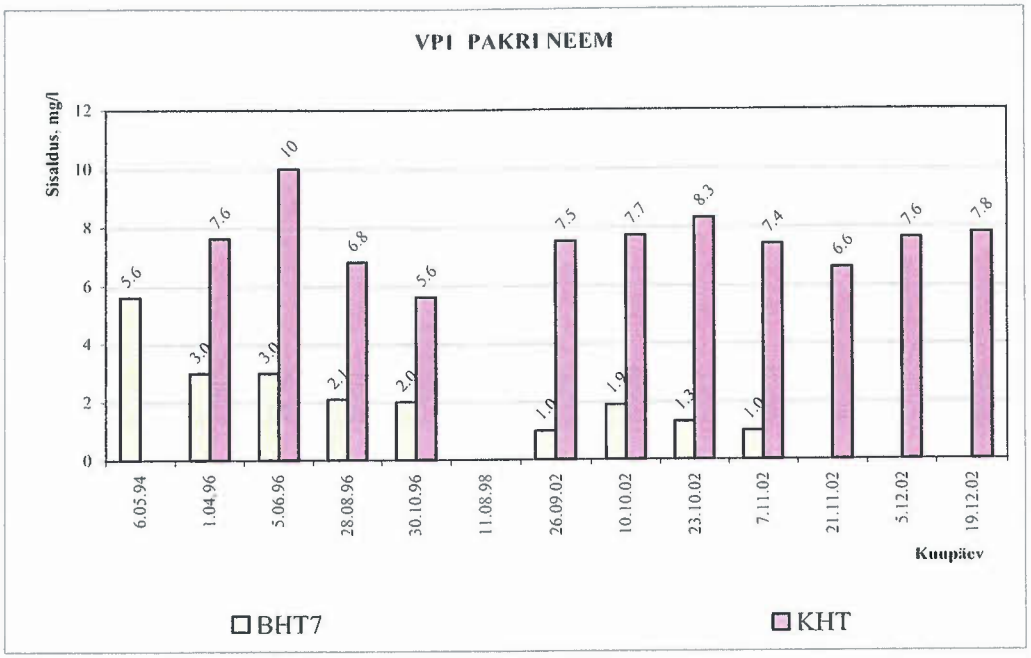
Merevee analüüside põhjal eristus kaks veekvaliteedi halvenemisperioodi:

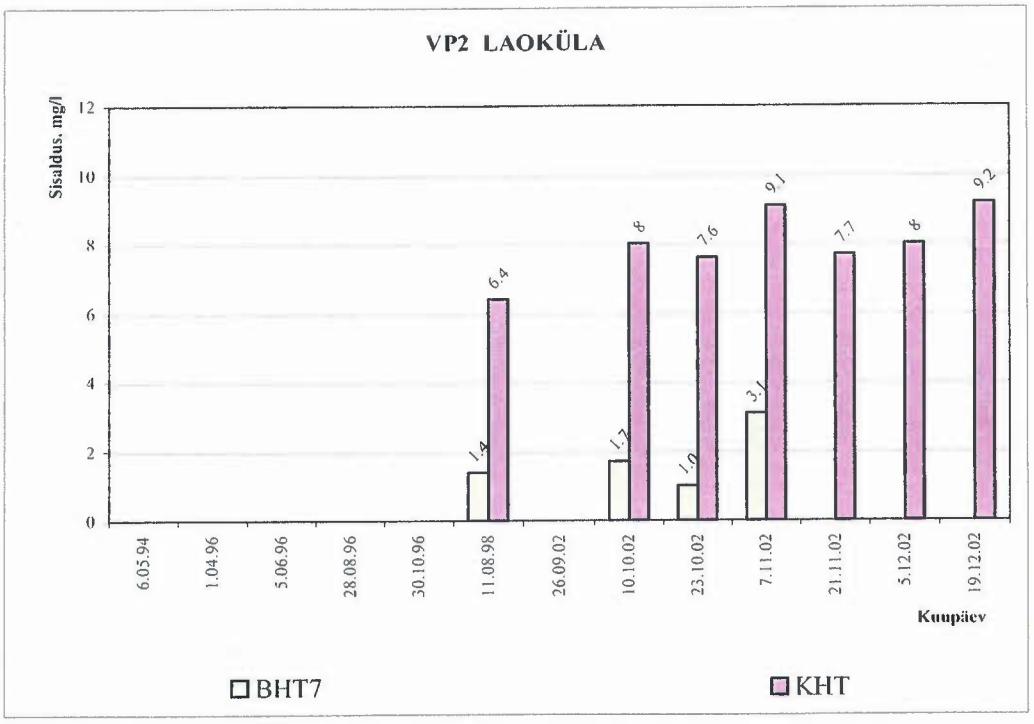
- oktoobrikuu algus (proov 10.oktoobril 2002.a)
- detsembrikuu algus (proov 05.detsembril 2002.a)

Valdav tuulte suund oli oktoobrikuu alguses N ja NW, detsembrikuu alguses – S ja O. Seega on tuul mõjureid võimendavaks teguriks, ilmselt mitte aga põhjuseks.

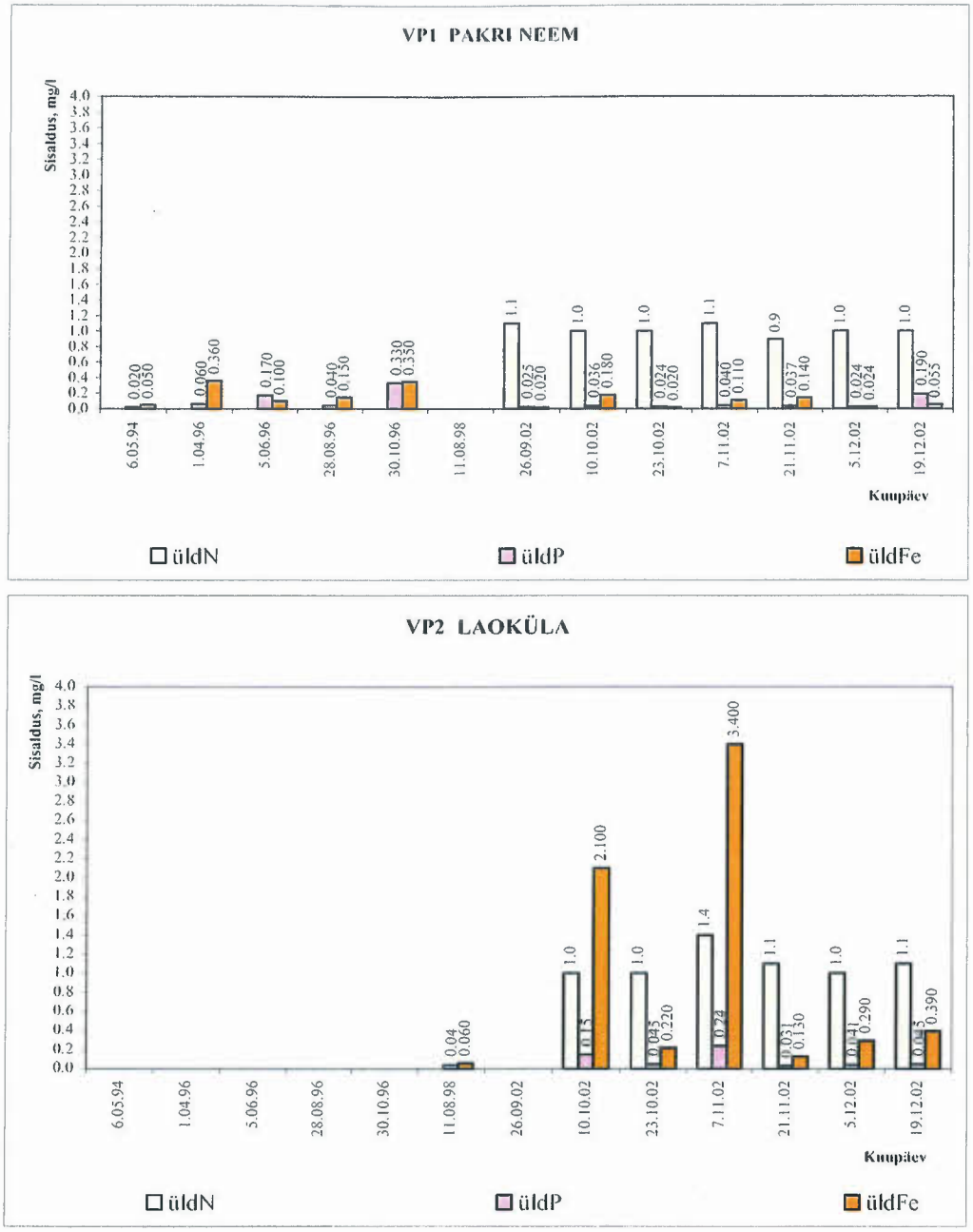


Joonis 7.4 Merevee kvaliteedi keemiliste näitajate dünaamika süvenduse kahel esimesel perioodil ja võrdlus varasemate seireandmetega

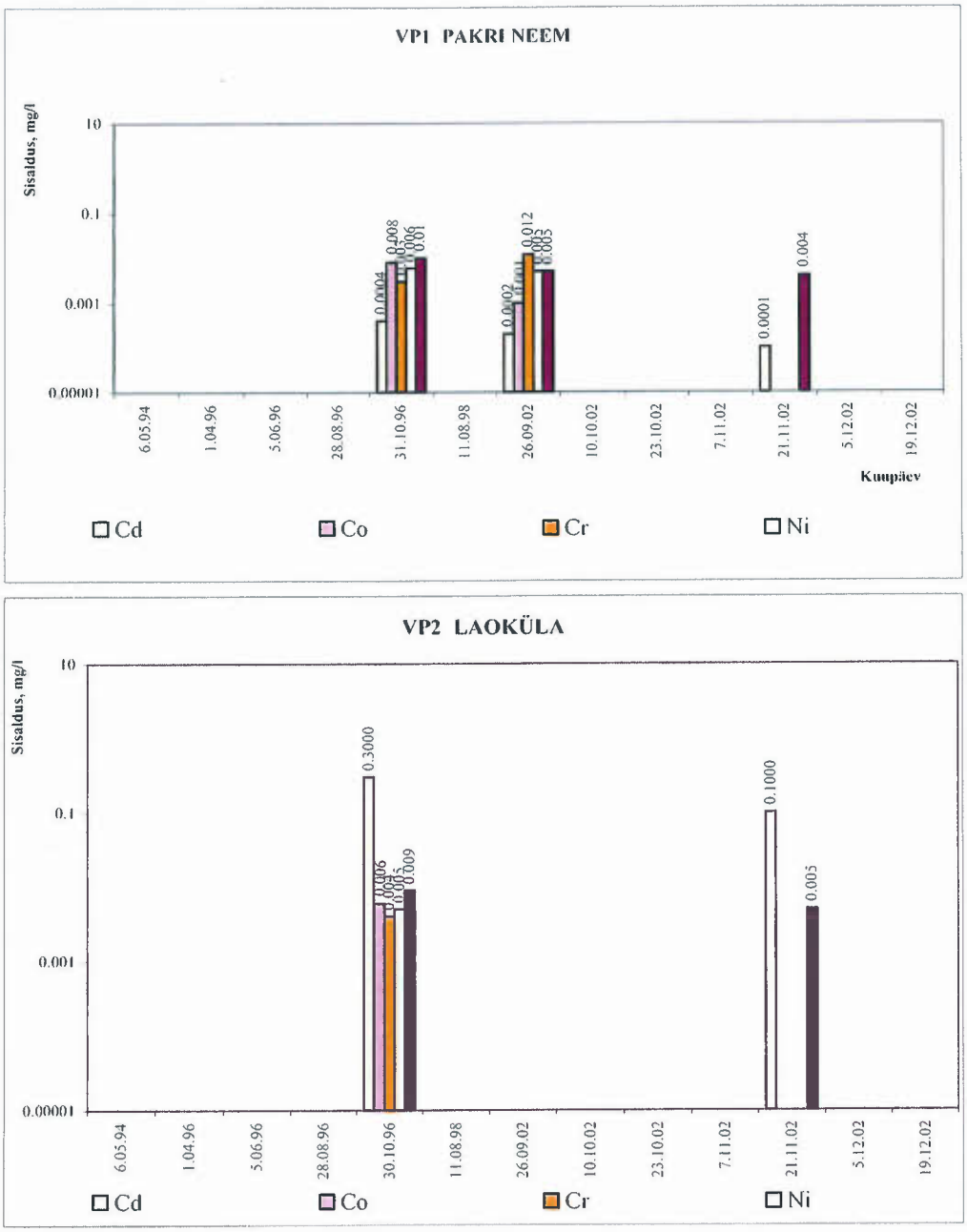




Joonis 7.5 Merevee kvaliteedi otseste näitajate keemilise- ja bioloogilise hapnikutarbe (KHT ja BHT vastavalt) ajaline käik kahes seirepunktis kahe erineva süvendusperioodi vältel ning võrdlus varasemate seireandmetega



Joonis 7.6 Merevee toitainete ja rauasisalduse ajaline käik kahe esimese süvendusperioodi vältel ja võrdlus varasemate eelnevate seireandmetega



Joonis 7.7 Raskemetallide sisaldus merevees kahel esimesel süvendusperioodil, võrdlus varasemate seireandmetega

Pakri neeme vaatluspunkt (VP 1) on ametlikust pinnasepuiste paigast, mis asub Väike-Pakri saare ja Pakri neeme vahel, ca 1.5km kaugusel rannast. Kevadise süvendamisperioodi veeproovi võtmise ajal 14.mail 2003.a. toimus intensiivne pinnasepuiste, mis oli jälgitav hõljumi intensiivse kandumisena madalasse rannamerre.

Hõljuvaine sisaldus oli suurim seni määratust – 6 mg/l, kuivjääk – 7178 mg/l, senine keskmine – 6372 mg/l.

Orgaaniline reostus (N, P) oli suhteliselt tagasihoidlik, kuid see ilmneb tõenäoliselt suvel kui hävinud meretaimestik hakkab lagunema. Üldlämmastiku sisaldus oli 1,2 mg/l, üldfosfor – 0,01 mg/l. Võrdluseks Soome lahe pindmistes kihtides olid need näitajad 1994. a. vastavalt 0,006 mg/l ja 0,001 mg/l.

Suhteliselt kõrge oli kevadisel süvendusperioodil ka keemiline hapnikutarve (KHT) – 7,8 mgO/l, sügisene keskmine – 7,5 mgO/l. Klooriooni ja sulfaatiooni sisaldus merevees on olnud stabiilne vastavalt 3340 mg/l ja 484 mg/l. 1994 - 95.a seireandmete keskmised näitajad olid vastavalt 3032 mg/l ja 342 mg/l. Merevesi on aga muutunud aluseliseks – pH ulatusd 8.6; 1994 - 1995.a keskmine pH oli 7.9.

Endiselt kõrge oli kevadisel süvendusperioodil merevee rauasisaldus, mis ulatus 0.076 mg/l, kusjuures piirarvuks merevees on 0,05 mg/l.

Laoküla vaatluspunktis (VP2) oli 14.mail 2003, proovivõtmise ajal merevesi hägune ja adrune. Kaldale oli kuhjunud 30 cm kõrgune adruvall ja hõljuvaine sisaldus stabiilselt suur, ligi 7 mg/l, kuigi väiksem rändrahnude äraveo aegsest arvnäitajast 218 mg/l. Veeproovist määratud hõljumi kuivjääk 6970 mg/l oli vähenenud võrreldes sügisese keskmisega – 7497 mg/l, mida muidugi suurendas rändrahnude äravedamisaegne merevee seisund (kuivjääk siis 9360 mg/l).

Lämmastiku ja fosfori sisaldus oli Laoküla rannavees suhteliselt tagasihoidlik – 1,3 ja 0,042 mg/l vastavalt, kuid võrrelduna vastavate näitajatega Soome lahe pindmistes kihtides, siiski küllaltki suur.

Suhteliselt kõrge oli kevadise mõõdistuse ajal vee keemiline hapnikutarve – 8.8 mgO/l, sügisperioodi keskmine – 8,0 mgO/l. Sarnaselt VP1-le oli ka Laokülas (VP2) kloorioon ja sulfaatiooni sisaldus merevees küllalt stabiilne – vastavalt 3340 mg/l ja 484 mg/l. 1994 - 1995.a keskmised näitajad olid vastavalt 3230 mg/l ja 473 mg/l. Ka Laoküla rannas oli merevesi muutunud aluselisemaks – pH 8,6; senine keskmine – pH 7,9.
Samuti registreeriti Laoküla rannavees registreeriti kõrgeid rauasisaldusi – 0,13 mg/l, piirarv 0,05 mg/l, seniste vaatluste keskmine on 0,94 mg/l.

Seega vastas merevee kvaliteet kevadiste süvendus- ja puistetööde lõpp-perioodil sügiseste tööde aegsele halvenemisperioodile.

7.8 Raskemetallide sisaldus merevees

Oluline keskkonnareostuse näitaja merevees on raskemetallid, millest rahvusvaheliste normatiivide alusel peetakse kõige toksilisemaks elavhõbedat (Hg), pliid (Pb), kaadiumi (Cd), vaske (Cu) ja niklit (Ni). Mereveest määratavate raskemetallide nimekirja koostamisel võeti aluseks nende toksilisus ja esinemine Paldiski Lõunasadama akvatooriumi põhjasetetes (Eesti Geoloogiakeskus, 2002). Madala rannamere mõõtmistulemusi võrreldi vastavate Hollandi ja Saksamaa 1987.a piirarvudega, kahjuks uuemaid andmeid rannikumere vee kohta ei õnnestunud hankida. On küll andmed raskemetallide sisalduse kohta kalades.

Nii Pakri neeme (VP1) kui ka Laoküla rannameres oli kõige kõrgem kaadmiumi (Cd) sisaldus, 14.mail 2003.a võetud veeproovis 0,4 µg/l (piirarv 0,001 µg/l). Kroomi (Cr) ja

plii (Pb) sisaldus mõlema vaatluspunkti merevees 14.mail 2003.a ei ületanud piirarve: Pakri neem (VP1) – Cr 0,011 mg/l ja Pb 0,010 mg/l (piirarvud mõlema metalli jaoks 0,02 mg/l), Laoküla (VP2) merevees olid sisaldused vastavalt: Cr 0,012 mg/l ja Pb 0,010 mg/l.

Seniste analüüside andmeil olid raskemetallide sisalduse maksimumid Pakri neemel (VP1): Cd 0,1 µg/l, Cr 0,012 mg/l ja Pb 0,05 mg/l. Laokülas (VP2) olid suurimad sisaldused Cd 0,2 µg/l, Cr 0,004 mg/l ja Pb 0,005 mg/l. Seega 14.mai 2003.a määrangud on suuremad senistest sisaldustest. Co ja Ni oli merevees seekord määramistäpsusest väiksemal hulgal.

Pakri lahe vee rasekemetallide sisalduse seireuuring teostati eesmärgiga fikseerida teatud ajahetkel raskemetallide sisalduse jaotus Pakri lahes, selleks võeti kokku 10 veeproovi 10 seirejaama pinnakihi veest. Määrati varasemate andmete põhjal teadaolevalt lahe meres enamlevinud vase, elavhõbeda, plii ja tsingi kontsentratsioonid. Nimetatud raskemetallid on mereelustikus ka ühed ohtlikumad saasteained, akumuleerudes kudedes ja kandudes läbi toitumisahela ka inimese toidulauale.

Tabel 7.1 Raskemetallide sisaldus Pakri lahe vees 22.mail 2003.a

Proovi nr.	Jaama nr.	Cu (mg/L)	Hg (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)
1	8	0.0165	<0.001	<0.002	0.029
2	26	0.0140	<0.001	<0.002	0.027
3	1	0.0180	<0.001	<0.002	0.030
4	17	0.0140	<0.001	<0.002	0.025
5	22	0.0185	<0.001	<0.002	0.030
6	20	0.0150	<0.001	<0.002	0.025
7	5	0.0145	<0.001	<0.002	0.025
8	10	0.0170	<0.001	<0.002	0.030
9	Sadama akv.	0.0143	<0.001	<0.002	0.026
10	13	0.0170	<0.001	<0.002	0.022

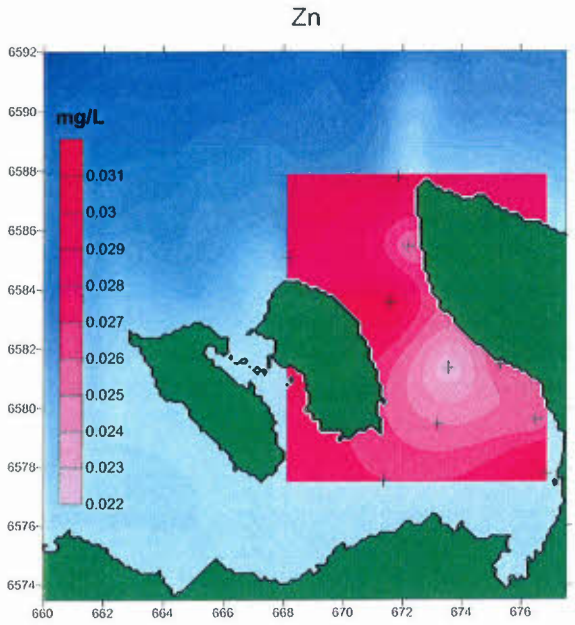
- Määramismeetodid: Cu,Pb – AAS-grafiit, Zn – AAS-leek, Hg- AAS-külm-aur

Uuriti raskemetallide sisalduse ajalist muutlikkust sadama akvatooriumis, kus hõljumi kontsentratsioonid olid kõige kõrgemad ja tõenäoliselt kõige rohkem sattus vette setetes sisalduvaid ühendeid. Tabelis nähtub, et elavhõbeda ja plii kontsentratsioonid jäid kõikised proovides samasse suurusjärku, mis on praktiliselt ka määramistäpsuse piiril. Tsingi kontsentratsioon muutus vahemikus 0.22 - 0.29 mg/L (Joonis 7.8) ja vase kontsentratsioon muutus vahemikus 0.014 - 0.018 mg/L (Joonis 7.9), selline muutlikkus ei ole märkimisväärne. Tulemusena võib öelda, et kõrgem hõljumisisaldus vees ei põhjustanud kõrgendatud raskemetallide konsentratsioone Pakri lahe vees.

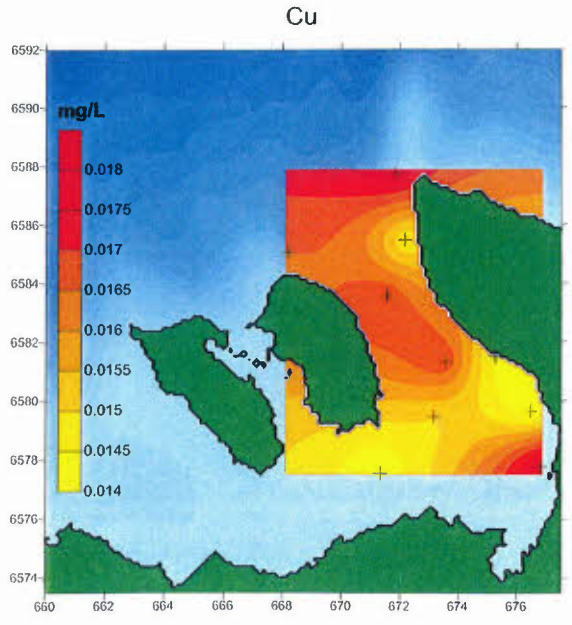
Tabel 7.2 Raskemetallide sisaldus Paldiski Lõunasadama akvatooriumi vees 3.- 4.mail 2003.a

Proovi nr.	Jaama nr.	Cu (mg/L)	Hg (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)
1	Sadam 3.05.2003	0.0145	<0.001	<0.002	0.029
2	Sadam 4.05.2003	0.0170	<0.001	<0.002	0.029

- Määramismeetodid: Cu,Pb – AAS-grafiit, Zn – AAS-leek, Hg- AAS-külm-aur



Joonis 7.8 Tsingi (Zn, mg/L) sisaldus Pakri lahe pinnakihis 22.mail 2003.a



Joonis 7.9 Vase (Cu, mg/L) sisaldus Pakri lahe pinnakihis 22.mail 2003.a

7.9 Süvendus- ja puistetööde mõju mererannale, mereveele ja lindude käitumisele

Mereranna mõjutatust ja merevee keemilise koostise muutusi registreeriti süvendusperioodil kolmel vaatluskorral – 03.oktoobril 2002.a , 05.detsembril 2002.a ja 14.mail 2003.a.

Süvendusmaterjali puistetööde mõjupiirkonnas Pakri neeme rannikul (VP 1) registreeriti 03.oktoobril 2002.a klindiastangul mere pool muda (1 m kõrgune vall) ja adru (vall mudavallist mere pool, 0,5 m kõrgune) kuhjumine. Vaatluspunktis klindiastangu all paljanduvad lubjakivide all 4–5 m paksune glaukoniit-liivakivi kiht, klindil alumises osas, ja rannikumeres diktüoneema kiltsavi. Aluspõhjakivimid annavad setetele roheka värvuse ning nad tavaliselt ei moodusta peenest materjalist koosnevaid valle. Kuhjunud materjal oli mustjaspruun. Madala merevee taseme tõttu ei ulatunud lained klindini.

Teine suurem muda ja adru kuhjumine registreeriti 21.novembril 2002.a, maksimumi saavutas kuhjumine 05.detsembril 2002.a Lisaks oli rannaäärne rüsijää värvunud laiguti lillakaks ja punakaks (Foto 7.1), mida varem ei ole registreeritud. Muutusi põhjustas suure tõenäosusega puiste, mille mõju suurendasid valdavad N, NW ja NO tuuled. Aastatel 1994 - 2000 taolist adru- ja mudavallide kuhjumist sügis-talvisel perioodil ei ole registreeritud, väljaarvatud aastal 2001, kui toimus esimene puiste, samuti sügis-talvel. Varasematest seireandmetest on teada et klindijalamil avanevate allikate vesi oli värvitu.

Foto 7.3 Rannik Pakri neemel 5.detsembril 2002.a

Laokülas (VP 2), mis asub Paldiski Lõunasadama süvenduse mõjupiirkonnas, toimus 10.oktoobril 2002.a rändrahnude ebaseaduslik äravedu ligi 200m pikkuselt rannamere lõigult (Foto 7.2). Madalmerest ja rannikult veeti rändrahnud loata Paldiski Lõunasadama kaldakindlustuse rajamiseks. Hävisid meremurrutuse eest kaitsev barjäär ja rannikul tähelepanuväärivad taimed. Kuna tegemist on liivarannaga, ei taga vajalikku tuulekaitset ka Väike-Pakri saar ja Paldiski Lõunasadama muul. Lõhutud rannal algas pidev muda kuhjumine rannikule. Laokülas (VP 2) on praegusel hetkel raske eristada rannikumere rikkumise ja Lõunasadama süvendustööde mõju.

Foto 7.4 Rändrahnude ebaseaduslik äravedu Laokülas VP2 asukohas 10.oktoobril 2002.a

1994.–1997. aastate seire andmeil Paldiski Lõunasadamas ja Pakri neemel vähenes merevees kuivjäägi ja hõljumi sisaldus ajas pidevalt. Kõigi proovide rauasisaldus ületas rannikumeres kehtestatud piirväärtusi (0,05 mg/l), ulatudes 0,71 mg/l. Pakri lahe sadamete piirkonnas on kõrgema rauasisalduse põhjuseks uputatud metallijäätmed. 1998.a. suurenes merevees hõljumi ja kuivjäägi sisaldus, vähenes aga raua sisaldus ja seda eriti sadamate piirkonnas (0,31 mg/l). 17.mail 1999.a sisaldas merevesi Paldiski Lõunasadamas ülemääraselt naftasaadusi 31 µg/l. Seega on alust arvata et toimus rannikul paiknevast reostuskoldest naftasaaduste maasisene leostumine merevette.

2002. a. Lõunasadama akvatooriumi süvendustööde ja pinnasepuiste ajal toimus merevee kvaliteedi halvenemine üheaegselt rannikule setete kuhjumisega oktoobri ja detsembrikuu alguses. Pakri neemel (VP1) puistetööde mõjupiirkonnas ulatus kuivjäägi sisaldus merevees 8100 mg/l (seni maksimaalselt 5000–6000 mg/l) ja raua sisaldus 0,18 mg/l. Laokülas (VP2), sadama süvendustööde ja rannikulõhkumise mõjupiirkonnas, ulatus merevees kuivjäägi sisaldus 9360 mg/l ja raua sisaldus 3,4 mg/l.

Linnustiku liigiline koostis vaatlusperioodil on olnud vastavuses seniste episoodiliste vaatlusandmetega. Pakri neeme vaatluspunktis (VP1) ei registreeritud linde 11 vaatluskorrast neljal. (Joonis 7.3). Seejuures oli 29.septembril 2002.a. ilmseks lindude puudumise põhjuseks inimmõju rannikul – eelnenud 200 osavõtjaga matk piki klindi jalamit. Linnud olid koondunud Lahepere lahte ja Pakri neeme tipu poolsele merealale. Samuti suurenes oluliselt lindude arvukus Pakri linnaga piirnevatel merealadel. Siin võib olla põhjuseks amortiseerunud puhastusseade, millest merre väljuv heitvesi võib sisaldada toitu lindudele. Erandiks on luiged, keda aeg-ajalt võis 3–6 liikmeliste gruppidena jälgida Pakri neeme vaatluspunkti merealal.

Laoküla vaatluspunktis (VP2) peale rändrahnude äravedu ja ranniku lõhkumist enam linde ei registreeritud. Merelinnud kogunesid lõuna pool – endise NL piirivalvepunkti naabruses, Paldiski Lõunasadama läheduses ning kahe sadama vahelises rannikumeres. Laoküla vaatluspunktis (VP2) tuleb toimuvaid süvendustöid lugeda keskkonnakoormuse lisamõjuriks.

7.10 Kokkuvõte ja soovitused mõjude leevendamiseks Pakri lahe linnustiku elupaikadele

- Paldiski Lõunasadama süvendustööd toimusid endise Nõukogude Liidu allveelaevade baasi territooriumil, kus paiknesid potentsiaalsed reostusallikad (naftaproduktid, kemikaalid jms.). Akvatooriumis tuvastati 1994. a. metallijäätmeid ja kolm uputatud allveelaeva. Lisaks otsesele meresetete võimalikule reostusele võib meres avanev põhjavesi olla reostunud. Maa-alune merre suunduv jääkreostus võib mõjutada Lõunasadama akvatooriumi ja setteid 10–20 aasta vältel.
- Pakri lahe lõunaosa seisundit on aastate vältel mõjutanud sinna suubuv Vasalemma jõgi, kuhu jõudis end. Nõukogude Liidu Ämari sõjaväelennuväljalt puhastamata heitvesi, lennukipetrool jms.
- Süvendusmaterjali puiste Pakri lahe suudmes paikneval puistealal on toimunud juba ligi 5 aastat, alates Pakri maastikukaitseala moodustamisest 1999.a on korduvalt registreeritud meresetete puiste tulemusel hõljumi transporti maastikukaitseala sihtkaitsevööndisse – krüüslite pesitsemisala mõjupiirkonda. Mõju võib potensiaalselt ulatuda maastikukaitsealale tervikuna, Väike-Pakri saare põhjaosas ja saartevahelises meres.
- Vaatlusperioodil 26.september – 19.detsember 2002.a. (11 vaatlust, 12 merevee proovi laboratoorseks analüüsiks) Pakri rannikul ja meres (VP 1) tuvastati pinnasepuiste mõju (muda ja adruvallid rannikul merevee koostise muutused) kõige intensiivsemalt oktoobri ja detsembrikuu alguses (03.oktoobril ja 05.detsembril 2002). Vallide materjal on võõras, sissekantud kaugemalt. Mõju ei ole olnud hävitava iseloomuga, kuid pikaajaline, mille olulised tagajärjed võivad ilmneda alles 2003.aasta kevadel ja suvel.
- Laokülas, kus toimus vaatluspunktis 200 m ulatuses ranniku hävitamine (rändkivide äravedu) on raske eristada mainitu ja Lõunasadama süvenduse mõju.
- Muutunud on lindude käitumine. Kui varasematel aastatel on Pakri neeme looderannikuga piirnev madalmeri olnud sügis-talvisel perioodil üks linnurikkamaid rändepeatuspaiku, siis puistetööde ajal paiknesid linnud valdavalt Lahepere lahes ja linnaga piirnevas rannikumeres. Mõju linnustikule selgub järgmisel pesitsemis- ja rändeperioodil.
- Vajalik on mereranna, veekvaliteedi ja linnustiku seire jätkamine. Vaatluspunktid peaksid paiknema lisaks senistele Väike-Pakri saare põhjarannikul ja Peetri kindluse juures asuvas Paldiski linnaelanike (4000 inimest) supluskohas. Viimast mõjutab ka Põhjasadama rekonstrueerimine.

- Süvendamise ja pinnasepuiste juba toimunud mõju merekeskkonnale ja rannikule ei ole võimalik leevendada. Edaspidi tuleks vältida mererannikute rüüstamist (rändrahnude äravedu) ja potentsiaalselt ohtlike setete puistet rahvusvaheliselt tähtsate linnualade, loodusmälestiste, kaitsealade ja supelrandade mõjupiirkonnas. Probleem on muutub eriti aktuaalseks seoses Eesti Vabariigi liitumisega Euroopa Liiduga.
- Pakri lahe kinnikülmumise järgselt säilis sügiseste süvendus- ja puistetööde aegne võõras materjal rüsijää vallides.
- Mineraalaines, muda ja adru hakkas uuesti rannale kuhjuma maikuu alguses.
- Hästi oli Pakri neemel jälgitav 250 m laiune puistetööde mõjupiirkond vaatluspunktist poolsaare tipuni. Samuti oli kaldalt jälgitav puistekoht lahe keskel.
- Eelnevatest külmem talv kajastus lindude talvitumiskohtades, linnud olid koondunud lahvandustesse Paldiski Lõunasadama ja Põhjasadama vahelisele merealale. Vaatluspunktides vähendasid puistetööd oluliselt lindude arvukust. Sellel perioodil suurenes aga lindude arvukus Lahepere lahes. Erandiks oli 25.mai 2003.a kui Pakri neeme lähedusse kogunes arvukalt luiki.
- Kevadiste süvendus- ja puistetööde lõpp-perioodil vastas merevee kvaliteet sügiseste tööde aegsele halvenemisperioodile.
- Süvendamise ja pinnasepuiste mõju merekeskkonnale ei ole võimalik leevendada. Edaspidi tuleks puistekoht suunata meresuunaliselt vähemalt ühe miili kaugusele kuna sadamates jätkuvad paratamatult süvendustööd.

7.11 Kasutatud kirjandus

Eesti elusloodus. 2001. Koost. R. Kuresoo, H. Relve, I. Rohtmets. Tallinn, lk. 187–268.

Eesti metsakaitsealade võrgustik. 2001. Projekt "Eesti metsakaitsealade võrgustik" lõpparuanne. Tartu, 200 lk.

Endise Nõukogude Liidu sõjaväe jääkreostus ja selle likvideerimine. 1999. Koost. ja toim. A. Raukas. Tallinn, 192 lk.

Environmental Action Plan for Paldiski. 1995. Ministry of Environment, Goverment of the Republic of Estonia. Manuscript, 81 p.

Gröndahl Frederik. 1997. Fältinventering av fägelfaunan på Stora Rägo (Suur Pakri) Estland.

Jüriado, T. 1998. Krüüslid tegutsevad Pakri poolsaarel. – Loodus, Juuli, lk. 22–23.

Karise, V., Kink, H., Kokkonen, T., Marandi, A., Miidel, A., Saarela, J. 1998. Militay pollution of ground and surface water and its long-term prognosis on the Pakri Peninsula (Estonia). 4" International symposium on Environmental Geotechonolgy and Global Sustainable Development. Massachusetts, USA.

Kose, M. 1994. Pühapäev Pakri poolsaarel. – Eesti Loodus 12, lk. 369–370.

Looduskaitse teatmik. 1960. Toim. A. Kumari. Tallinn, 87 lk.

Loodusmälestised 5. Harjumaa. Paldiski, Pakri poolsaar ja saared. 2000. Koost. H. Kink. Toim. A. Raukas. Tallinn, 32 lk.

Möller, K. 2001. Natura 2000 – mis see on?. – Eesti Loodus 1, lk. 8–11.

Ohtlike reostusallikate seire Pakri poolsaarel. 1999. TTÜ Geoloogia Instituut. Käsikiri. Tallinn, 51 lk.

Pakri. 1999. – Eesti Loodus, 8, lk. 319–330.

Pakri maastikukaitseala kaitse eeskiri. Kinnitatud Vabariigi Valitsuse 5.05.98. määrusega nr. 97. RT 41/42, 631.

Pakri maastikukaitseala kaitsekorralduskava. 2002. Koost. H. Kink. TTÜ Geoloogia Instituut. Käsikiri. Tallinn, 40 lk.

Pakri poolsaar – loodus ja inimtegevus. 1996. Koost. H. Kink. Toim. A. Miidel. Tallinn, 94 lk.

Pakri saared – loodus ja inimtegevus. 1998. Koost. H. Kink. Toim. A. Miidel. Tallinn, 97 lk.

Paldiski Lõunasadama ökoloogilis-majanduslik inventeerimine. 1994. AS Ecoman. Käsikiri. Tallinn, 26 lk.

Punane raamat. Eesti NSV-s kaitstavaid taime- ja loomaliike. 1982. Koost. E. Kumari. Tallinn, lk. 132–218.

Ratas, U., Puurmann, E., Rivis, E. 2002. Maastikud maa ja mere piiril. – Eesti Loodus, 5, lk. 6–10.

Riiklik programm "Eesti Natura 2000". – RTL 2000, 88, 1337.

Timm, U. 2000. Ülevaade Pakri poolsaare ja Pakri saarte selgroogsetest. Materjal kaitsekorralduskava koostamiseks.

8. Linnukoosluste seire

8.1 Lindude elupaikade iseloomustus

Pakri laht koos Kurkse väinaga ja kõrvalasuva Lahepere lahega on Soome lahe suudme lõunaranniku olulisim veelindude pesitsusala, kus praktiliselt igal aastal kujuneb välja ka talvituvate lindude koloonia. Sügis- ja kevadrände ajal on Pakri laht tähtis peatuspaik, nii merepõhjas kui ka veepinnalt toituvatele veelindudele. Hüdrometeoroloogilised tingimused (tuul, lainetus, jääolud) lahe piires võivad olla küllalt erinevad. Mitmekesised keskkonnatingimused suhteliselt väiksel merealal, samuti rannikureljeefi üleminek pangast Pakri lahe avaosas roostiku ja madalmereni lahe lõunaosas koos nende rannikutüüpide vahele jääva kliburannaga nii mandril kui Väike-Pakri saarel on eelduseks mitmekesise linnustikukoosluse kujunemisel.

Pakri neeme pank on Eesti põhjarannikul ainulaadne, nimelt on see paik kus vahetult rannaastangu all on suhteliselt sügav vesi. Panga seina iseärasuseks on karniisid, mida muude pankade puhul Eesti rannikul ei kohta. Karniiside olemasolu koos vahetult panga all laiuva sügavaeelise merega on sobivaks pesitsuspaigaks suhteliselt suurele krüüslite (25 haudepaari) kolooniale. Kuna krüüsel hangib toitu sukeldudes, siis on oluliseks tingimuseks ka vee läbipaistvus, mis Pakri lahes ja eriti selle avaosas on väga hea. Looduslike tingimuste poolest on antud olud krüüslite pesitsemiseks vajalikuks eeltingimusteks.

Pakri neeme ümbruse veealusel pangaastangul ja -platool on sügisel tuhandeid aule, kes koonduvad sinna sellele liigile põhitoiduks oleva söödava rannakarbi suure arvukuse tõttu. Aulide puhul on eriti sügisperioodil tegu küllalt dünaamilise asurkonnaga, sest tavaliselt kujuneb koloonia välja nii rändel peatuvatest kui talvituvatest lindudest.

Pakri lahe põhja- ja keskosa on suhteliselt sügav ning merepõhi seal kaetud pehmete setetega. Toitumispaigana on selline merepõhi ebasobiv ja ka toitumiseks sobiva põhjaelustiku poolest vaene. Seetõttu on enamik linnukooslustest koondunud küllaltki kitsale madalaveelisele rannikumere alale.

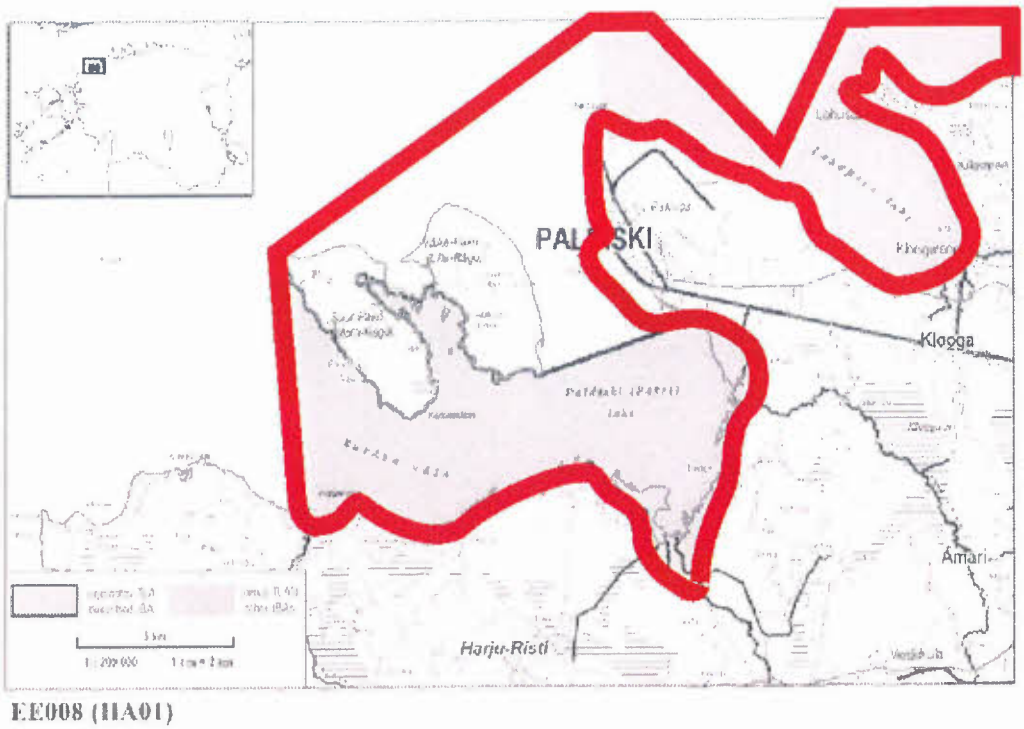
Tänu avatusele ja suhteliselt suurele sügavusele ja intensiivsele veevahetusele avamerega jääb Pakri laht teiste merelahtedega võrreldes soojadel ja keskmistel talvedel pikaks ajaks jäävabaks. Viimati nimetatud asjaolu muudab Pakri lahe atraktiivseks peatus- ja toitumispaigaks talvituvatele linnuliikidele, kuna keskmise talvega tekib jää Pakri lahe suudmes alles veebruari teisel poolel või ei moodustu stabiilset jääkatet üldse.

Lahe lõunaosa ja Kurkse väin on madal ja roostunud, meresügavus ületab vaid paiguti viis meetrit. Madal meri sobib toitumiseks ujupartidele (sinikael-part) ja kosklatele ning sukelpartidele, kes toituvad madalas meres (sõtkas, vaerad). Roostikud on mitmetele linnuliikidele, eelkõige mitmesugustele ujupartidele, sobivaks pesitsusalaks. Lähedalasuv madal rannameri on neile ka sobivaks toitumispaigaks.

8.2 Varasemad uurimistööd ja materjalid

Andmed Pakri lahe linnustiku kohta on senini valdavalt juhuslikud, regulaarsed on vaid talvituvate veelindude loendused, mida korraldatakse üheaegselt kindlatel seirealadel üle terve Eesti rannikumere ja põhjarannikul sealhulgas. Üheks selliseks seirealaks on ka Pakri laht koos Lahepera lahega. Enamik linnuvaatlustest on tehtud harrastusornitoloogide poolt. Üksikuid spetsialiseeritud uuringuid on veel läbi viidud talvituvate veelindude loendamise, sügiseste veelindude lennuloenduse ja tähtsate linnualade, mille hulka kuulub ka Pakri laht, inventeerimise käigus. Tähtsad linnualad (TLA) on välja valitud ornitoloogiliste kriteeriumide alusel, mis põhinevad linnupopulatsioonide suurusel ja muutustel, arvestatakse ka konkreetsete liikide ja nende elupaikade ohustatust, pesitsejate/mittepesitsejate staatust, populatsiooni summaarset osakaalu, eri linnuliikide esinemist ja arvukust eri aastaaegadel ja veel muid tegureid.

Sellised madalad merealad nagu Pakri lahe lõunaosa ja Kurkse väin, on Soome lahe lõunarannikul küllaltki haruldased, olles samal ajal sobivaimad merelindude elupaigad nii pesitsuseks, toitumiseks kui ka talvitumiseks. Isegi kui Pakri lahe madal lõunaosa talvel jäätub, jääb lahe keskosa praktiliselt jäävabaks peaaegu igal aastal. Nagu eelnevatel talvedel on registreeritud, võib talvituvate aulide arvukus ulatuda 50 000 isendini, sõtkastel rohkem kui 10 000 isendini ning luikedel 500 kuni 700 isendini. Natura 2000 linnudirektiiv väärtustab Pakri lahte kui väikeluige (Cygnus columbianus) ja laululuige (Cygnus cygnus) olulise tähtsusega talvitusala.



Joonis 8.1 Tähtsa linnuala (TLA) HA01 asukoha skeem Pakri lahe piirkonnas 2001.a seisuga, Eesti Ornitoloogiaühingu andmetel. Punasega on tähistatud planeeritav Natura 2000 linnuhoiuala.

8.2.1 Pesitsevad linnuliigid

Lindude pesitsusaegset arvukust ehk ka pesitsuspopulatsiooni suurust, hinnatakse haudepaaride arvuna mingis piirkonnas. Pakri TLA inventeerimise käigus on registreeritud kokku 35 mere- või ranniku linnuliigi pesitsemine. Järgnevalt esitatavad andmed näitavad pigem pesitsevate lindude suhtelist, kui absoluutset arvukust, kuna paljude liikide puhul vajab pesitsemise selgitamine ka arusaamist selle dünaamikast ehk siis pikemaajalisi loendusi ja muid välitöid.

Arvukamate liikidena (üle 50 paari) on kirjeldataval alal registreeritud kalakajaka *(Larus canus)* pesitsemist – üle 190 haudepaari; naerukajakas *(Larus ridibundus)* – üle 70 haudepaari ja kühmnokk-luik *(Cygnus olor)* – üle 50 haudepaari.

Keskmiselt arvukateks (10 – 49 haudepaari) liikideks on sinikael-part *(Anas plathyrhynchos)* 12 haudepaari, tuttvart *(Aythya fuligula)* 15 haudepaari, tõmmuvaeras *(Melanitta fusca)* 25 haudepaari, punajalg-tilder (*Tringa totanus*) 40 haudepaari, jääkoskel *(Mergus merganser)* 25 haudepaari, tuttpütt *(Podiceps cristatus)* 10 haudepaari ja krüüsel *(Cepphus grylle)* 15 – 25 haudepaari. Paljude nimetatud liikide pesitsuspaaride tegelik arv on ilmselt veelgi kõrgem, sest nagu juba öeldud, on andmed küllalt lünklikud.

Vähearvukate pesitsejatena (alla 10 paari) on vaatlusandmete põhjal Pakri lahe rannikul pesitsenud hüüp *(Botaurus stellaris)* 3 haudepaari, viupart *(Anas penelope)* 5 haudepaari, punapea-vart *(Aythya ferina)* 7 haudepaari, hahk *(Somateria mollissima)* 4 haudepaari, randtiir *(Sterna paradisaea)* ja jõgitiir *(Sterna hirundo)*, kumbki 8 haudepaari.

Pesitsuskohana on Pakri lahe piirkonnas veel oluline Pakri neeme pank, mis oma ainulaadsete karniisidega ja läheduses asuva sügava avamerega on sobivaks pesitsuskohaks krüüslile *(Cepphus grylle)*, mis on ka põhjarannikul ainukeseks selliste tingimustega pesitsuskohaks ja krüüslitele praktiliselt ainuke alternatiiv.

Foto 8.1 Pesitsev krüüsel *(Cepphus grylle)* Pakri neeme panga karniisil (foto Tiit Hunt, Eesti Loodus, Juuli 1998)

8.2.2 Läbirändavad linnuliigid

Rändel peatuvate liikide arvukust esitatakse tavaliselt mingil merealal teatud perioodi jooksul loendatud isendite arvuna. Siinkohal peab silmas pidama, et erinevad liigid rändavad erinevatel aegadel ja seepärast võib erinevate liikide osatähtsus migratsiooniperioodi vältel olla väga dünaamiline ja muutuda isegi lühikese aja jooksul suurtes piirides.

Kokku on rändeperioodidel (nii kevad- kui sügisrändel) senini registreeritud 18 liiki merelinde. Suurimad on olnud aulide *(Clangula hyemalis)* (üle 15 000 isendi), sõtkaste *(Bucephala clangula)* (üle 10 000 isendi) merivardi (*Aythya marila*) (üle 7 000 isendi), haha (3 700 isendit), mustvaera *(Melanitta nigra)* (2 000 isendit) peatuvad rändesalgad. Pakri lahe madal lõunaosa on eriti oluline laululuige *(Cygnus cygnus)* (700 isendit) ja väikeluige *(Cygnus columbianus)* (300 isendit) kevad- ja sügisrände aegse peatuspaigana.

Tavalised liigid Pakri lahel on ka kormoran *(Phalacorcorax carbo)* (160 isendit) , kühmnokk-luik (800 isendit), kelle puhul tuleb kindlasti mainida et arvukus Eestis kasvab kiiresti) ja lauk *(Fulica atra)* (380 isendit).

8.2.3 Talvituvad veelinnud

Talvituvaid veelinde on Pakri lahel ja rannikul küllalt järjepidevalt loendatud ning vastav projekt on integreeritud ka riiklikku seireprogrammi. Loendused toimuvad iga aasta jaanuaris terve Eesti ranniku piires koordineeritud kuupäevadel. Arvukamad talvituvad liigid on olnud sõtkas, jääkoskel, kühmnokk-luik, sinikael-part ja aul. Talvituvate lindude arvukus oleneb põhiliselt talve karmusest (jääoludest), ka tormidest ja Pakri lahe ümbruses suvel peatunud või pesitsenud liikide reaalsest arvukusest talvitumisele eelnenud aastal.

Aul on kõige arvukam talvituja Eesti rannikumeres, kuid tema arvukuse muutuste analüüs on komplitseeritud. Tegemist on valdavalt avamerelise liigiga, kes mõnel aastal võib esineda ka rannikuvetes. Kuigi auli loendatud arvukus on viimastel aastatel olnud kõikuv, ornitoloogid märgaivad ära populatsiooni vähenemise tendentsi.

Sõtka arvukus on viimastel aastakümnetel pidevalt ja oluliselt tõusnud. Tõusev trend on jätkunud ka viimasel viiel aastal. Huvitav on see, et samaaegselt talvise arvukuse tõusuga on Eesti vetes suurenenud ka sõtka suvine arvukus, mis viitab mõningatele nihetele liigi talvises- ja suvises (sulgimis) areaalis.

Kühmnokk-luige talvine arvukus hakkas aeglaselt suurenema juba 1980-tel, kuid lausa drastiline arvukuse tõus toimus ajavahemikul 1988-1994. 1990-te keskel toimus arvukuse oluline tagasilöök ning 1998.a uus plahvatuslik hüpe. Kühmnokk-luikede talvise arvukuse üldine suurenemine langeb hästi kokku liigi kohaliku pesitsusasurkonna pideva ja olulise kasvuga viimastel aastakümnetel. Arvukuse depressioon 1990-te keskel on seotud eeskätt karmide jääoludega kevadtalvel, mil teadaolevalt hukkus Eestis tuhandeid talvituvaid luiki, ning järgnev pesitsusedukus oli madal. Ka 2002 – 2003 aasta talv oli suhteliselt karmide jääoludega, mistõttu sattus ka Pakri lahel paarsada kühmnokk-luike jäävangi ja nad evakueeriti sealt Saaremaale.

Jääkoskla talvise arvukuse pikaajaline trend on sarnane kühmnokk-luige omale. Oluline erinevus on aga selles, et jääkoskla arvukusekõver on praktiliselt ühtlaselt

tõusev, ilma viimaste talvede depressioonideta. Ilmselt on liik tunduvalt "külmakindlam" kui kühmnokk-luik, ega kannata oluliselt ka halvemate jääolude korral. Selle põhjuseks on erinevus toitumisbioloogias, kuna jääkoskel hangib toitu sukeldudes ja on võimeline energiatagavarasid täiendama ka olukorras, kus rannaäärne madal meri (luikede toitumisala) on jääs, kuid sügavamad paigad jäävabad.

8.3 Linnukoosluste seire metoodika

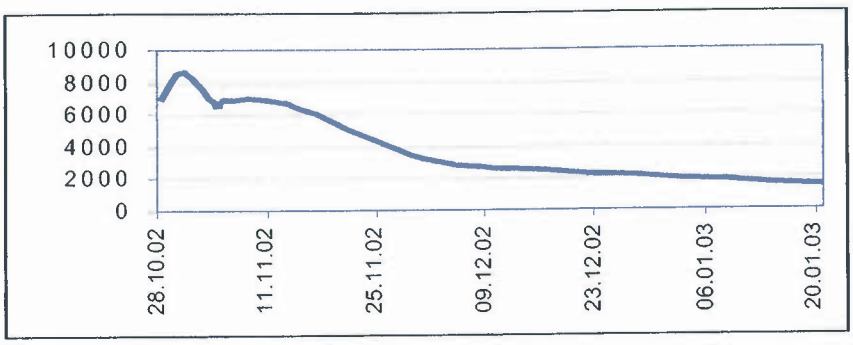
Alates 28.oktoobrist rakendati Pakri lahel Pakri neeme ja Kurkse sadama vahelisel alal lindude absoluutloenduse metoodikat. Seirati rannikumerd rannajoonest kuni 1.5-2 km kauguseni, liikide ja nende arvukuse määramiseks kasutati 10x suurendusega binoklit ja 20-60 suurendusega vaatlustoru. Loendatud ja määratud lindude kogumid ja linnuliigid kanti kaardile.

Pakri laht jaotati kolmeks erineva iseloomuga linnuelupaikade alaks:
Pakri lahe suue ja Pakri neeme ümbritsev mereala (sügav, tuultele ja lainetele avatud meri);
Pakri lahe keskosa (samuti küllalt sügav meri, kuid läänest, lõunast ja idast otsese tuulte ja lainete mõju eest kaitstud);
Pakri lahe lõunaosa koos Kurkse väinaga (madal meri, tuule ja lainete eest hästi kaitstud).

Merelinnud leiavad Pakri lahel küllaltki väikesel alal mitmesuguseid elupaiku, millel on ka erinevad hüdrometeoroloogilised ja batümeetrilised tingimused. Erinevad ilmastikutingimused ja mere sügavus määravad merelindude jaoks erinevad elutingimused, mistõttu igal kirjeldatud alal kujunevad välja oma kindlat tüüpi linnukooslused.

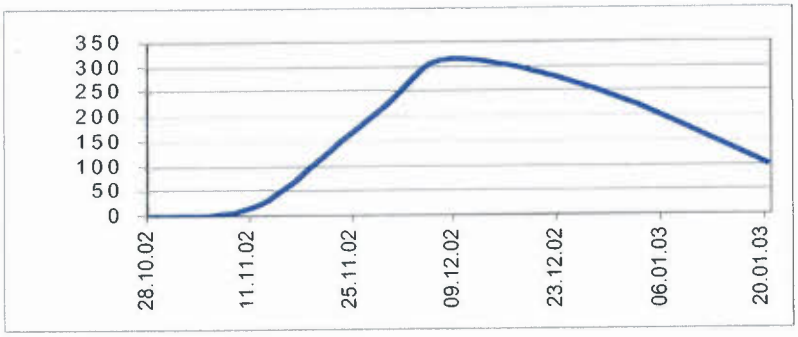
8.4 Pakri lahe linnustiku dünaamika, süvendustööde mõju merelindudele

Pakri lahe suudmealal sügavas piirkonnas oli domineerivaks liigiks aul *(Clangula hyemalis)* arvukusega kuni umbes 9000 isendit püsiva kooslusena. Auliparved paiknesid Pakri neeme otsa ümbruses, tavaliselt merealal, kus sügavus jäi alla 20 meetri. Süvendus- ja puistetöödega kaasnev vee hägustumine aulide toitumist oluliselt ei mõjutanud, kuna hägune vesi lindude toitumispiirkonda praktiliselt ei jõudnud. Aulide arvukuse dünaamika seireperioodil näitas tüüpilist sügisrände trendi, kus arvukus püsis stabiilsena (7000 – 8500 is) kuni novembri keskpaigani, kui enamik lindudest lahkus. Novembri keskpaigast mereala jäätumiseni jaanuari keskel jäi 1500 – 2500 auli veel Pakri neeme ümbrusesse, kuid püsivama jää tekkimise ja lahvanduste külmumisega olid aulid sunnitud lahkuma. Kui meri oleks jäänud jäävabaks, oleks moodustunud ilmselt paarituhande isendiline talvituvate aulide kogum.



Joonis 8.2 Aulide arvukuse dünaamika Pakri neemel 2002 – 2003.a talve alguses

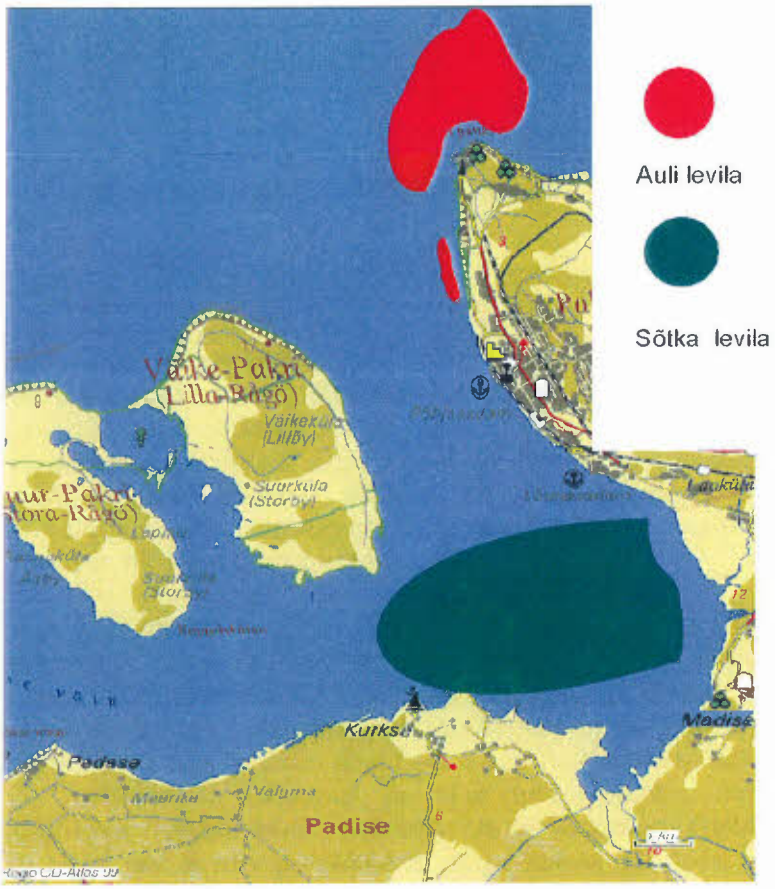
Lisaks aulidele kohati lahe suudmealal püsivalt kormorane *(Phalacorcorax carbo)*. Ka selle liigi arvukus langes talve arenedes 40-60 isendilt paarile isendile, kes püsiva jääkatte tekkides lahkusid. Peale numetatud kahe liigi olid piirkonnas tavalised kalakajakaid (*Larus canus*), merikajakaid (*Larus marinus*) ja hõbekajakaid (*Larus argentatus*). Ühe korra registreeriti tuttpütt (*Podiceps cristatus*) 6 is. jääkoskel (*Mergus merganser*) 20-30 is. ja merikotkas (*Haliaetus albicilla*) 3 is. Suvel pangakarniisidel pesitsevad krüüslid (*Cepphus grylle*) olid seireperioodi alguseks sealt lahkunud. Krüüsleid nähti pesitsusperioodil tehtud kontrollkäigul (7 isendit).



Joonis 8.3 Jääkoskla arvukuse muutused Pakri lahel, 2002-2003.a sügis-talvel

Lahe põhjaosa rannavööndis Paldiski Põhjasadama ja Pakerordi neeme vahelisel alal on linnustik märgatavalt mitmekesisem. Kokku kohati selles piirkonnas 11 linnuliiki, kellest arvukamad ja püsivama esinemissagedusega olid sõtkad (*Bucephala clangula*), samuti ulatusid piirkonda ka üksikud auliparved. Rannavööndis olid kogu seireperioodi jooksul kühmnokk-luiged (*Cygnus olor*). Oktoobris ja novembri alguses asustasid Põhjasadama ja Pakri neeme vahelist rannaala lisaks nimetatud liikidele suhteliselt vähearvukalt rohukosklad (*Mergus serrator*) ja jääkosklad, tuttpüttid, viupardid (*Anas penelope*), tõmmuvaerad (*Melanitta fusca*), merivardid (*Aythya marila*) ja sinikael-pardid (*Anas platyrhynchos*). Iseloomulikuks linnustiku muutuseks oli domineerivate liikide suhtelise arvukuse muutused. Detsembris vähenes aulide arvukus mitmeid kordi, samas tõusis jääkoskla arvukus. Selline muutus koos liikide arvu vähenemisega on iseloomulik talvituvate koosluste kujunemisele. Lisaks viimatinimetatud liikidele tõusis sõtkaste

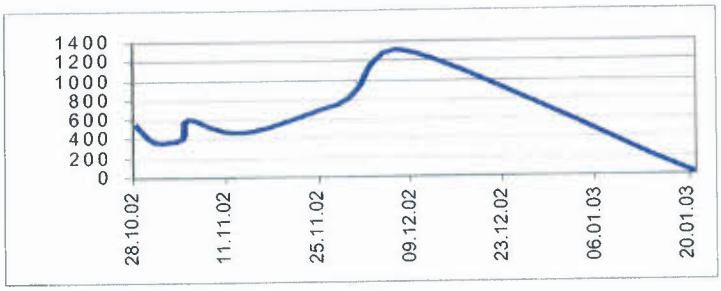
suhteline arv, kuna lahe lõunapoolne osa kattus jääga ja linnud olid sunnitud sealt lahkuma vaba veega toitumisaladele.
Süvendamise ja pinnasepuistega seotud hõljumi sattumine vette ja selle tagajärjel toimuv vee hägustumine Pakri lahe suuet ja põhjaosa asustavaid linde oluliselt ei häirinud. Hõljum kandus lindude toitumispiirkondadesse harva ja vee läbipaistvus oli sukelpartide toitumiseks piisav. Põhjaelustiku uuringute käigus (Georg Martin, Paldiski Lõunasadama süvenduse I etapi vahearuanne) avastati kirjeldatava piirkonna põhjataimestikul ja loomastikul lasuv settekiht, mis oli sinna sattunud eeldatavasti süvendus- ja pinnasepuisteprotsessi käigus. Peene lõimisega materjali lasumine põhjaelustikul võis põhjast toituvate merelindudele toidu kättesaadavust raskendada. Tavaliselt ei püsi peeneteralised setted hoovuste ja lainetuse mõjul kaua ja uhutakse sealt kiirelt sügavamale. Seega taastus normaalne olukord ilmsel juba peale järgmist tormi ja mõju lindude toitumisele setetega kaetud alal oli lühiajaline.



Joonis 8.4 Auli ja sõtka peamised levikupiirkonnad Pakri lahes, 2002.a sügisel

Paldiski linnaga külgneval laheosal (Põhjasadamast Lõunasadamani) olid domineerivateks veelindudeks valdavalt mitmesugused ujupardid. Veealune kaldaastang on sellel alal järsk ja sügav meri rannale lähedal. Sukelpartidele on sobiv toitumisala (2-5 meetri sügavune meri) kokku surutud kitsale ribale ja seetõttu ka lindude levila on konsentreerunud küllalt kitsale merealale. Paldiski linna reoveelask seevastu rikastab merd biogeenidega ja rannalähedane madalaveeline piirkond on ilmselt rikkalikuma elustikuga kui mujal, mis omakorda suurendab veelgi selle ala atraktiivsust ujupartidele sobiva toitumisalana. Kõige arvukamalt esines sadamate vahelisel alal sinikael-parte

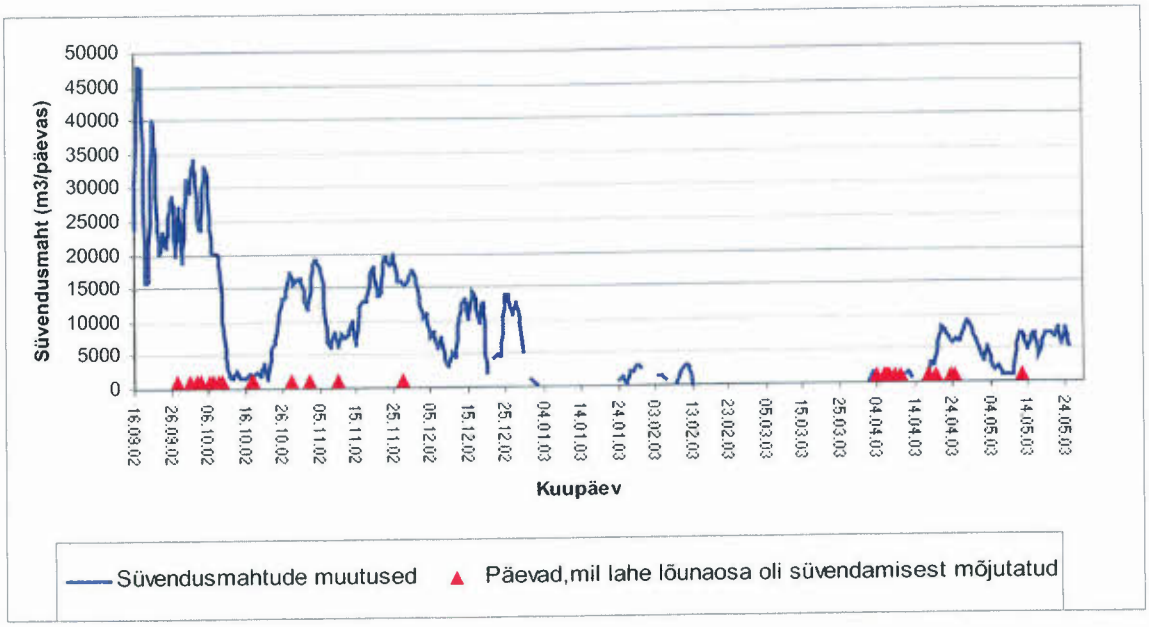
(400 – 500, max 775) ja sõtkaid (100 – 150), tavalised olid ka kühmnokk-luiged. Novembri lõpuni kohtas küllalt palju ka viuparte (20 – 30, max 100). Sarnaselt eelpoolkirjeldatud piirkondadele oli iseloomulikuks jääkoskla arvukuse tõus alates detsembrist 20-30 isendilt kuni 315 isendini. Süvendamisega kaasnev vee läbipaistvuse vähenemine lindude käitumist oluliselt ei mõjutanud. Päris madalaveelisesse rannamerre, kus ujupardid ja luiged toituvad (sügavus alla 0.5m), hõljum tavaliselt ei sattunud ja veealused valgustingimused olid head.



Joonis 8.5 Sinikael-pardi arvukuse muutus Paldiski Põhja- ja Lõunasadama vahelisel alal 2002-2003.a sügis-talvel.

Paldiski Lõunasadamast lõuna poole jääv 2-7 meetrisesse sügavusvahemikku jääv laheosa on sõtkaste peamine koondumisala, mida asustas 2002. aasta sügisese rändepeatuse ajal 1600-1800 sõtkast. Linnud toituvad mitmesugustest põhjaloomadest ja püüavad saaki sukeldudes. Erinevalt ujupartidest on sõtkale toitumiseks vajalik hea vee läbipaistvus, mida mõjutab olulisel määral hõljumisisaldusest tingitud hägusus. Süvendustööde käigus vette sattunud hõljumi levik hoovuste mõjul lindude toitumisaladele avaldab nii otsest kui kaudset mõju:

a) otsese mõjuna võib käsitleda juba mainitud vee hägustumist ja hõljumi settimist merepõhja elustiku kooslustele. Vee hägustumisega kaasnev nähtavuse vähenemine raskendab sukelduvatel lindudel toidu leidmist. Vajaliku toidukoguse kättesaamiseks peavad nad rohkem energiat kulutama, st organismi energiabilanss suureneb ja toitu hankimine selles piirkonnas muutub ühel hetkel energeetiliselt ebaökonoomseks. See sunnib linnud piirkonnast lahkuma ja teisi toitumispaiku otsima. Tuginedes süvendusest lähtuva hõljumi leviku mõõtmistele ja mudelarvutustele, tekkis selline olukord Pakri lahel üle 6 m/s põhjakaarte tuule korral. Lindude eemalehoidumine häguse veega alast oli ka visuaalselt jälgitav. Perioodid, kui hõljumi kandumine sõtkaste toitumisalasse mõjutas nende toitumispiirkonda või -käitumist, võib välja tuua otseste mõõtmiste põhjal, kõige kujukamalt vee suhtelise läbipaistvuse mõõdistused 8. ja 15.novembril 2002 (Joonised 2.6 ja 2.7).

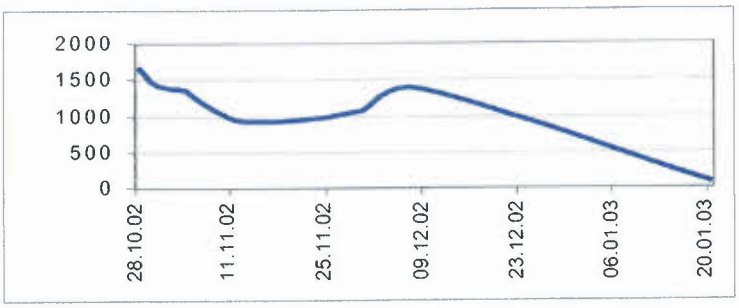


Joonis 8.6 Perioodid, mil süvendustöödest vettepaisatud hõljum kandus Pakri lahe lõunaossa ja mõjutas sukelpartide toitumist (joonisel punaste kolmnurkadega).

b) Kaudse mõjuna võib käsitleda süvendamisega kaasneva põhjasetetesse akumuleerunud biogeenide vabanemist ja kandumist madalama veega merealadele. Selle protsessi mõju on pikaajaline ja avaldub alles kuude ja isegi aastate jooksul. Toitainete kontsentratsiooni suurenedes muutuvad elutingimused soodsamaks planktonile ja nendest toituvatele filtreerivatele limustele (liiva-uurikkarp *Mya arenaria* ja balti lamekarp *Macoma baltica*), kelle biomass eeldatavalt kasvab märgatavalt (Ilmar Kotta, suuline informatsioon). Samas väheneb ilmselt liigiline mitmekesisus. Selline olukord peaks stabiliseeruma 3-5 järgneva aasta jooksul ning tekib teatav uus tasakaal lokaalses ökosüsteemis, üheselt süvenduseelse olukorra taastumis siiski ei toimu. Limuste osakaalu kasvamine põhjaelustikus loob rikkalikuma toidubaasi neist toituvatele merelindudele, eelkõige sukelpartidele. Seega võib eeldada, et näiteks sõtkaste osakaal merelindude koosluses ja arvukus Pakri lahe lõunaosas võib sügisrände perioodil järgnevate aastate jooksul isegi tõusta, kõik sõltub muidugi ka iga konkreetse aasta ilamoludest. Madalas vees toituvaid ujuparte põhjaelustikus toimuvad muutused niipalju ei mõjuta, sest nende toitumisspekter on laiem ja suunatud teistele liikidele.

Pakri lahe lõunaosas olid valdavaks kaks linnuliiki: sõtkas *(Bucephala clangula)* ligikaudu 1500 isendiga avaveel ja sinikael-part *(Anas platyrhynchos)* 1200 isendiga madalas rannavööndis. Nende liikide arvukus tõusis alates novembri lõpust. Selle põhjuseks oli tõenäoliselt jää moodustumine Kurkse väinas ja Pakri saarte ümbruses. Sinikael-pardid kui mittesukelduvad põhjasttoitujad pidid nendelt aladelt ümber asuma jäävabasse rannavette. Kurkse väinas, mis on samuti madal mereala (1 kuni 3 meetrit), täheldati et sõtkas ja sinikael-part olid liikunud Paldiski Lõunasadama poole, kokku loendati 300 kühmnokk-luige ja 350 laulu- ning väikeluige *(Cygnus cygnus)* isendit. Hõbekajaka *(Larus Argentatus)* ja kalakajaka *(Larus canus)* arvukus olid samuti vähenenud: kokku loendati 100 isendit. Laululuiged püsisid lahvandustel kuni vee kinnikülmumiseni, kuid

koos kühmnokk-luikedega Paldiski linna alla talvituma ei läinud, vaid lahkusid hoopiski Pakri lahest.



Joonis 8.7 Sõtka arvukuse muutused Pakri lahel 2002-2003.a sügis-talvel

Pakri lahe madalas lõunaosas loendati kokku 15 linnuliiki. Eelpoolnimetatute kõrval registreeriti viupart - 20 isendit, merivart - 30 isendit, tuttpütt - 30 isendit, jääkoskel – 20 isendit, soopart, aga ka üsna haruldasi liike nagu väikekoskel (*Mergus albellus)* - 6 isendit, merikotkas *(Haliaetus albicilla)* - 3 isendit ja Kanada lagle *(Branta canadensis)* - 2 isendit.

Registreeritud liigilise koosseisu muutused õhutemperatuuri langedes näitavad talvituvate linnukoosluste moodustumist, juba suhteliselt külmal oktoobri teisel poolel. Mitmete mittetalvituvate liikide, nagu näiteks viupart, kadumine ning jääkoskla arvukuse suurenemine näitab, et novembri lõpus ja detsembri kahel esimesel nädalal püsinud suhteliselt külm ilm on suurendanud lahkuvate mittetalvituvate linnuliikide arvu. Merikotkastele on lindude suur arvukus selles piirkonnas tõenäoliselt atraktiivne kerge saagi võimalusena.

Joonis 8.8 Jääkoskla ning laulu- ja väikeluige levilad Pakri lahes, 2002.a sügisel

Pakri lahe lõunaosa ja Kurkse väina madalad merealad on väga head toitumis- ning talvitusalad paljude linnuliikide jaoks. Piirkonna ilmastik on küll üsnagi muutlik, kuid linnud leiavad nendel aladel iga ilmaga sobivate tingimustega paiga. Detsembri keskpaigas Paldiski Lõunasadamast lõunapoole jääv meri ning Kurkse väin jäätusid püsivalt ja veelinnud olid sunnitud sealt lahkuma.

Tabel 8.1 Paldiski Lõunasadama süvendusaegse linnukoosluste seire käigus Pakri lahel ja Kurkse väinas kohatud merelinnud

Nr	Liiginimi		Esinemise ohtrus ja arvukus	Märkused
1	Tuttpütt	*Podiceps cristatus*	Vähearvukas (5-10, max 33)	Esineb hajusalt kogu Pakri lahes ja Kurkse väinas, eelistab lahe lõunapoolset ala
2	Kormoran	*Phalacorcorax carbo*	Keskmiselt arvukas (20-40, max 61)	Peamiselt lahe suudmes ja Pakri neeme ümbruses
3	Laululuik	*Cygnus cygnus*	Arvukas (250 – 300)	Ainult lahe madalas lõunaosas ja Kurkse väinas
4	Väikeluik	*Cygnus columbianus*	Vähearvukas	Samas, kus laululuiged, tavaliselt segaseltsingutena
5	Kühmnokk-luik	*Cygnus olor*	Väga arvukas (400-500)	Kogu kaldaäärse ala ulatuses tavaline, massiliselt lahe madalas lõunaosas
6	Kanada lagle	*Branta canadensis*	Harva esinev (2-3)	Kohati kahel korral kahte lindu lahe keskosas ja Kurkse väinas. Juhuslik, tavaliselt seltsingus luikedega
7	Ristpart	*Tadorna tadorna*	Keskmiselt arvukas (35-40)	Esineb vaid pesitsusperioodil lahe kesk- ja lõunaosas
8	Viupart	*Anas penelope*	Arvukas (30-70, max 130)	Sügisrändel tavaline koos sinikael-partidega, lahe keskosas
9	Sinikael-part	*Anas platyrhynchos*	Väga arvukas (400-600) max 1300	Peamiselt lahe keskosas sadamate ja linna lähedal ja madalas lahe lõunaosas
10	Soopart	*Anas acuta*	Harva esinev (1-2)	Ujupardina koos sinikael-pardiga sügisrände perioodil.
11	Merivart	*Aythya marila*	Keskmiselt arvukas (15-30, max 31)	Asustab sügisperioodil lahe keskosa
12	Hahk	*Somateria mollissima*	Vähearvukas	Seireperioodi alguseks tavaliselt lahkunud, kohati kahte isendit
13	Aul	*Clangula hyemalis*	Väga arvukas (7000-8000, max 8600)	Peamiselt Paki neeme ümbruses, lahe kesk-ja lõunaosas hajusalt.
14	Sõtkas	*Bucephala clangula*	Väga arvukas (1000-1500, max 1650)	Sügisrändel peamiselt lahe keskosas, mujal harvem. Tavaliselt ei talvitu
15	Väikekoskel	*Mergus albellus*	Harva esinev (6)	Kohati seltsingus jääkosklatega lahe keskosas, harvaesinev talvituja
16	Rohukoskel	*Mergus serrator*	Keskmiselt arvukas (25-30)	Lahe keskosas tavaline, mujal harvem. Lahkub jää tulekul.
17	Jääkoskel	*Mergus merganser*	Arvukas (70-100, max 315)	Peamiselt hilissügisel, tavaline talvituja. Asustab lahe keskosa.
18	Merikotkas	*Haliaetus albicilla*	Harva esinev (2-3)	Hilissügisel ja talvel, toitub talvituvatest partlastest,
19	Merisk	*Hamaetopus ostralegus*	Keskmiselt arvukas (10-15)	Pesitseja, hajusalt lahe keskosa rannikul, sügisese seireperioodi ajaks lahkunud
20	Naerukajakas	*Larus ridibundus*	Keskmiselt arvukas	Pesitseb lahe lõunaosas, sügisese seireperioodi ajaks lahkunud, ei talvitu
21	Kalakajakas	*Larus canus*	Arvukas	Asustab kogu piirkonda, lahkub külmad saabudes, ei talvitu
22	Hõbekajakas	*Larus argentatus*	Arvukas	Aastaringselt
23	Merikajakas	*Larus marinus*	Arvukas	Aastaringselt
24	Randtiir	*Sterna paradisaea*	Vähearvukas	Pesitseb väikeste kolooniatena hajusalt lahe keskosas. Lahkub hilissuvel
25	Krüüsel	*Cepphus grylle*	Keskmiselt arvukas (10 – 15)	Pesitseb ainult Pakri neemel, ei talvitu.

9. Meresetete jaotumuse seire pinnasepuiste paigas

Töö eesmärgiks on põhjasetete pindmise kihi struktuuri ja eri settetüüpide leviku määramine Pakri lahe pinnasepuiste platsi läheduses. Setete pindmises ca 20cm kihis ja selle struktuuris toimuvad muutused on võrreldavas ajaskaalas mõne kuu kuni aasta jooksul toimuva pinnasepuistega ja seega setete pealmises kihi struktuuris peaks väljenduma ka tehnogeense mõju ulatus, mis peaks ideaaljuhul jääma pinnasepuiste ala piiridesse. Arvestades süvendusaegse seire programmi ja süvendatava materjali uuringuid Pakri lahe lõunaosas, seati antud töölõigule kitsam eesmärk selgitada settekompleksi pealmise osa struktuuri järgi välja pinnasepuiste platsile veetud süvendusmaterjali jaotumist Pakri lahe suudmealal. Kuna antud puisteala kasutatakse juba pikka aega ei ole tehniliselt ega teoreetiliseslt võimalik kindlaks teha nn. algolukorda, kus fikseeritud oleks "puhas" looduslik setete jaotumus. Reaalselt on siiski võimalik kaardistada mingite ajahetkede meresetete erinevate omaduste jaotusi ja vaadelda nende muutlikkust ajalises dünaamikas, eesmärgiga hinnata nende mõju merekeskkonnale, mis peakski olema pinnasepuiste paikade seire sisuks.

9.1 Setete üldkirjeldus süvendus- ja pinnasepuiste alal

Pakri lahe suudmes, pinnasepuiste ala läheduses ulatuvad meresügavused 40 - 55m-ni ja merepõhja moodustavad seal valdavalt sedimentatsiooniprotsessidele allutatud pehmed, peenefraktsioonilised setted, mis on saavutanud sügavussuhetest põhjustatud tasakaalu. Stabiilse sedimentatsiooni alal on seal kuhjuvad setted tasakaalus merepõhjas valitsevate hudrokeemiliste tingimustega. Rannale lähemates, madalamates piirkondades kuhjuvad jämedateralisemad setted ja akvatooriumi sügavamas osas peeneralisemad setted (aleuriit, peliit ,jne), Pakri lahes on see loomulik setete jaotumus Mereliste setete pealmise dünaamilise kihi, mis on eri sügavustel erineva koostise ja paksusega, all levib lahe keskosas *jääjärveline viirsavi,* millest sügavamale jääv liustikusetete kompleks on esindatud kohati rohkelt jämepurdmaterjali sisaldava *liivsavi- ja saviliivmoreeniga.*

Täpsemalt on teada meresetete jaotumine ja struktuur Paldiski Lõunasadama piirkonnas, süvendusalal ja selle naabruses kus süvendatava pinnase pindmise kihi moodustavad mitmesuguse terajämedusega liivad ja lainetuse eest varjatud kohtades ka aleuriitmuda. Aluspõhjalisi kaljupinnaseid süvendataval alal ei ole, jämepurdu kuni 50% sisaldavat saviliivmoreeni on vaid laevade pöördeala kirdeservas. Mahuliselt teisaldatakse süvendustööde käigus kõige rohkem *peen-kruusliiva*, u. 81% süvendustööde kogumahust (Tabel 9.1) (Merin AS, töö nr.348). Moreenikihtidest jääb süvendamissügavusele põhiliselt plastne *saviliivmoreen.* Moreeni, mis moodustab pinnakatte alumise osa, põhiline komponent on hall ja kõva saviliiv, mis sisaldab jämepurdu 10-45%. Pakri lahe lõunaosas on moreen kohati väga liivane ja sisaldab liiva-kruusa läätsi. Peeneteralise liiva fraktsioonide sisaldused muutuvad Pakri lahe lõunaosa põhjasetetes suurtes piirides, alates 1.5% kuni 95%-ni (Kask, J., 2002), kusjuures jaotuses joonistub välja trend peeneteralise liiva fraktsiooni sisalduse suurenemises rannale lähemal asuva mereosa põhjasetetes. Keskmiseteralise liiva fraktsiooni esineb rohkem Pakri lahe kaguosas, kuni 69% ja vähem lahe kirdeosas, vaid 0.2% (Kask, J.,

2002). Suurem osa Pakri lahe lõunaosast võetud proovidest sisaldab keskmiseteralise liiva fraktsiooni väheses koguses, samas esineb seda fraktsiooni lisandina praktiliselt kõigis Pakri lahe proovides. Jämedateralise liiva fraktsioon on valdavaks Pakri lahe keskosas ca 72%, enamasti siiski jääb see alla 50%, mõnes paigas lahe lõunaosas isegi vaid 0.1% (Kask, J., 2002). Pakri lahe lõunaosa on suhteliselt madal, kus sügavused on enamasti alla 10m ja sedimentatsiooniprotsessid ei allu seal sügavussuhetest põhjustatud setete jaotusele. Tõenäoliselt on antud merealal tegemist põhiliselt lokaalse lainetuse ja hoovuste režiimi mõjul välja kujunenud setete jaotusega, mis nii ajas kui ruumis on suhteliselt muutliku iseloomuga.

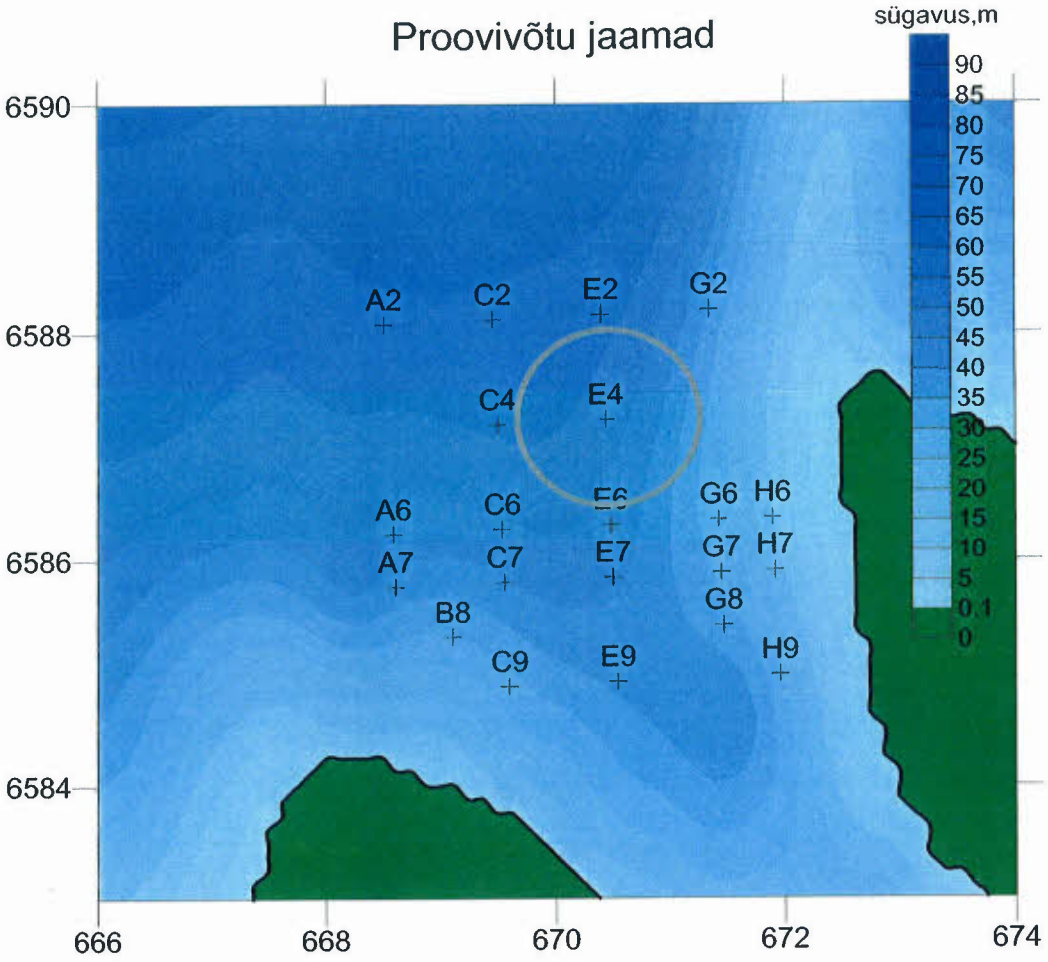
Tabel 9.1 Projektijärgsed süvendusmahud (m^3) kategooriate kaupa Paldiski Lõunasadamas ja laevade pöördealal

Kirjeldus	Tolmliiv II kat.	Peen-kruusliiv III kat.	Raske saviliiv IV kat.	Plastne moreen VI kat.
Akvatoorium		124 730		135 840
Pöördering	40 910	812 390	28 590	
Sissesõidukanal	50 660	240 330	18 090	
Kokku	**91 570**	**1 177 450**	**46 680**	**135 840**
Osatähtsus	6%	81%	3%	9%

9.2 Pinnasepuiste platsi ümbruse meresetete seire metoodika

Pakri lahe suudmes, kus mere sügavus on vahemikus 40 - 55m, koguti Ekman tüüpi põhjaammutajaga merepõhja setete pinnakihi proove 20-nes mõõtejaamas (Joonis 9.1). Mõõdistus viidi läbi süvendustööde teise etapi lõpuosas 27.detsembril 2002.a, siis kui praktiliselt kogu planeeritud süvendusmaht oli teostatud ja teha jäid vaid lisatööd, mis kokku moodustasid 18% projektijärgsest süvendusmahust. Kõiki setteproove fotografeeriti ja kirjeldati.

Setete lõimiseline koostis ja mõned pinnaseomadused määrati sõelanalüüsi meetodil OÜ Eesti Keskkonnauuringute Keskuse Geotehnika laboris Geoloogiakeskuse laboratooriumis. Kasutati järgmisi sõelu: 0.002mm, 0.006mm, 0.02mm, 0.06mm, 0.2mm, 0.6mm, 2mm, 6mm, 20mm ja 60mm, tulemused on esitatud Tabelis 9.2. Mõned proovid sisaldasid vaid kivist materjali, nende puhul piirduti välimäärangu ja kirjeldusega. Tabelis 9.2 esitatakse määratud pinnaseomaduste mõõtetulemused. Kuumutuskadu saadi setteproovi põletamise teel 3 tunni vältel temperatuuril 660°C; orgaanilise aine sisaldus määrati oksüdeerimismeetodil; erimass püknomeetriliselt ja karbonaatsus ekspressmeetodil soolhappega.



Joonis 9.1 Meresete proovivõtukohad Pakri lahe suudmes, ring tähistab pinnasepuiste platsi asukohta, tagapõhjal batümeetria.

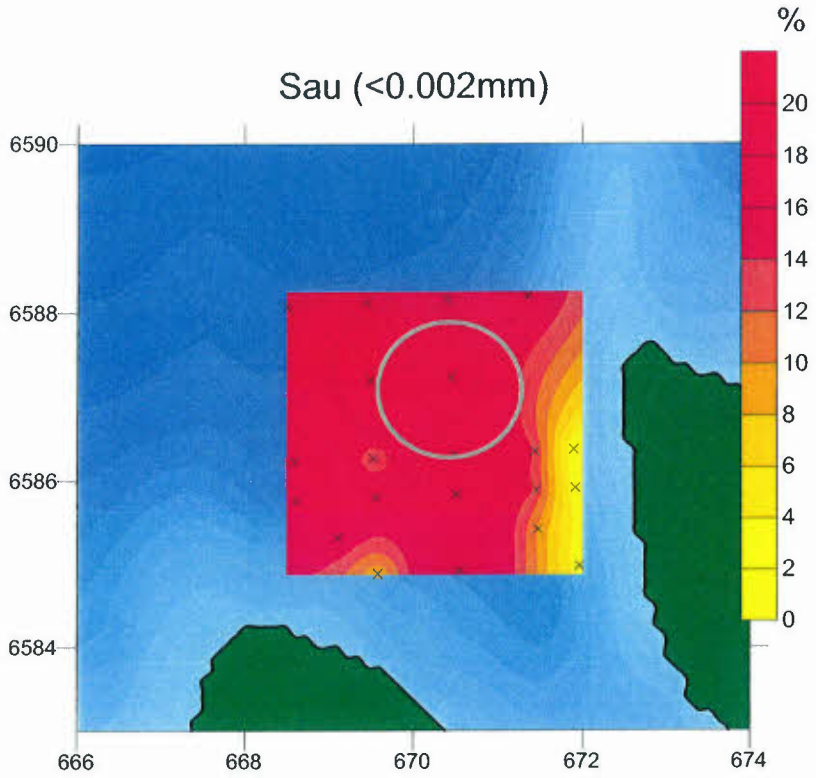
9.3 Settefraktsioonide jaotumuse seire tulemused

Setete jaotumuse seire tulemused Pakri lahe suudmes on esitatud Jonistel 9.2 kuni 9.10 ja Tabelites 9.2 – 9.3. Pinnasepuiste plats väljendus kõige selgemalt jämepurdmaterjali ehk ka kruusa jaotumuses (Joonis 9.5) ja eelkõige jaamast E4 võetud proovis, mis on ka ainuke jaam mis selgelt jääb pinnasepuiste alaks olevale 1km raadiusega ringikujulisele merealale. Kruusa osatähtsus setete komplesis ulatub jaamas E4 20%-ni, samal ajal kui ümbruskonnas see fraktsioon praktiliselt puudub.
Puisteplatsi eripärasus on väljendunud ka mölli jaotuses, kus jaamas E4 on miinimum, fraktsiooni osatähtsus on 30-40%, samal ajal kui ümbritseval merealal on see 70-80% (Joonis 9.3). Liiva jaotumuses (Joonis 9.4) võib puistealal vaid nõrka anomaaliat näha ja saue puhul praktiliselt üldse mitte (Joonis 9.2), jälgitav on hoopiski selle fraktsiooni looduslik jaotumus. On alust järeldada et pinnasepuiste alale satub eelkõige jämedefraktsiooniline settematerjal ja peen fraktsioon kandub hoovustega edasi. Näiteks mölli puhul võib lugeda kõrgemaid osatähtsusi jaama G6, G7 ja G8 settekompleksis (Joonis 9.3) indikatiivseteks, et peenem settefraktsioon on sinna kandunud peale

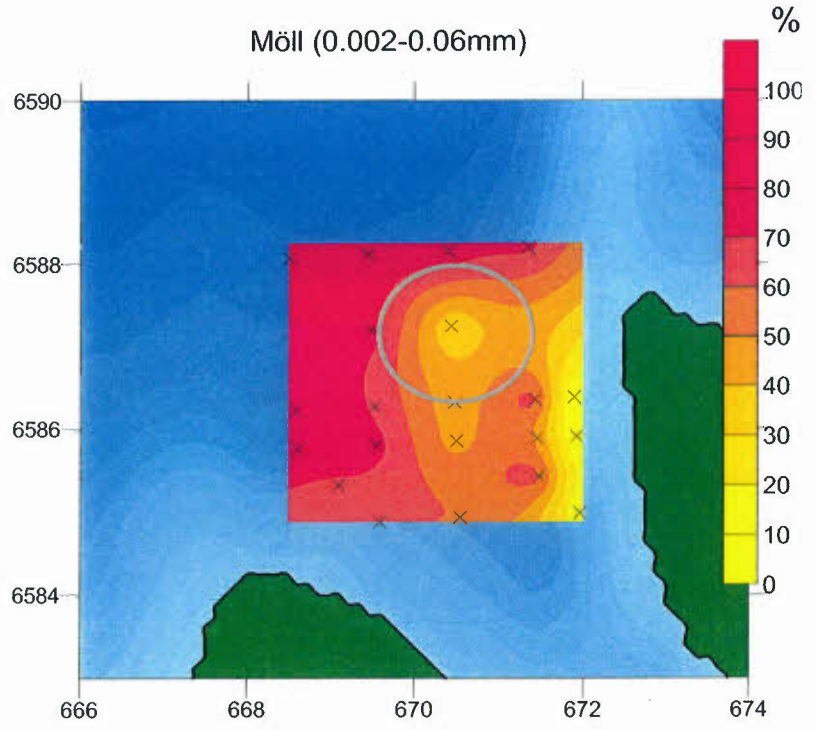
pinnasepuistet hoovustega, valdavaks settetüübiks selles kohas võiks olla liiv ja madalamas vees paeplaat (Tabel 4.1). Peenefraktsiooniliste setete kandumist Pakerordi panga esisesse madalmerre jälgiti seire ajal korduvalt ka nii visuaalselt Pakri neeme pangalt (Foto 9.1), kui sukeldumiste käigus (G. Martin, suuline informatsioon).

Pinnasepuistealalt lõunasse piki Pakri lahe keskosa telge väljub mölli väiksema osatähtsuse väljavenitatud lehvik (Joonis 9.3), sama on näha veelgi kujukamalt mölli ja sau liitmisel (Joonis 9.6) ning eriti selgelt nende suhte jaotuse põhjal (Joonis 9.7). On alust arvata et viimane on põhjustatud asjaolust et pargased lekivad teel puistepaika või puistepaigast tagasiteel veel settematerjal väljub pargastes. Viimast kordab ka Foto 9.1, kus on hästi näha hõljumirikka vee jälg puistepaika sõitva pargase järel, pildistatud 10.detsembril 2002.a.

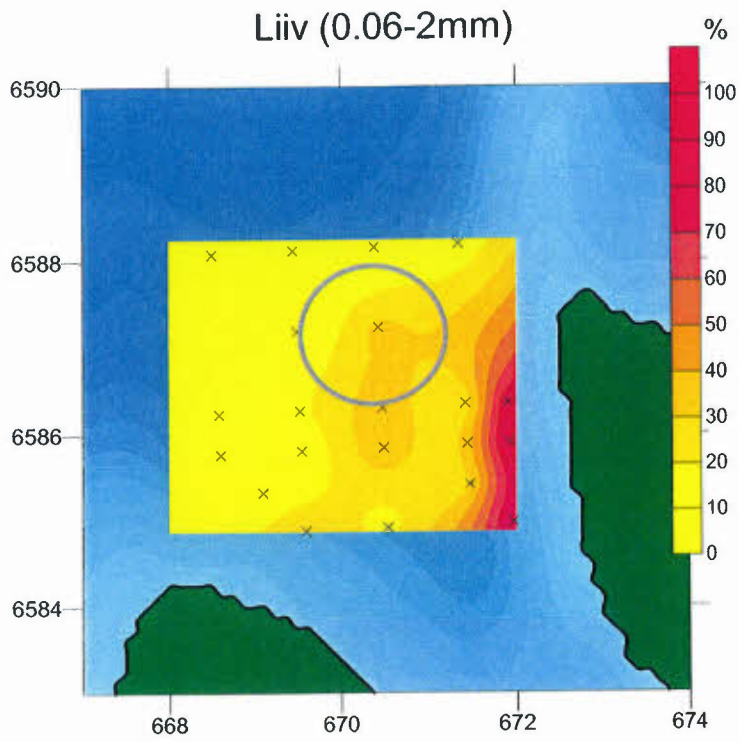
Foto 9.1 Mudase vee viirud Pakri neeme rannameres 5.oktoobril 2002.a (foto T.Kõuts), hõljum pärineb ilmselt u. 1.5km kaugusel toimunud pinnasepuistest.



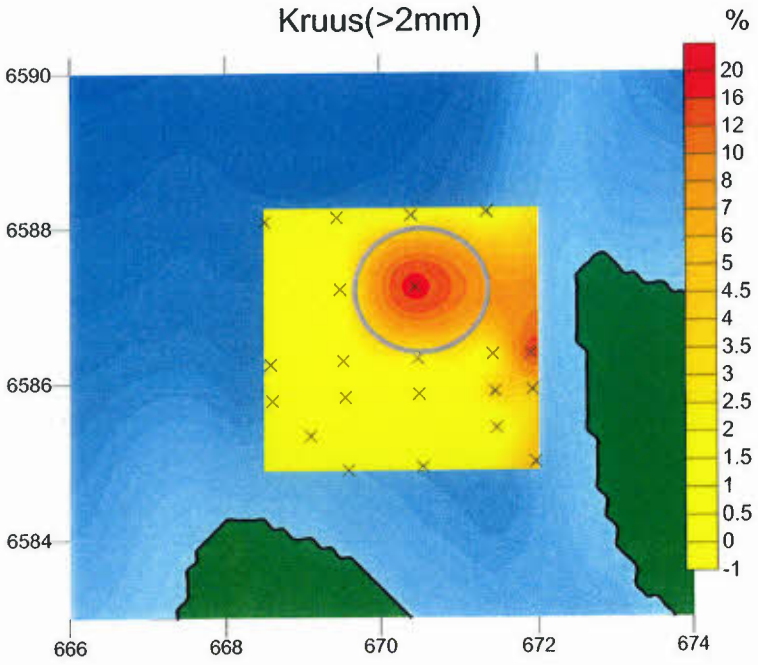
Joonis 9.2 Saue (osakeste läbimõõt <0.002mm) osatähtsuse (%) jaotus meresetete kompleksis Pakri lahe suudmes, ring tähistab pinnasepuiste platsi asukohta, tagapõhjal batümeetria



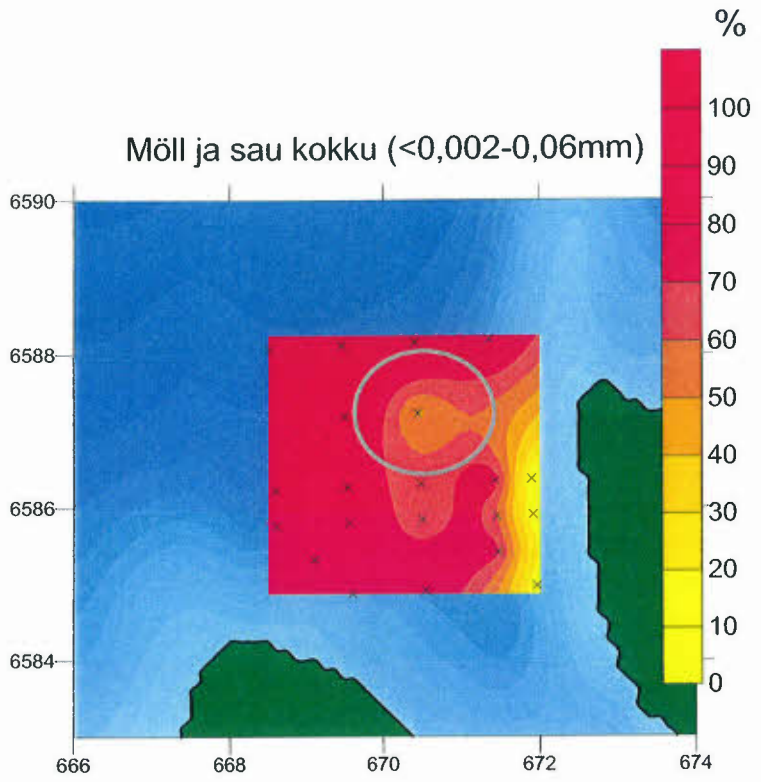
Joonis 9.3 Mölli (osakeste läbimõõt 0.002 - 0.06mm) osatähtsuse (%) jaotus meresetete kompleksis Pakri lahe suudmes, ring tähistab pinnasepuiste platsi asukohta, tagapõhjal batümeetria



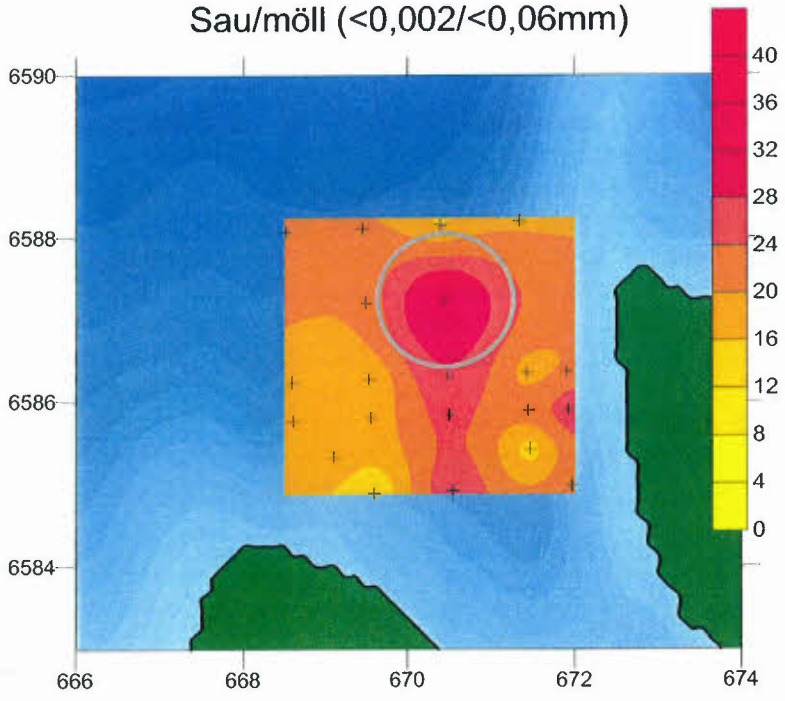
Joonis 9.4 Liiva (osakeste läbimõõt 0.06 - 2mm) osatähtsuse (%) jaotus meresetete kompleksis Pakri lahe suudmes, ring tähistab pinnasepuiste platsi asukohta, tagapõhjal batümeetria



Joonis 9.5 Kruusa, jämepurd fraktsiooni (osakeste läbimõõt >2mm) osatähtsuse (%) jaotus meresetete kompleksis Pakri lahe suudmes, ring tähistab pinnasepuiste platsi asukohta, tagapõhjal batümeetria



Joonis 9.6 Mölli ja saue fraktsioonide (summaarselt; osakeste läbimõõt <0.06mm) osatähtsuse (%) jaotus meresetete kompleksis Pakri lahe suudmes, ring tähistab pinnasepuiste platsi asukohta, tagapõhjal batümeetria

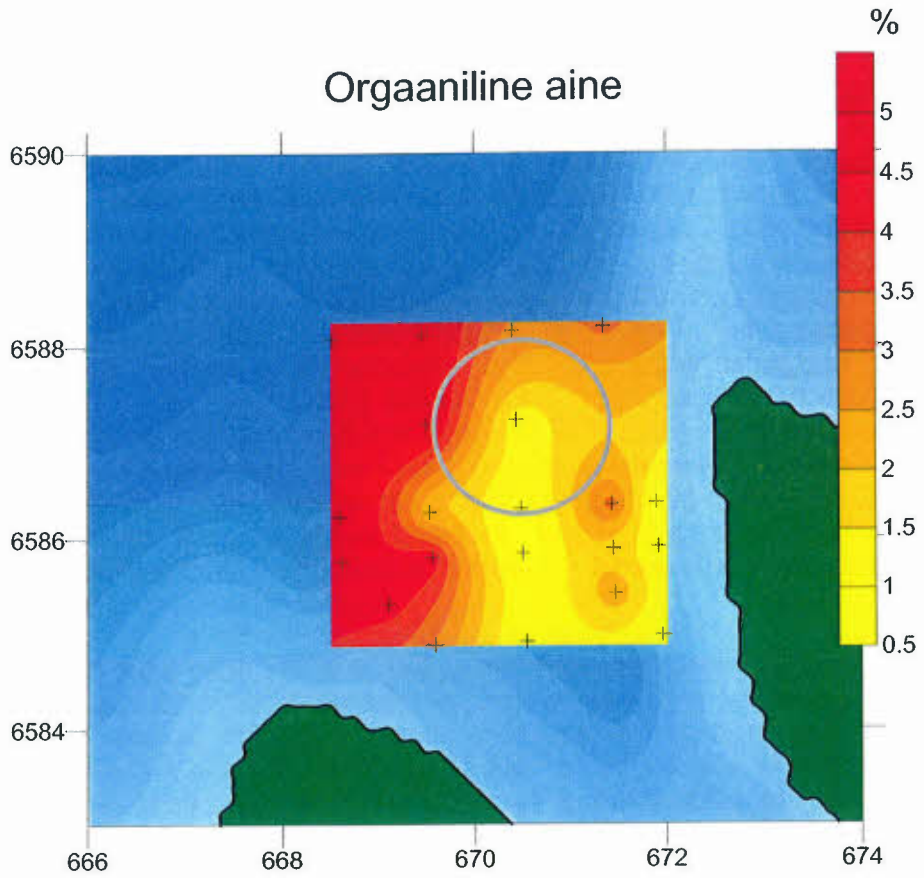


Joonis 9.7 Saue ja mölli osatähtsute suhte meresetete kompleksis jaotus Pakri lahe suudmes, ring tähistab pinnasepuiste platsi asukohta, tagapõhjal batümeetria

Foto 9.2 Hõljumi jälg vees (heledam vesi) pinnasepuisteplatsile suunduva pargase järel 10.detsembril 2002.a, pildistamise suund on N (foto T.Kõuts)

9.4 Meresetete pinnaseomadused puistealal

Meresetete pinnaseomadustest analüüsiti käesolevas töös karbonaatsust, leiti kuumutuskadu ja orgaanilise aine sisaldus. Nende parameetrite horisontaalsed jaotused Pakri lahe suudmealal on esitatud Joonistel 9.8, 9.9 ja 9.10. Nendest vaid orgaanilise aine sisalduse puhul võib eristada pinnasepuiste alal mõningast anomaaliat kus orgaanilise aine sisaldused on 0.5...1.5% samal ajal kui ümbritseva mereala setetes on need 4...5% (Joonis 9.8). Põhjuseks võib siin tuua pargaste lekkimise teel puisteplatsile. Karbonaatsuse ja kuumutuskao horisontaaljaotused on mõlemad küllaltki sarnased (Joonised 9.9 ja 9.10) ja kõrgema osatähtsuse anomaalia (u.13%) paikneb E6, E7 ja G6, G7 vahel, märkimisväärne on ka asjaolu kui täpselt mõlema parameetri horisontaaljaotused jälgivad merepõhja batümeeriat. Ka Joonisel 9.11 esitatud fotod kogutud setteproovidest näitavad et jaama E4 proov eristub selgelt muudest ja on pinnasepuiste alale veetud süvendatud materjal.



Joonis 9.8 Meresetete orgaanilise aine sisalduse (%) jaotumine Pakri lahe suudmes, ring tähistab pinnasepuiste platsi asukohta, tagapõhjal batümeetria

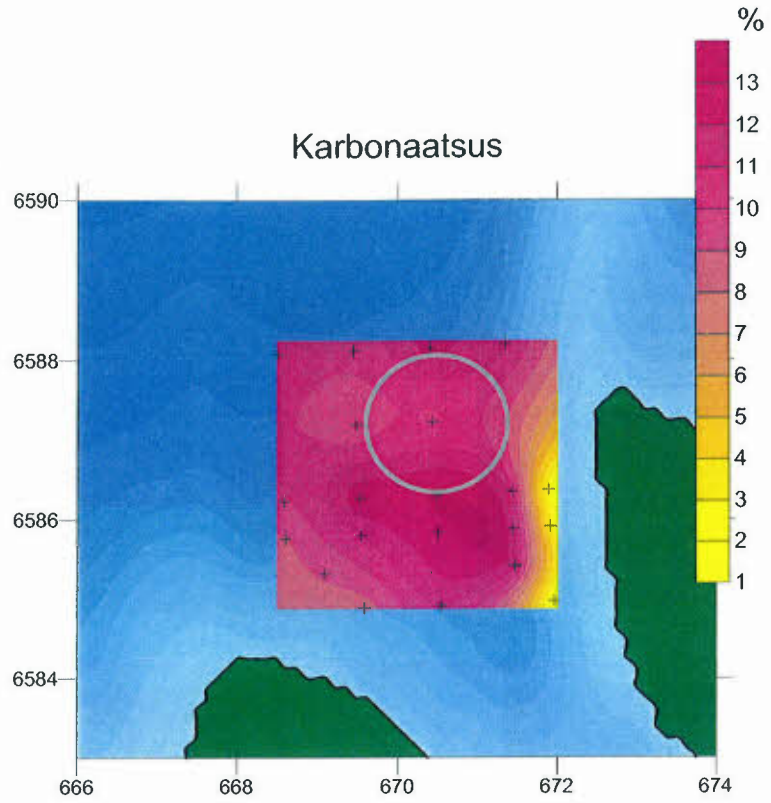
9.5 Kokkuvõte pinnasepuisteala seirest

Antud töö raames tehtud seiremõõdistus pinnasepuistealal on teadaolevalt esimene sellelaadne Eesti rannikumeres, kuigi puistealasid on arvukalt, ja mõned neist ekspluateeritud väga intensiivselt, näiteks Paljassaare lahes.

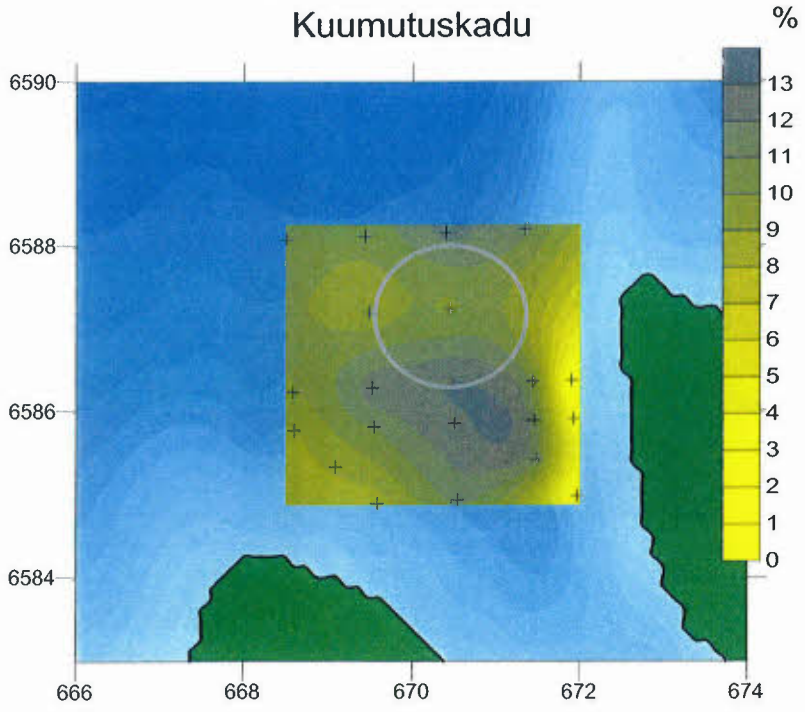
Antud töö raames kogutud seirematerjali põhjal saab teha kindla järelduse: teatud kogus teisaldatavast materjalist on tõepoolest sattunud pinnasepuiste alale – sellelt võetud ainsas proovis on jämepurdu anomaalselt palju võrreldes ümbritseva merepõhjaga. Saue ja mölli komponendid ei ole selles osas heaks indikaatoriteks, sest domineerivad nn. kohalikes, normaalsetes setetes. Pinnasepuistealale veetud setete kandumist madalmerre Pakerordi neeme juures otseselt ei dokumenteeritud, samas on see ka komplitseeritud antud mõõtemeetodite raames, seejuures võib küll seda aga kaudselt järeldada, kuna setete ligi 50m langemisteekond võimaldab need üsna põhjalikult läbi pesta nii et otseselt puistealale merepõhjas jõuab ikkagi ainult jäme fraktsioon. Peenemad settefraktsioonid kantakse laiali ulatuslikule merealale, sealhulgas vastava lokaalse hoovuste ja lainetuse režiimi tingimustes ka Pakri neemele. Ei ole tõenäoline et peenefraktsioonilised setted jääks madalmerre pikaks ajaks, vaid resuspensioon haarab need veesambasse ja lõpptulemusena kantakse ikkagi sügavamale merre, küll aga kulub selleks teatav aeg, mis võib olla mitmeid kordi pikem süvendusperioodist – seega kestab ka mõju merekeskkonnale pikemat aega.

Esmapilgul võib küll paista, et süvendatava pinnase uputamine võimalikult sügavamale merre, kus see on varjul aktiivse hüdrodünaamilise mõjutuse (tuule otsene mõju, lainetus) eest, kuid samas ei ole üldse kindel milline materjal ikkagi sügavasse merre kohale jõuab ja kuhu ikkagi kandub peenefraktsiooniline osa setetest. Lõpptulemusena jääb küllalt ebaselgeks millise ulatusega keskkonnamõju millisel merealal lõpptulemusena tekib kuna pinnasepuiste aladel seiret üldjuhul ei teostata vaid eeldatakse pinnasepuiste keskkonnaohutust antud paigas. Alternatiiviks võiks olla pinnase viimine madalasse merre, kus see küll katab teataval alal merepõhja elustikku ja muudab kalade kudemistingimusi, kuid samas on kindel et puistekohta veetud pinnas sinna ka jõuab. Madalmerele on nagunii iseloomulik settematerjali looduslik ümberpaiknemine lainetuse ja hoovuste koosmõjul, süvendatud materjali lisamine suurendaks vaid mingil määral selle käivet. Kuna süvenduse näol toimub mingil alal merepõhja muutmine siis geoloogilisest aspektist võib uue sedimentatsiooni (soovitud) tasakaalu saavutamiseks isegi kasulikuks osutuda settematerjali lisandumine teatud merealal, näitena võib siin tuua randade täitmist. Igal konkreetsel juhul tuleks siiski pinnasepuistet eraldi kaaluda võttes lisaks mahule ja merepõhja muutustest tingitud sedimentatsiooni tingimuste muutusele arvesse näiteks ka süvendatavate setete reostuskoormust ja muid parameetreid.

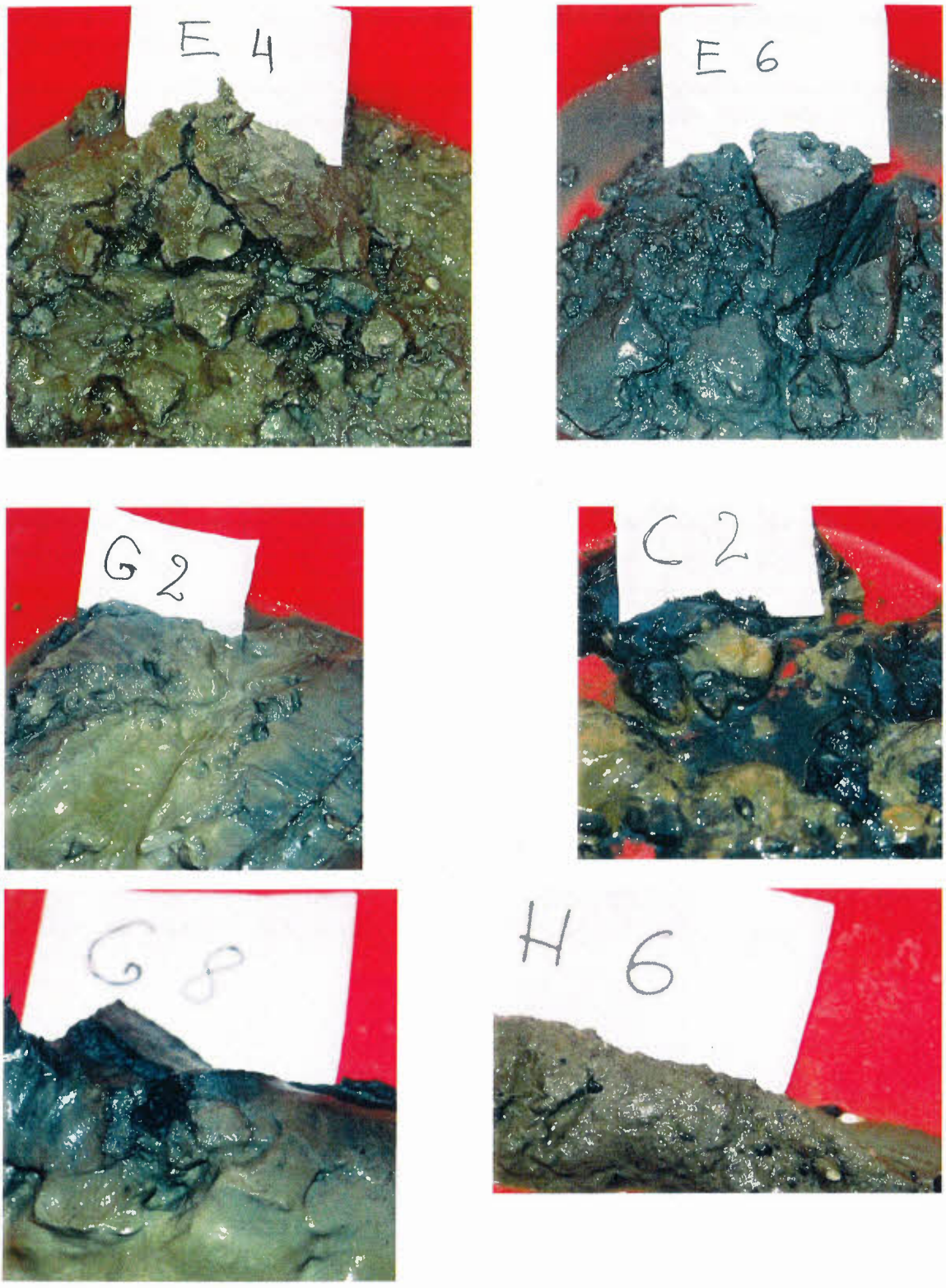
Pinnasepuisteala seire peab näitama, kas ja milline osa sinna veetavast materjalist satub deklareeritud merealale, mis tähendab, et sõltuvalt puisteala sügavusest, pindalast ja sinna veetava materjali kogusest, nõuab erinevate meetoditega uuringuid. Kindlasti tuleks läbi viia puisteala ja selle lähiümbruse merepõhja detailne kaardistamine, valides mõõtkava selliselt, et mida suurem on teisaldatava materjali hulk seda väiksem võiks olla mõõtkava, seega ka proovipunktide arv. Selge ülevaade peab olema teisaldatavate setete koostisest, samuti on oluline välja selgitada võimalikud indikaatorkomponendid, mis võimaldaks setteid hiljem puistekohas identifitseerida. Proovivõtmist on otstarbekas teha enne pinnasepuiste algust, 1-2 korda selle ajal (näit. siis kui 50% töödest tehtud) ja kohe pärast tööde lõppu. Viimane mõõdistus jääks ühtlasi ka algolukorraks setete loodusliku ümberpaiknemisel süvendustevahelisel perioodil.



Joonis 9.9 Meresetete karbonaatsuse (%) jaotumine Pakri lahe suudmes, ring tähistab pinnasepuiste platsi asukohta, tagapõhjal batümeetria



Joonis 9.10 Meresetete kuumutuskao (%) jaotumine Pakri lahe suudmes, ring tähistab pinnasepuiste platsi asukohta, tagapõhjal batümeetria



Joonis 9.11 Meresetete koostis visuaalsel hinnangul Pakri lahe suudmealalt võetud proovides: E4 esindab vahetult pinnasepuiste ala, E6 selle lõunapiiri; G2, C2 asuvad pinnasepuiste alast avamere pool ja G8, H6 kagus, madalamas rannikumere osas (fotod I.Jüssi).

Tabel 9.2 Pakri lahe suudmest ja pinnasepuiste alalt võetud setteproovide pinnaseomaduste laboratoorse määramise tulemused

Jaam	Sügavus (m)	Proovi kirjeldus	Kuumutus-kadu (%)	Org.aine (%)	Karbonaat-sus (%)	Erimass (g/cm3)
A - 2	49	möllsavi	12.6	5.2	10.8	
A - 6	37	savimöll	11.5	4.7	9.9	
A - 7	38	liivaga savimöll	10.4	4.1	8.9	
B - 8	25	liivaga savimöll	10.1	4.2	9.2	
C - 2	53	möllsavi	12.3	5.0	10.3	2.56
C - 4	51	möllsavi	12.2	5.1	9.1	
C - 6	44	liivaga savimöll	6.6	2.0	12.8	2.64
C - 7	40	liivaga savimöll	9.8	4.3	11.0	
C - 9	24	rohke liivaga savimöll	7.7	2.9	8.4	
E - 2	51	savimöll	8.2	2.8	12.4	
E - 4	46	kruusa- ja rohke liivaga möllsavi	3.0	1.2	9.7	
E - 6	43	rohke liivaga möllsavi	4.6	0.8	13.2	
E - 7	40	rohke liivaga möllsavi	4.2	0.8	12.5	
E - 9	36	liivaga möllsavi	5.1	0.8	11.3	2.72
G - 2	35	liivaga savimöll	9.2	3.2	11.3	
G - 6	27	liivaga savimöll	8.4	3.2	11.1	
G - 7	28	rohke liivaga möllsavi	5.2	1.8	11.8	
G - 8	33	rohke liivaga savimöll	6.4	2.4	11.7	
H - 6	15	kruusaga savikas peenliiv	1.3	0.7	1.8	
H - 7	17	savikas peenliiv	1.9	0.9	2.7	
H - 9	25	savikas peenliiv	1.5	0.8	1.3	2.64

Tabel 9.3 Pakri lahe suudmest ja pinnasepuiste alalt võetud setteproovide lõimise laboratoorse määramise tulemused

Proov	Fraktsiooni läbimõõt mm, sisaldus %																C_u d_{60}/d_{10}
		Jämepurd				Peenpurd									<0,06	<0,002 / <0,06	
		Kruus				Liiv				Mõll				Sau			
	>60	60..20	20...6	6...2	Σ	2...0,6	0,6...0,2	0,2...0,06	Σ	0,06...0,02	0,02...0,006	0,006...0,002	Σ	<0,002			
A-2	0	0	0	0	0	0.7	0.6	2.9	4.2	18.8	33.1	22.4	74.3	21.5	95.8	22.4	>5,3
A-6	0	0	0	0.1	0.1	0.5	0.5	6.1	7.1	26.3	29.9	18.6	74.8	18.0	92.8	19.4	>7,0
A-7	0	0	0	0	0	0.4	0.3	10.8	11.5	31.7	24.6	15.5	71.8	16.7	88.5	18.9	>10,5
B-8	0	0	0	0.1	0.1	0.5	0.5	12.9	13.9	27.7	25.1	16.2	69.0	17.0	86.0	19.8	>10,3
C-2	0	0	0	0.1	0.1	0.4	0.4	0.3	1.1	24.1	33.4	20.5	78.0	20.8	98.8	21.1	>5,5
C-4	0	0	0	0.1	0.1	0.2	0.8	3.7	4.7	26.9	29.9	18.1	74.9	20.3	95.2	21.3	>4,7
C-6	0	0	0	0	0.0	0.2	0.3	18.1	18.6	35.3	22.9	10.4	68.6	12.8	81.4	15.7	>15,0
C-7	0	0	0	0.7	0.7	1.0	0.4	8.6	10.0	31.4	27.1	14.9	73.4	15.9	89.3	17.8	>10,5
C-9	0	0	0	1.8	1.8	0.8	0.6	25.3	26.7	37.7	17.6	8.2	63.5	8.0	71.5	11.2	1.6
E-2	0	0	0	0	0	0.6	0.4	7.5	8.5	34.1	30.9	12.6	77.6	13.9	91.5	15.2	>10,5
E-4	0	0	10.0	10.1	20.1	8.7	10.8	13.4	32.9	13.5	10.3	5.5	29.3	17.7	47.0	37.7	>100
E-6	0	0	0	1.2	1.2	4.7	11.0	20.0	35.7	24.6	15.1	5.9	45.6	17.5	63.1	27.7	>25,5
E-7	0	0	0	0.5	0.5	2.4	5.6	30.8	38.8	25.4	13.2	6.5	45.1	15.6	60.7	25.7	>28,0
E-9	0	0	0	0.1	0.1	0.7	1.4	14.2	16.3	32.7	18.1	8.8	59.6	24.0	83.6	28.7	>12,5
G-2	0	0	0	0	0	0.2	0.4	9.8	10.4	27.9	28.0	16.5	72.4	17.2	89.6	19.2	>8,5
G-6	0	0	0	0.1	0.1	0.8	0.8	19.6	21.2	30.9	22.7	11.1	64.7	14.0	78.7	17.8	>15,0
G-7	0	0	0	4.5	4.5	4.9	11.1	18.5	34.5	20.6	18.0	8.7	47.3	13.7	61.0	22.5	>27,5
G-8	0	0	0	0	0	1.6	6.8	17.7	26.1	30.1	24.4	9.7	64.2	9.7	73.9	13.1	17.5
H-6	0	0	4.3	9.6	13.9	15.6	6.9	57.2	79.7	2.7	1.8	0.6	5.1	1.3	6.4	20.3	2.8
H-7	0	0	1.2	2.5	3.7	2.8	12.0	73.9	88.7	2.2	2.4	0.9	5.5	2.1	7.6	27.6	2.2
H-9	0	0	3.5	2.3	5.8	3.0	3.2	78.7	84.9	3.0	2.6	1.5	7.1	2.2	9.3	23.7	1.8