

Rohuküla sadama rekonstrueerimistööde heljumi matemaatiline modelleerimine

Tellij:	Skepast&Puhkim OÜ Reg. Nr. 11255795 Laki põik 2, Tallinn Telefon: +372 56467410 e-post: aide.kaar@skpk.ee
Konsultant:	Osaühing Corson Reg. Nr. 10006729 MTR: EP10006729-0001 Ööviili, Saue vald e-post: corson@corson.ee Projektijuht/vastutav spetsialist: Toomas Liiv
Ehitise aadress:	Rohuküla sadam 1, Haapsalu linn, Lääne maakond
Töö nimetus:	Töö nr. 2412 Rohuküla sadama rekonstrueerimistööde heljumi matemaatiline modelleerimine
Stadium:	-
Kõide /Kõiteid:	I
Kõite nimetus:	Matemaatiline modelleerimine Seletuskiri ja joonised
Versioon:	1
Kõite koostaja:	Osaühing Corson

Sisukord

1.	Lähteülesanne.....	3
1.1.	Eesmärk.....	3
1.2.	Lähtematerjalid.....	3
2.	Olemasolev olukord	4
2.1	Paiknemine	4
2.2	Lainetus ja heljumi foon.....	4
2.3	Süvendatav pinnas.....	4
3.	Kavandatav tegevus.....	5
4.	Matemaatiline modelleerimine.....	6
4.1	Tuuleandmed.....	6
4.2	Matemaatiline mudel MIKE21	6
4.3	MIKE 21 HD moodul.....	6
4.4	MIKE 21/ 3 PA moodul	7
4.5	Seletusi graafikutel esitatud tulemuste kasutamiseks	7
5.	Matemaatilise modelleerimise tulemused.	8
5.1	Lainetuse ja hoovuste väljad	8
5.2	Heljumi levik kaadamisel.....	11
5.3	Tahke ainese uputamine muulide rajamisel	15
5.4	Süvendamine 1 – 4 kaide esisel alal	17
5.5	Heljum muulivarede eemaldamisel	19
6.	Kokkuvõte	24
	Kasutatud kirjanduse loetelu	25

1. Lähteülesanne

1.1. Eesmärk

Käesoleva töö eesmärk on hinnata Rohuküla sadamas süvendus ja täitetöödel tekkiva heljumipilve levikut..

Töö käigus on modelleeritud loode, lääne suunas $15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ puhuva tuulega esineva lainetuste korral tekkivat heljumipilve. $15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ puhuv tuul nn. halvim võimalik olukord, sest selle kiiruse juures süvendusmasinad peatavad tavapäraselt oma töö. Madalamate tuulekiiruste korral on kaasnev hoovusekiirus madalam ning heljumipilve levikuala väiksem.

.

1.2. Lähtematerjalid

- Eesti veeteede atlase kaardimaterjal;
- Tellija poolt edastatud hüdrograafilised mõõdistused;
- Tellija poolt edastatud uus sadama generaalplaan.
- Rohuküla sadam. Ehitusgeoloogilise uuringu aruanne OÜ Rei Geotehnika töö nr 2246/1-07.

2. Olemasolev olukord

2.1 Paiknemine

Rohuküla sadam asub Lääne maakonnas Haapsalu linnas Rohukülas, ligi 8 km kaugusel Haapsalu keskusest. Sadamat ümbritseb Väinamere hoiuala. 6,5 km lõunasse asub Matsalu rahvuspark, 7 km loodesuunas asub Vormsi maastikukaitseala. Ca. 500 m kaugusel kagus algab Pusku viigis kasvavate III kaitsekategooria taimede - balti sõrmkäpp, niidu-asparhernes ja kahkjaspunane sõrmkäpp – leviala.

2.2 Lainetus ja heljumi foon

Rohuküla sadam asub Väinameres ja on avatud edelast ja loodest puhuvatele tuultele. Põhja suunast piirab lainetuse arengut Vormsi saar ja lõunast Väinamere saared. Läänest puhuva tuule korral on võimalik laine jooksupikkus 22 km. Põhjatuulte eest kaitseb Rohuküla sadamat Vormsi saar. Edelast ja lõunast piiravad lainetust Kuivarahu leetselg ja Rukkirahu.

Hiiumaa ja mandri vaheline Väinamere põhjaosa on Läänemerega ühendatud põhja poolt Hari ja Voosi kurgu ja läänest Soela väina kaudu. Hari kurgu kaudu jõuavad Väinamerre loodetuulte poolt genereeritud lained ja Soela väina kaudu läänetuule lained. Voosi kurgu madala sügavuse tõttu ei mõjuta need oluliselt lainekliimat Väinameres.

Heljumi looduslik foon on Väinameres muutlik (Raag 2014). Vastavalt töös välja toodud 2006 – 2011 kuukeskmistele foonikaartidele varieerub heljumi kontsentratsioon vahemikus 3 – 9 g/m³. Osäühing E-Konsult on oma ekspertarvamuses (Töö nr. E1251) välja pakkunud fooniks Rohukülas 5 g/m³. Käesolevas töös on samuti looduslikuks heljumi fooniks võetud 5 g/m³. Arvestama peab, et tugevate tormidega on Väinameres madalamates osades mõõdetud heljumi kontsentratsiooni kuni 24 g/m³. Kuna käesolevas töös hinnatakse halvimat võimalikku olukorda, siis 15 m/s puhuva tuule korral on looduslik foon tõenäoliselt oluliselt kõrgem kui 5 g/m³ ning töös antud hinnangud loodusliku fooni ületamise kohta on pigem konservatiivsed.

Keskkonnamõju seisukohalt on oluline uurida tuuli mille tulemusel heljumi pilv võib liikuda kaitsealuste liikide levikualale. Nendeks tuulteks on loode ja läänetuul. Edelatuule korral tekib valdav hoovus piki rannikut põhja suunas, kus puuduvad kitstavad objektid. Seetõttu on käesolevas töös uuritud tuuli, mis puhuvad loode ja läänesuunalt.

2.3 Süvendatav pinnas

Pinnase andmed pärinevad OÜ Rei Geotehnika tööst nr 2246/1-07 -Rohuküla sadam. Ehitusgeoloogilise uuringu aruanne.

Vastavalt tööle lasub mere põhjas mudane liivakiht paksusega 0,4 – 1,1 m. Selle all on kesktiheda liiva kiht mille paksus on kuni 2,8 m.

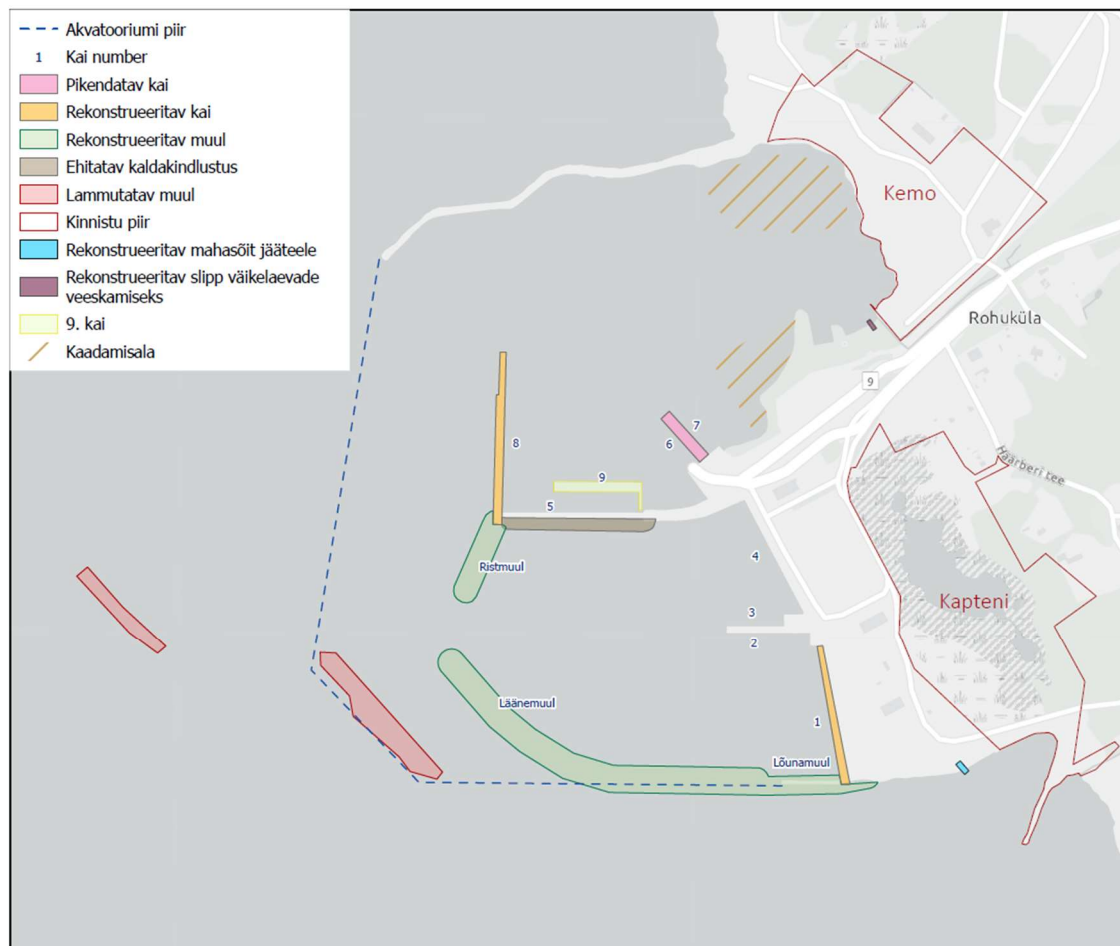
Töös esitati pinnase lõimiskõverad, mille alusel modelleeriti süvendatav ja kaadatav pinnas.

3. Kavandatav tegevus

AS Saarte Liinid kavandab Rohuküla sadama lõunabasseini olemasoleva sadamarajatise (Läänemuul, Lõunamuul ja Ristmuul) rekonstrueerimist Lääne maakonnas Haapsalu linnas Rohukülas Rohuküla sadam 1 maaüksusel (katastritunnus 67401:001:0738) – vt Joonis 1.

Kavandatava tegevuse käigus on teostatud matemaatiline modelleerimine järgmistele tegevustele:

- lõunamuuli rekonstrueerimine, läänemuuli taastamine ja rekonstrueerimine ning ristmuuli rekonstrueerimine, millega kaasneb kuni 180 000 m³ tahkete ainete uputamine merepõhja;
- sadama vee-ala puhastamine vanade muulide jäänustest Joonisel tähistatud punasega. Tulemuses on kasutatud väljendit ida poolne muul vare akvatooriumis oleva vare kohta ning lääne poolne muul vare akvatooriumist väljas oleva vare kohta;
- akvatooriumi süvendamine mahus kuni 210 000 m³;
- süvendatud materjali kaadamine sadama akvatooriumi piires. Välja on pakutud kaks alternatiivset ala. Ala 1 – Kemo kinnistu esine (katastritunnus 67401:002:0881) madal veeala ja ala 2 – 7. kai kõrval asuv ja sadamaparklaga külgnev madal veeala.



Joonis 1 Kavandatav tegevus

4. Matemaatiline modelleerimine

4.1 Tuuleandmed

Lähim Keskkonnaagentuuri mõõtmisjaam Rohuküla sadamala asub Virtsus. Seega on modelleerimise aluseks olevad tuuleandmed pärinevad Virtsu meteoroloogiajaamast. Hinnangu aluseks on mõõtejaama andmed vahemikust 2014-2024. Varasemaid mõõtetulemusi ei ole arvestatud, sest kliima muutumise tõttu ei kirjelda need enam adekvaatselt tuuleolukorda Väinamerel. Kuna uurimise eesmärk on hinnata halvimat võimalikku olukorda, st tuult, mille juures veel süvendajad töötavad (15 m/s), siis tuuleandmete alusel on vaja välja selgitada, kas uuritavast suunas nii tugevat tuult esineb.

Vastavalt andmetele on Virtsu sadamas loodest puhuvaid tuuli umbes 19% kõikidest aasta jooksul puhuvatest tuultest. Läänest puhuvaid tuuli on umbes 23%. Edelast puhuvaid tuuli on umbes 16%. Üle 15 m/s puhuvaid tuuli loodesuunalt on aastas orienteeruvalt 0,2%, läänest umbes 0,13% ja edelast umbes 0,08% kõikidest tuultest. Alla 5 m/s puhuvaid tuuli on loodesuunalt 6,2%, läänest 5,3% ja edelast 4,5%. Seega valdav osa vaadeldavatest tuultest on tuulekiiruste vahemikus 5 – 15 m/s. Kuna modelleerimise eesmärk on uurida halvimat võimalikku olukorda, kasutatakse lainetuse, hoovuste ja settetranspordi modelleerimisel tuulekiirusi 15 m/s.

4.2 Matemaatiline mudel MIKE21

Matemaatiline mudel MIKE 21 on loodud Taani Hüdraulika Instituudis ja on ette nähtud mitmesuguste hüdrodünaamiliste probleemide lahendamiseks. Mudel koosneb moodulitest, mille kasutamine erineb ja on sõltuvuses lahendatava ülesande iseloomust. Vaadeldava ülesande jaoks kasutati kolme moodulit, mille kirjeldused esitatakse allpool.

Kuna töö eesmärk oli uurida kavandatava tegevuse mõju heljumi liikumisele, siis lainetuse ja hoovuse graafikuid töös esitatud ei ole.

4.3 MIKE 21 HD moodul

MIKE 21 moodul HD on kahemõõtmeline vabapinnaga voolamise mudeli süsteem. MIKE HD 21 abil on võimalik hinnata hüdraulilisi ja keskkonna mõjusid arvestavaid probleeme järvedes, jõgede suudmealadel, rannaaladel ja meredes. Programmi võib rakendada kõikjal, kus stratifikatsioonist võib loobuda.

MIKE HD 21 mudelil on lai rakendusala hüdraulikas ja sellega kaasnevate probleemide lahendamisel:

- Tormiga kaasnev veepinna tõus;
- Hoovuste teke;
- Soojus ja retsirkulatsioon;
- Vee kvaliteet.

Hüdrodünaamiline moodul HD on MIKE 21 mudeli põhimoodul. See mudel moodustab hüdrodünaamilise baasi selleks, et kasutada keskkonna mõjusid arvestavat moodulit.

Hüdrodünaamiline moodul simuleerib veepinna muutusi ja voolamist järvedes, jõe suudmealadel ja rannajoone lähedal meres sõltuvalt erinevatest voolamist tekitavatest jõududest. Ülalmainitud jõudude hulka kuuluvad:

- Hõõrdepinge põhjal;
- Tuulest tekkinud hõõrdepinge vabapinnal;
- Baromeetriline rõhugradient;

- Coriolise jõud;
- Liikumishulga dispersioon;
- Alale lisanduvad sisse- ja väljavoolud mudeliga haaratud alalt;
- Aurustumine;
- Üleujutus ja kuivendus;
- Lainetuse radiaalpinged.

4.4 MIKE 21/ 3 PA moodul

MIKE 21 PA moodulit kasutatakse vees oleva heljumi leviku modelleerimiseks järvedes, jõgedes, rannajoonel ja avameres. Modelleerimine arvestada kaasnevaid dispersiooniprotsesse.

Moodul arvestab osakeste juhusliku liikumise võimalust ja osakeste ansamblite liikumist, mis võimaldab loobuda Euleri adveksiooni-difusiooni võrrandi lahendamisest. (DHI, 2005)

Osakesed liiguvad mõlemal juhul advektiivse hoovuse ja turbulentsete pulsatsioonide tulemusena. Advektiivsed kiirused määratakse tavaliselt hüdrodünaamiliste arvutustega, samal ajal kui turbulentsi mõju kontrollivad dispersiooni koefitsiendid. Mudel kirjeldab osakeste käitumist läbi settimiskiiruse, mis on kas konstantne või määratakse pinnaseosakeste suuruse jaotuse kaudu. Võimaldab arvutada ka mitte uppuvate (veest kergema erikaaluga) osakeste liikumist. (DHI, 2005)

Osakeste pilve mass võib praktiliselt muutuda sõltuvalt settimisest ja resuspensioonist. Lisaks sellele võib esineda lineaarne lagunemisprotsess..

Mudel arvutab kontsentratsiooni välja arvestades osakeste arvu igas võrgupunktis. Seejuures määrab arvutusvõrgu tihedus arvutuse välja täpsuse.

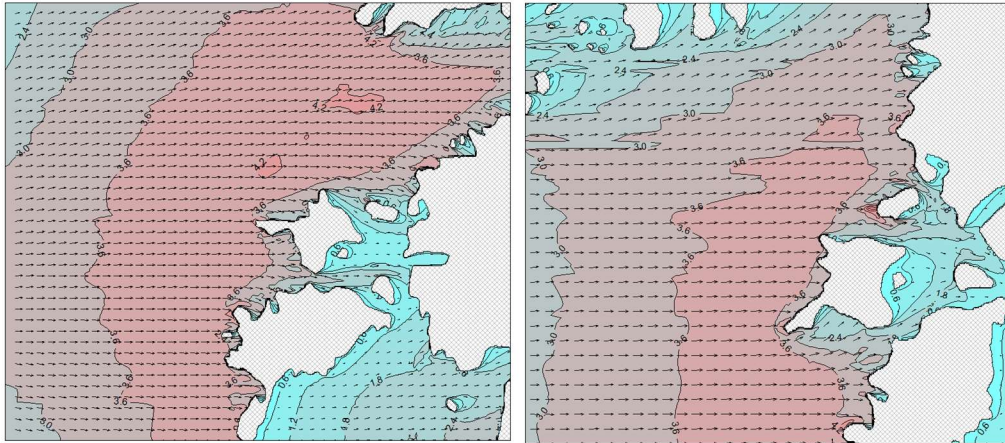
4.5 Seletusi graafikutel esitatud tulemuste kasutamiseks

Numbrilise lahendamise tulemustena on saadud graafikud, millel on esitatud uuritava suuruse - heljumi kontsentratsiooni väljasid. Siinkohal on vajalik arvestada, et graafikutel esitatud arv näidud esinevad ainult lähteandmetena sisestatud arvutusliku tuule korral, kui tormi poolt põhjustatud hüdrodünaamiline situatsioon on välja arenenud. See eeldab seda, et tuul on puhunud ühest suunast sõltuvalt laine jooksupikkusest 3-9 tunni jooksul. Töö lõpus graafilise materjalina esitatud joonistel on kujutatud uuritava suuruse väärtus, mille kohta legend on esitatud joonise serval asuval skaalal. Esitatud heljumi kontsentratsiooni väärtused on esitatud kui väärtused, mis lisanduvad looduslikule foonile. See tähendab, et väga madalad väärtused ei ole looduses loodusliku fooni taustal märgatavad.

5. Matemaatilise modelleerimise tulemused.

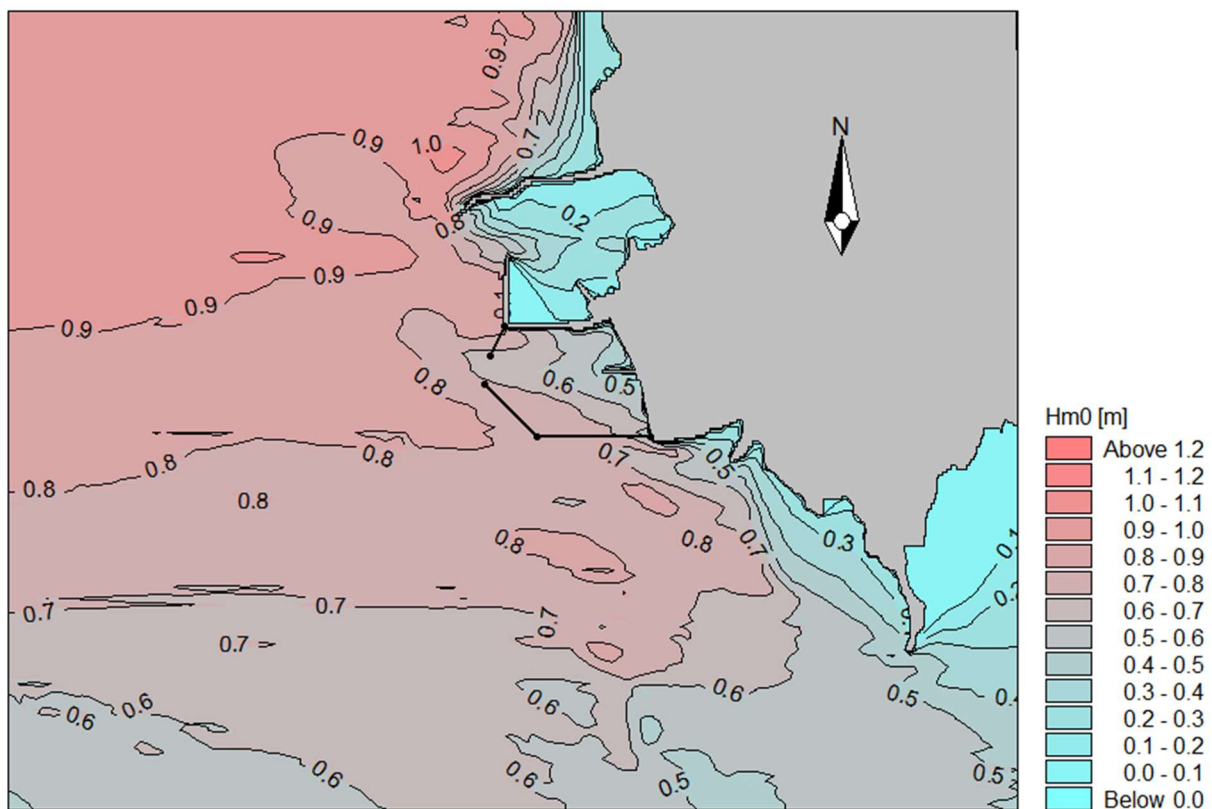
5.1 Lainetuse ja hoovuste väljad

Lainetust modelleeriti kahes etapis. Esmalt modelleeriti lainetus Läänemerel etteantud tingimustel (15 m/s tuuled W ja NW). Loodetuulte mõjul jõuavad läbi Hari kurgu Väinamerre suured lained, mis osaliselt mõjutavad ka lainekliimat Rohuküla sadama esisel veetalal. Läänetuule lained, mis jõuavad Rohuküla sadamani on genereeritud Rohuküla- Heltermaa vahelisel veetalal Joonis 2.



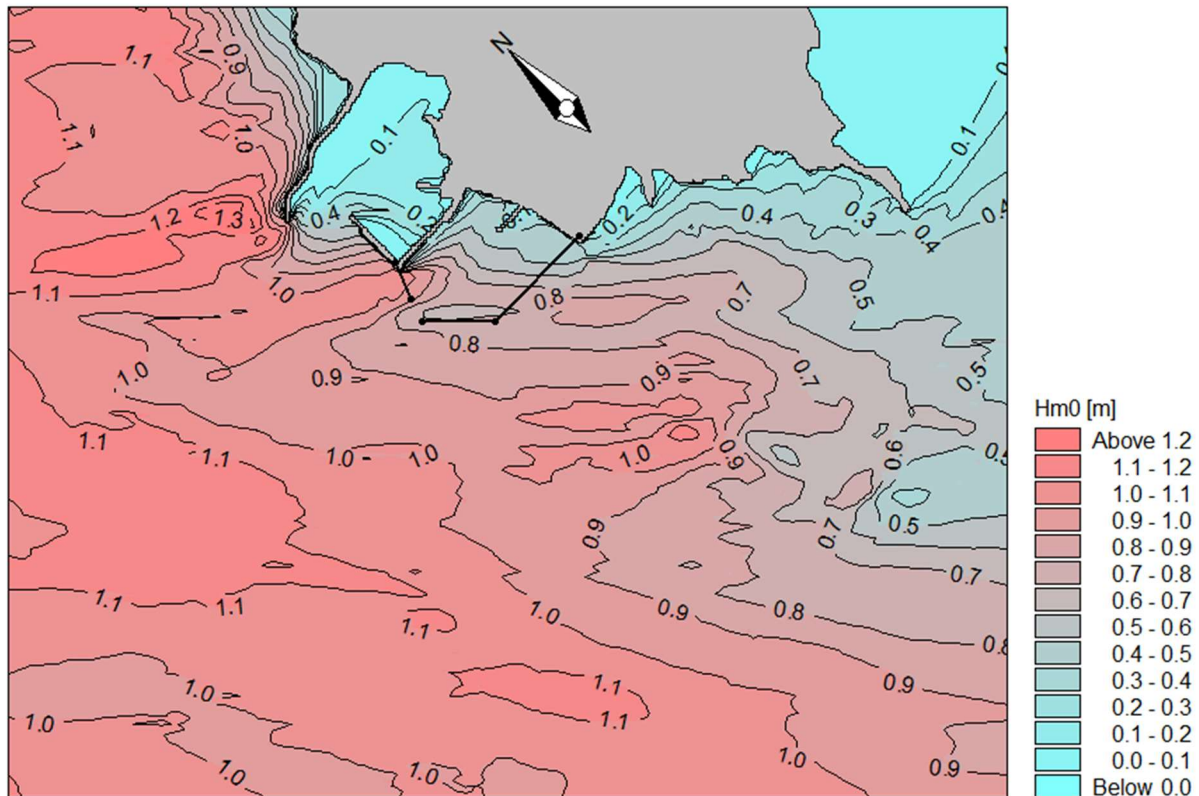
Joonis 2 Olulised lainekõrgused Läänemerel läänetuule (a) ja loodetuule (b) korral. Nooled näitavad laineharjade liikumise suunda.

Teises etapis modelleeriti lainekliimat Rohuküla sadama lähisel. Piiritingimused (laine kõrgus, periood, keskmine laine suund) genereeriti I etapi tulemustest.



Joonis 3 Oluline lainekõrgus Rohuküla sadama lähisel läänetuulega.

Läänetuule korral jõuavad sadama suudmealale lained mille oluline lainekõrgus on kuni 0,9 meetrit. Sadamas sees on oluline lainekõrgus kuni 0,5 m. Kavandatud kaadamisalasid kaitsevad olemasolevad sadama muulid ja neil aladel on oluline lainekõrgus vähem kui 0,2 meetrit. Kavandatud lõunabasseini alale (tähistatud musta joonega) jõuavad lained, mille oluline lainekõrgus on kuni 0,6 meetrit. Lammutatavate muulide kohal jääb läänetuulega oluline lainekõrgus vahemikku 0,8 – 0,9 meetrit.



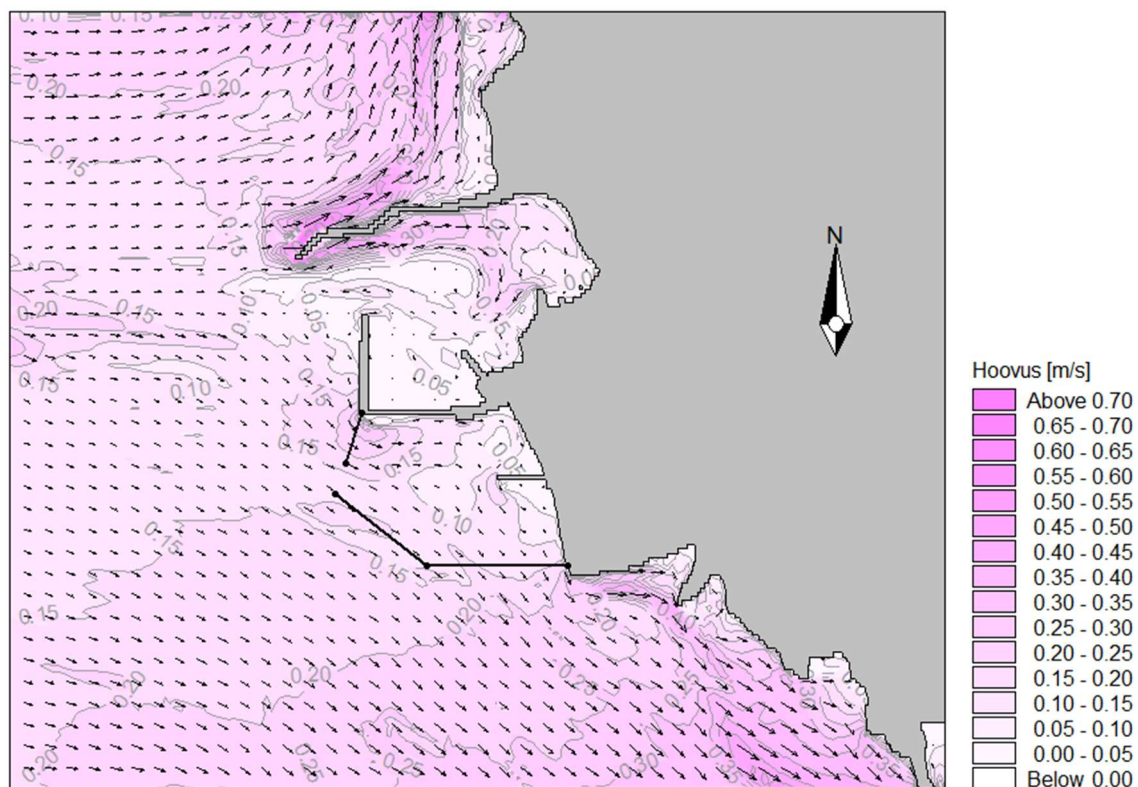
Joonis 4. Oluline lainekõrgus Rohuküla sadama lähistel loodetuulega.

Loodetuule poolt genereeritud lainetele annab jõudu juurde läbi Hari kurgu sisenev lainetus. Sadama suudmealale jõuavad lained mille oluline lainekõrgus on kuni 1,3 meetrit. Suurema lainetuse eest kaitseb olemasolevat akvatooriumi põhjamuul. Sadamas sees on oluline lainekõrgus kuni 0,4 m. Kavandatud kaadamisalasid kaitsevad olemasolevad sadama muulid ja neil aladel on oluline lainekõrgus 0,1 meetrit. Kavandatud lõunabasseini alale (tähistatud musta joonega) jõuavad lained, mille oluline lainekõrgus on kuni 1,0 meetrit. Lammutatavate muulide kohal jääb läänetuulega oluline lainekõrgus vahemikku 0,9 – 1,0 meetrit.

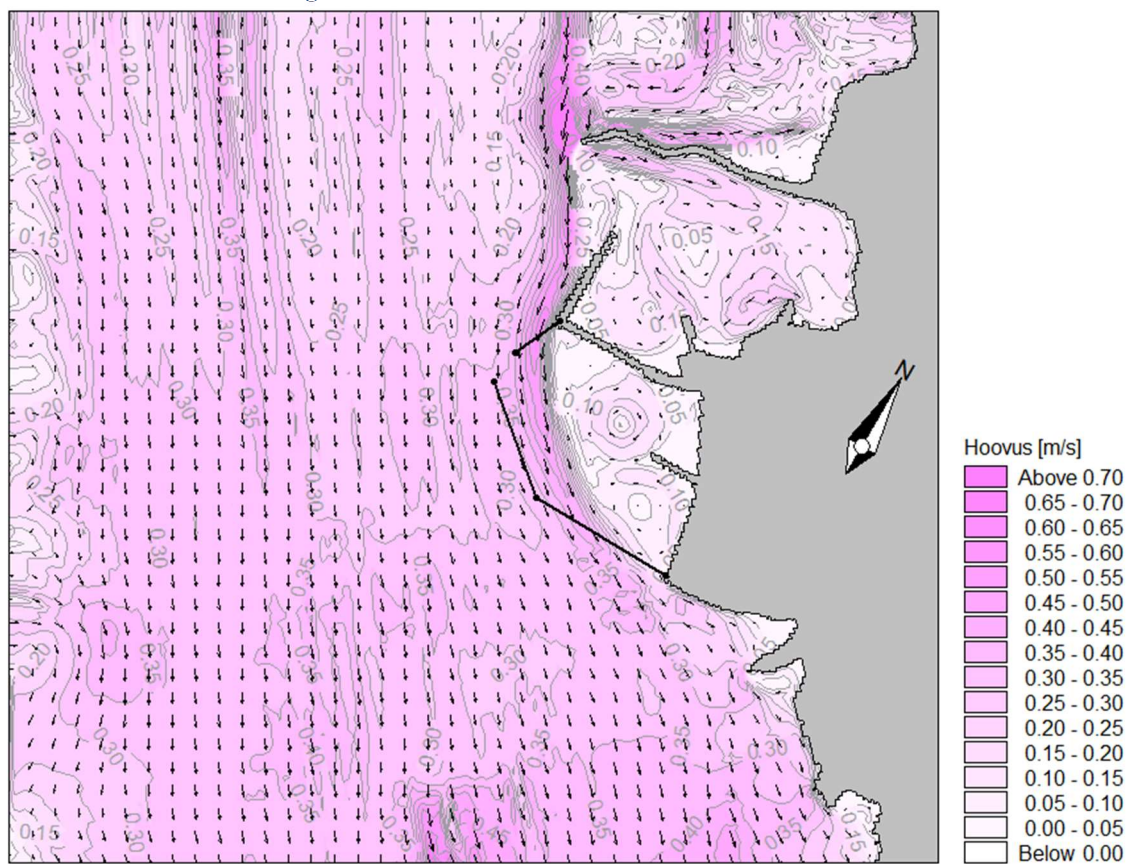
Läänetuule lainetus genereerib Rohuküla sadama lähistel hoovuse, mis on suunatud sadama põhjaküljel piki kallast kirdesse ja lõunaküljel kagusse (Joonis 5). Hoovus siseneb sadama akvatooriumisse piki põhjamuuli sisekülge kiirusega kuni 0,25 m/s ja genereerib sadamas kellaosuti liikumissuunas ringleva liikumise. Kemo kinnistu esisel kaadamisalal on hoovuse kiirus 0,1 - 0,2 m/s, Parkimisplatsi esisel kaadamisalal alal 0,15 m/s.

Lõunabasseini alal on hoovus suunatud ümber 5. ja 8. kai nurga kagusse. Hoovuse kiirus alal on vahemikus 0,1 – 0,15 m/s. Kavandatud muulide asend on hoovuse mõistes hästi valitud, kuna olemasoleva olukorra puhul tekkiv hoovus jälgib läänemuuli suunda. See on tõenäoliselt seerõttu, et läänemuul on kavandatud vana muulivare peale, kus juba hetkel on väiksemad sügavused kui ümbritsevas meres. Selline lahendus tagab, et hüdrodünaamiline pilt ja uhtumise-settimise tasakaal sadama lähistel pärast muulide välja ehitamist oluliselt ei muutu.

Lammutatavate muulivarede alal on hoovuse kiirus kuni 0,15 m/s.



Joonis 5 Hoovused läänetuulega.



Joonis 6 Hoovused loodetuulega

Loodetuule korral on valdav hoovuse suund sadama esisel alal piki rannikut lõunasse. Pikki kallast liikuv veemass kogutakse põhjamuuli taga kokku ja see pöörab ümber muuli otsa lõunasse. Osa veemassist liigub sadamasse. Veemass genereerib Rohuküla sadama akvatooriumis kellaosuti suunas liikuva pöörise. Vesi siseneb akvatooriumisse ümber põhjamuuli otsa ning väljub sadamast ümber 8. kai otsa. Vee liikumise kiirus sadamas on kuni 0,15 m/s.

Kemo kinnistu esisel kaadamisalal on hoovuse kiirus 0,1 - 0,15 m/s, Parkimisplatsi esisel kaadamisalal 0,15 - 0,2 m/s.

Lõunabasseini alal keerab hoovus ümber 5. ja 8. kai nurga suunda SSW. Hoovuse kiirus kavandataivate muulide alal on kuni 0,35 m/s. Lõunasadama basseinis, 3. ja 4. kai vahel tekib pöörise kiirusega 0,15 m/s. Läänemuuli ja ristmuuli rajamisel liigub hoovus veidi läänesuunas ja hakkab voolama piki kavandatud muulide välimist nõlva. Selle nihkumise mõju on tühine ja ei ulatu kaugemale kui lõunamuuli ja 1. kai nurk.

Lammutatavate muulivarede alal on hoovuse kiirus kuni 0,3 m/s.

Hoovuste modelleerimise tulemusi uurides on võimalik hinnata ka hoovuse käitumist pärast uute muulide rajamist. Hetkel on mõlema uuritud tuule korral näha, et hoovust mõjutavaks faktoriks on olemasolev 5. ja 8. kai nurk ja mere põhjal asuvad muulide jäänused. Joonistelt 5 ja 6 on näha, et veemass liigub piki 8. kai väliskülge ja keerab ümber 5. kai nurga suunda SSW. Hoovus liigub praktiliselt piki kavandatud muulide perimeetrit. Kuna kavandatud muulid on projekteeritud olemasolevate varede peale, siis hoovuse põhimass nihkub pärast muulide rajamist veidi lääne suunas ja hakkab liikuma piki uute muulide väliskülge kuni lõuna ja läänemuuli nurgani, kus see eraldub muulidest ja sarnaselt olemasoleva olukorraga hajub ümbritsevasse vette.

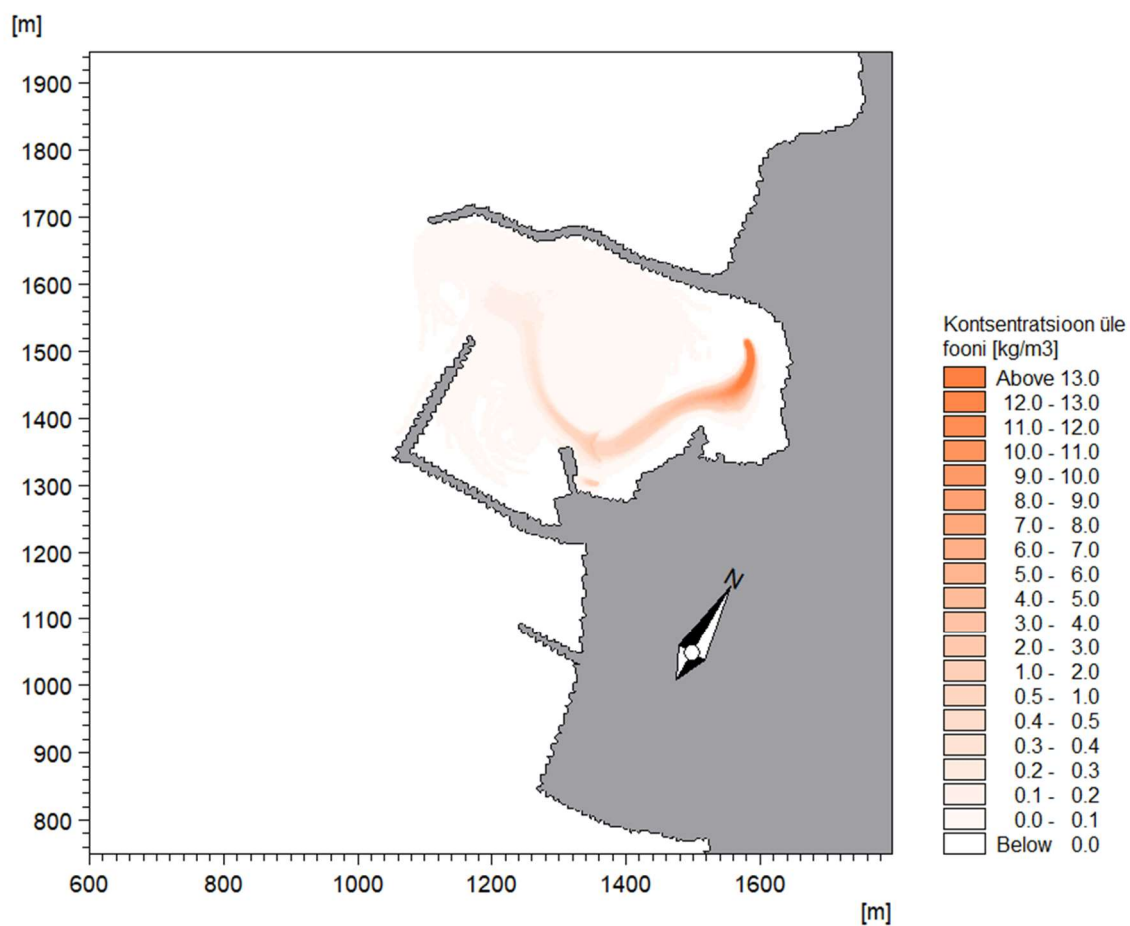
Seega saab eeldada, et uute muulide rajamine ei mõjuta hüdrodünaamilist pilti ega sellest tulenevalt ka uhtumise-settimise tasakaalu Rohuküla sadama lähistel.

5.2 Heljumi levik kaadamisel

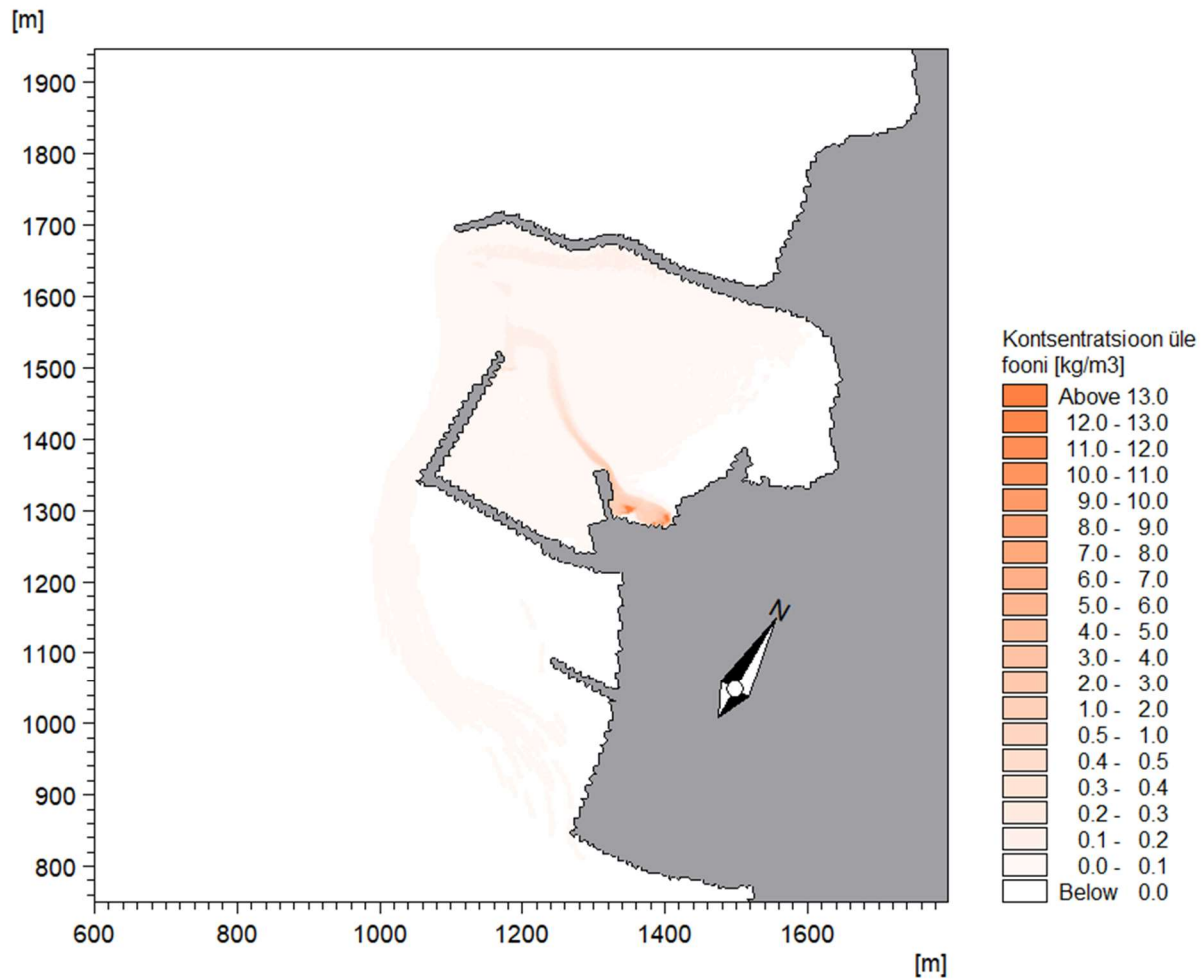
Kaadamist on hinnatud kui pidevat protsessi, mille käigus satub vette süvendatud materjali. Kuna mõlemad kaadamisalad on madalad, siis on tehtud eeldus, et pinnas pumbatakse pargaselt kaadamiskohta.

Loodetuul korral on valdav hoovuse suund sadama esisel alal piki rannikut lõunasse. Hoovus genereerib Rohuküla sadama akvatooriumis kellaosuti suunas liikuva hoovuse. Vesi siseneb akvatooriumisse ümber põhjamuuli otsa ning väljub sadamast ümber 8. kai otsa. Vee liikumise kiirus sadamas on kuni 15 cm/s.

Kaadamisalal 1 (Joonis 7) kaadatud pinnas satub osaliselt heljumisse ja liigub veega kaasa. Samas toimub ainese settimine. Võttes aluseks arvatud kontsentratsioonide väärtused, saab hinnata, et foonist ($0,005 \text{ kg/m}^3$) kõrgema kontsentratsiooniga heljumi laik jääb 15 m/s puhuva loodetuule korral sadama akvatooriumisse. Joonisel näidatud heleoranžil alal on kontsentratsioon madalam, kui looduslik foon ja see ei ole meres nähtav.

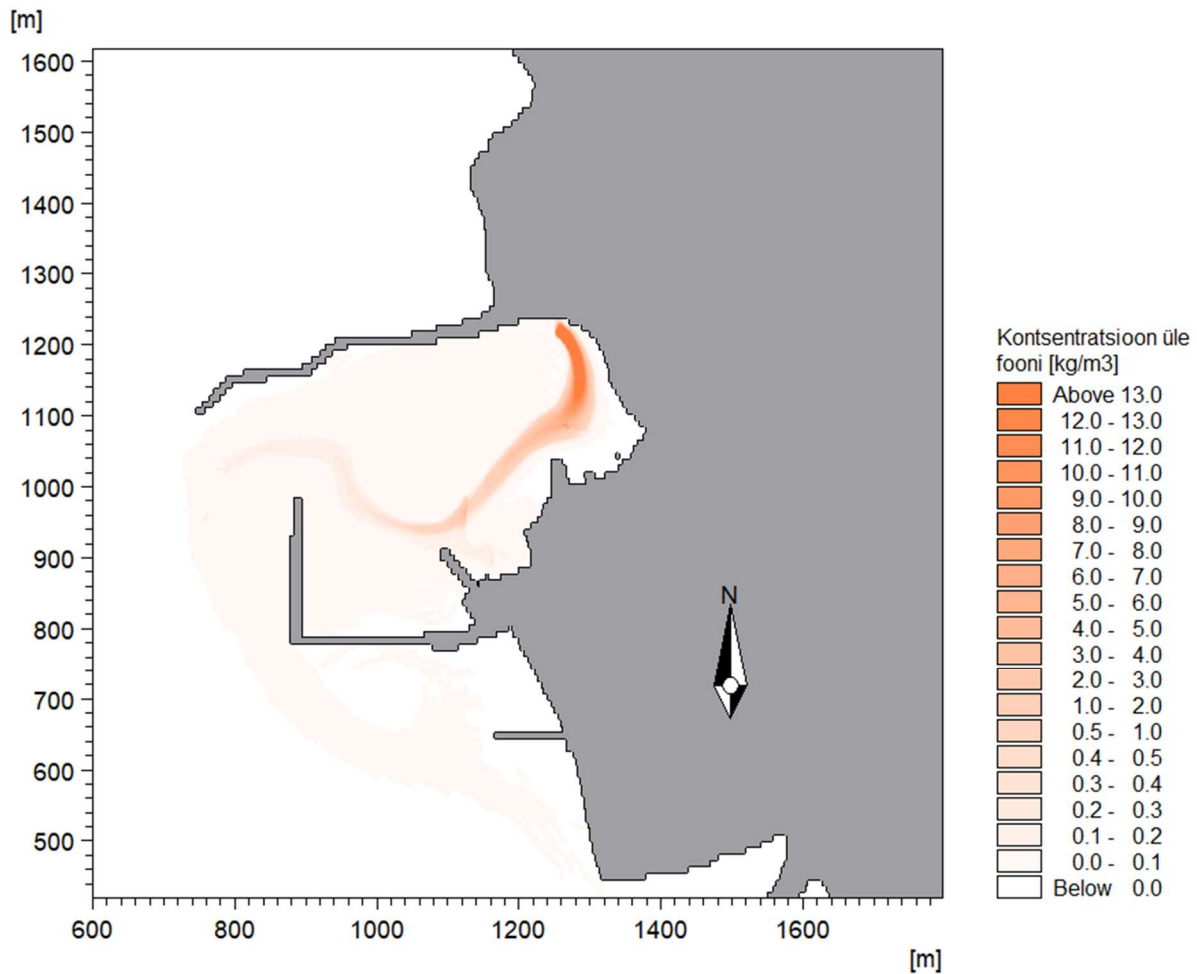


Joonis 7 Kaadamine kaadamisalal nr 1 loodetuulega



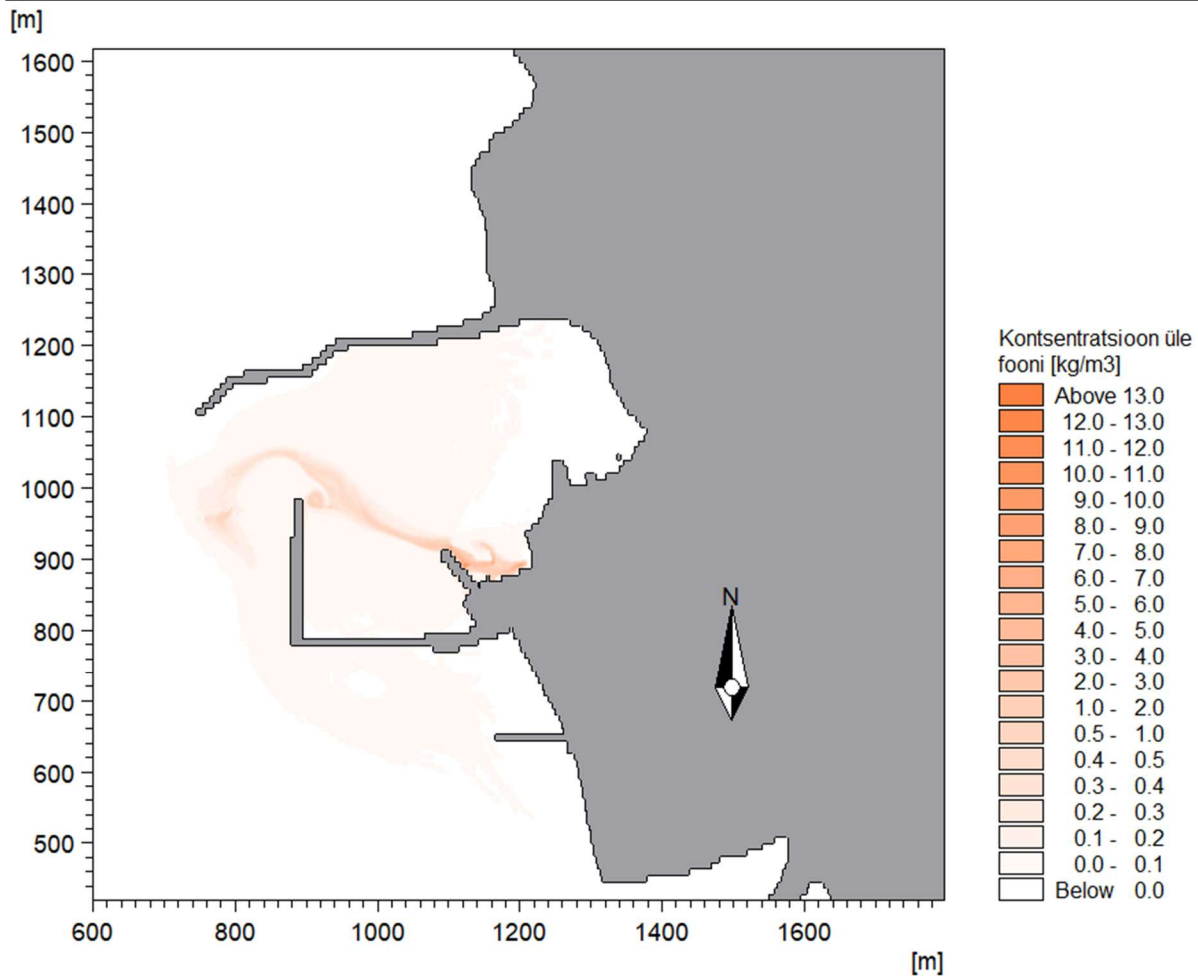
Joonis 8 Kaadamine kaadamisalal 2 loodetuulega.

Kaadamisalal 2 (Joonis 8) kaadatud pinnas satub osaliselt heljumisse ja liigub veega kaasa. Enamus selles settib kaadamisalal, kuid osa liigub 7 kai esisele alale. Võttes aluseks arvatud kontsentratsioonide väärtused, saab hinnata, et looduslikku fooni ületav heljumi laik jääb 15 m/s puhuva loodetuule korral orienteeruvalt 8 kai joonele ja ei välju sadama akvatooriumist. Selleks, et vähendada potentsiaalset sette kandumist 7 kai esisele alale on mõistlik kasutada sette liikumist takistavaid varjasid. Joonisel näidatud heleoranžil alal on kontsentratsioon madalam, kui looduslik foon ja see ei ole meres nähtav.



Joonis 9 Kaadamine kaadamisalal 1 läänetuulega.

Kaadamisalal 1 (Joonis 9) kaadatud pinnas satub osaliselt heljumisse ja liigub veega kaasa. Samas toimub ainese settimine. Vee liikumiskiirus on läänetuule korral sadamaalal suurem ja heljum jõuab loodetuulega võrreldes kaugemale. Võttes aluseks arvatatud kontsentratsioonide väärtused, saab hinnata, et looduslikku fooni ületav kontsentratsiooni laik jääb 15 m/s puhuva läänetuule korral orienteeruvalt 8. kai ja põhjamuuli tipu vahelisele joonele. Joonisel näidatud heleoranžil alal on kontsentratsioon madalam, kui looduslik foon ja see ei ole meres nähtav.

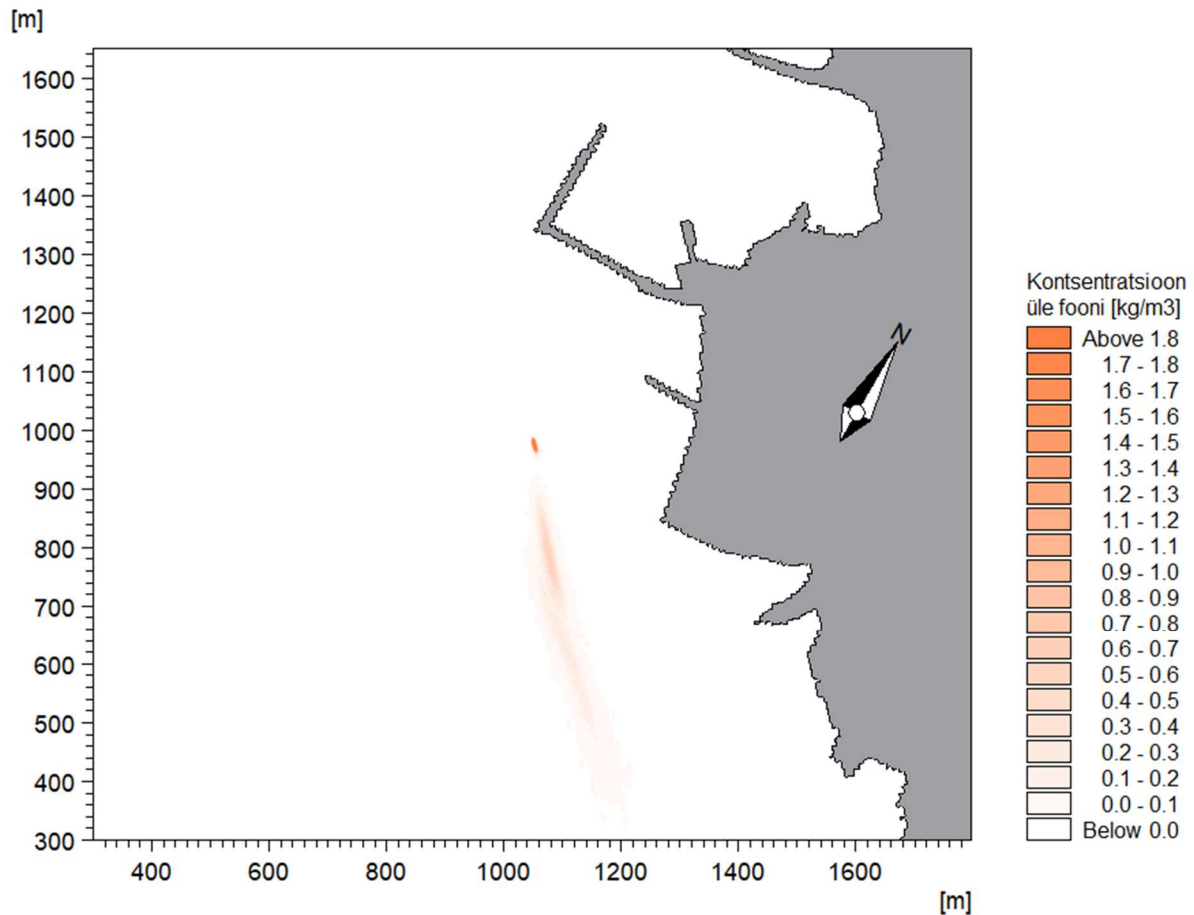


Joonis 10 Kaadamine kaadamisalal 2 läänetuulega.

Kaadamisalal 2 (Joonis 10) kaadatud pinnas satub osaliselt heljumisse ja liigub veega kaasa. Enamus selles settib kaadamisalal, kuid märkimisväärne osa liigub 7 kai esisele alale. Vee liikumiskiirus on läänetuule korral sadamaalal suurem ja heljum jõuab loodetuulega võrreldes kaugemale. Võttes aluseks arvatud kontsentratsioonide väärtused, saab hinnata, et looduslikku fooni ületav kontsentratsiooni laik 15 m/s puhuva läänetuule korral väljub muulide vahel ja on nähtav umbes 100 meetrisel alal sadama suudme ümbruses. Selleks, et vähendada potentsiaalset sette kandumist 7 kai esisele alale on mõistlik kasutada sette liikumist takistavaid varjasid.

5.3 Tahke ainese uputamine muulide rajamisel

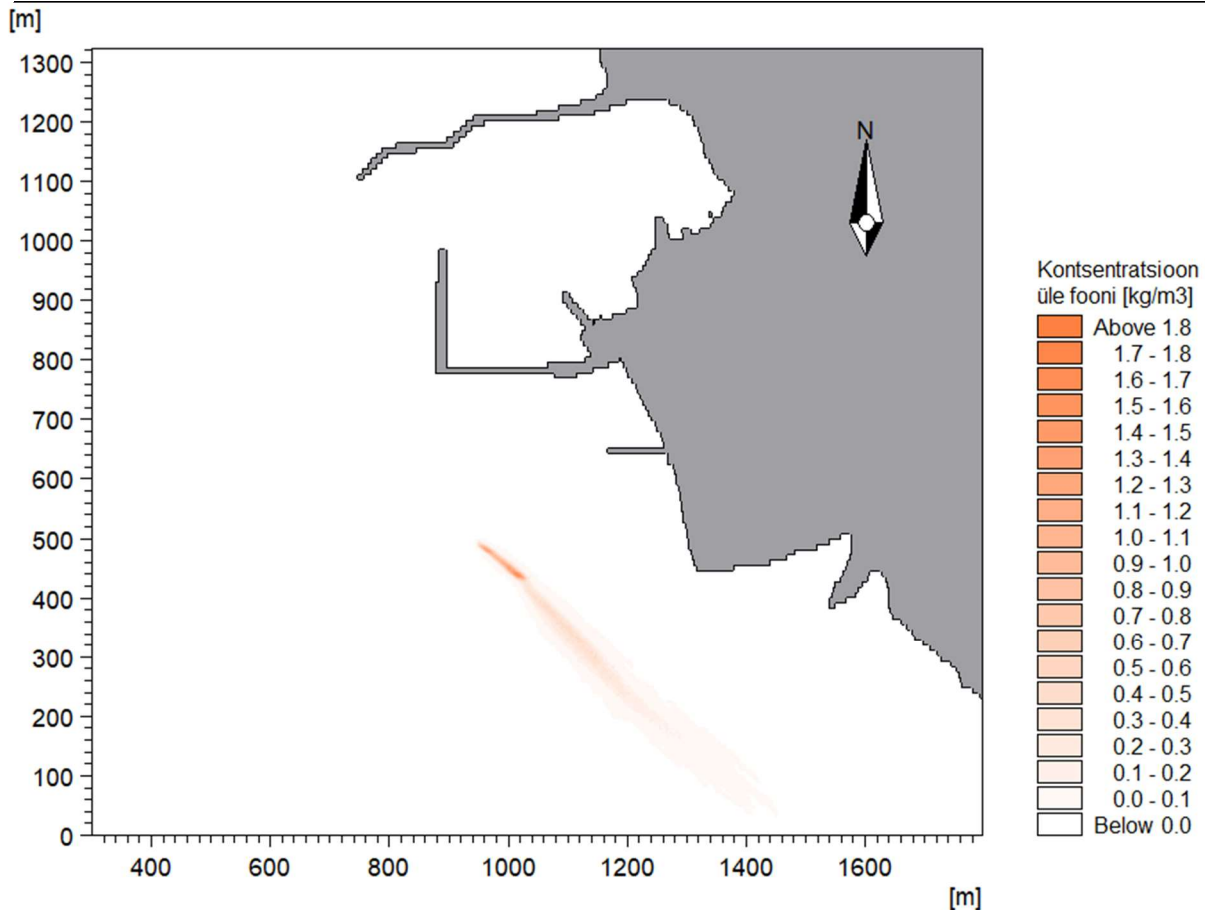
Muuli kehandi rajamine on tsükliline protsess, mis toimub tavapäraselt kallurautodega, mis kallavad koormataie karjäärimurdu merre. Seejärel nad sõidavad piki kehandit töösoonist välja ja teevad ruumi järgmisele autole. Tahke aine uputamist on modelleeritud sarnaselt. Iga 8 minuti tagant uputatakse 20 sekundi jooksul merre 18 m³ paekivist karjäärimurdu. Hinnanguliselt läheb sellest heljumisse 1% ainest.



Joonis 11 Tahke ainese uputamine loodetuulega.

Lõuna ja läänemuuli alal genereerib loodetuul hoovuse mis on suunatud SSW. Hoovuse kiirus on kuni 35 cm/s.

Joonis 11 kirjeldab tahke ainese uputusprotsessi loodetuule korral. Joonisel on näha hetk, kui uus veoautokoorem karjäärimurdu on just vette uputatud. Uputuskohas on kontsentratsioon kõrge – kuni 10 kg/m³. Eelmisest koormast tekkinud heljum on jõudnud hoovusega kagu suunas liikuda ja hajuda nn, et selle keskmes on kontsentratsioon 0,7 kg/m³. Üle-eelmise koorma poolt tekitatud heljumi laik on joonisel tajutav. Selles on kontsentratsioon 0,1-0,2 kg/m³. Selline kontsentratsioon on loodusliku fooni taustal vähesel määral tajutav. Seega tahke ainese uputamisel ulatub looduslikku fooni ületav kontsentratsiooni laik orienteerivalt 300 m kaugusele uputuskohast.



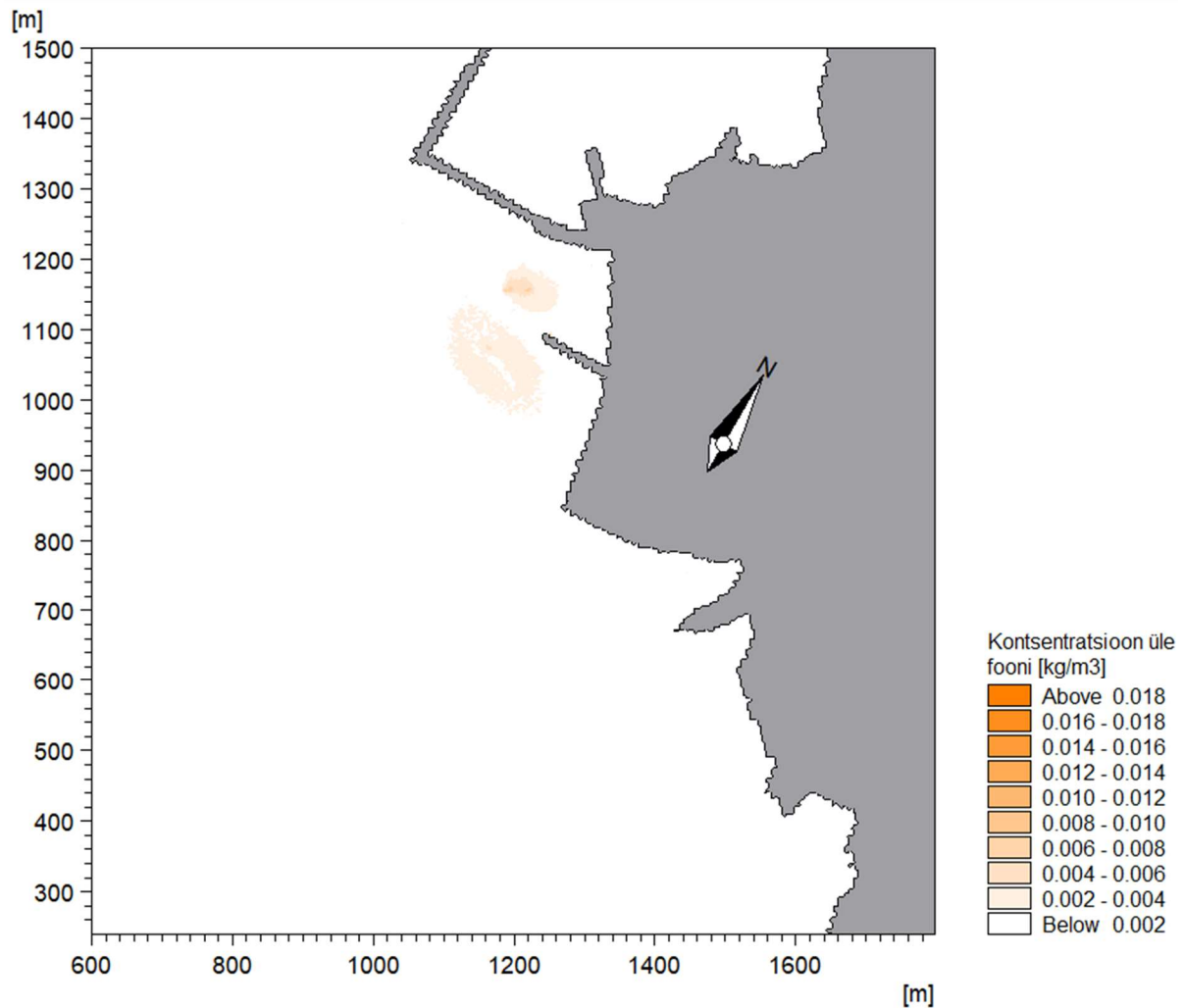
Joonis 12 Tahke ainese uputamine läänetuule korral.

Lõuna ja läänemuuli alal genereerib läänetuul hoovuse mis on suunatud kagusse. Hoovuse kiirus on kuni 20 cm/s.

Joonis 12 kirjeldab tahke ainese uputusprotsessi läänetuule korral. Joonisel märgatavad kahe tsükli laigud. Esimeses on kontsentratsioon kuni $1,7 \text{ kg/m}^3$ ja teine, varem vette jõudnud materjalikogus, mille keskmis on kontsentratsioon $0,8 \text{ kg/m}^3$. Kuna vee voolamise kiirus läänetuule korral on alal suurem, siis ulatub tahke ainese uputamisel looduslikku fooni ületav kontsentratsiooni laik orienteerivalt 500 m kaugusele uputuskohast.

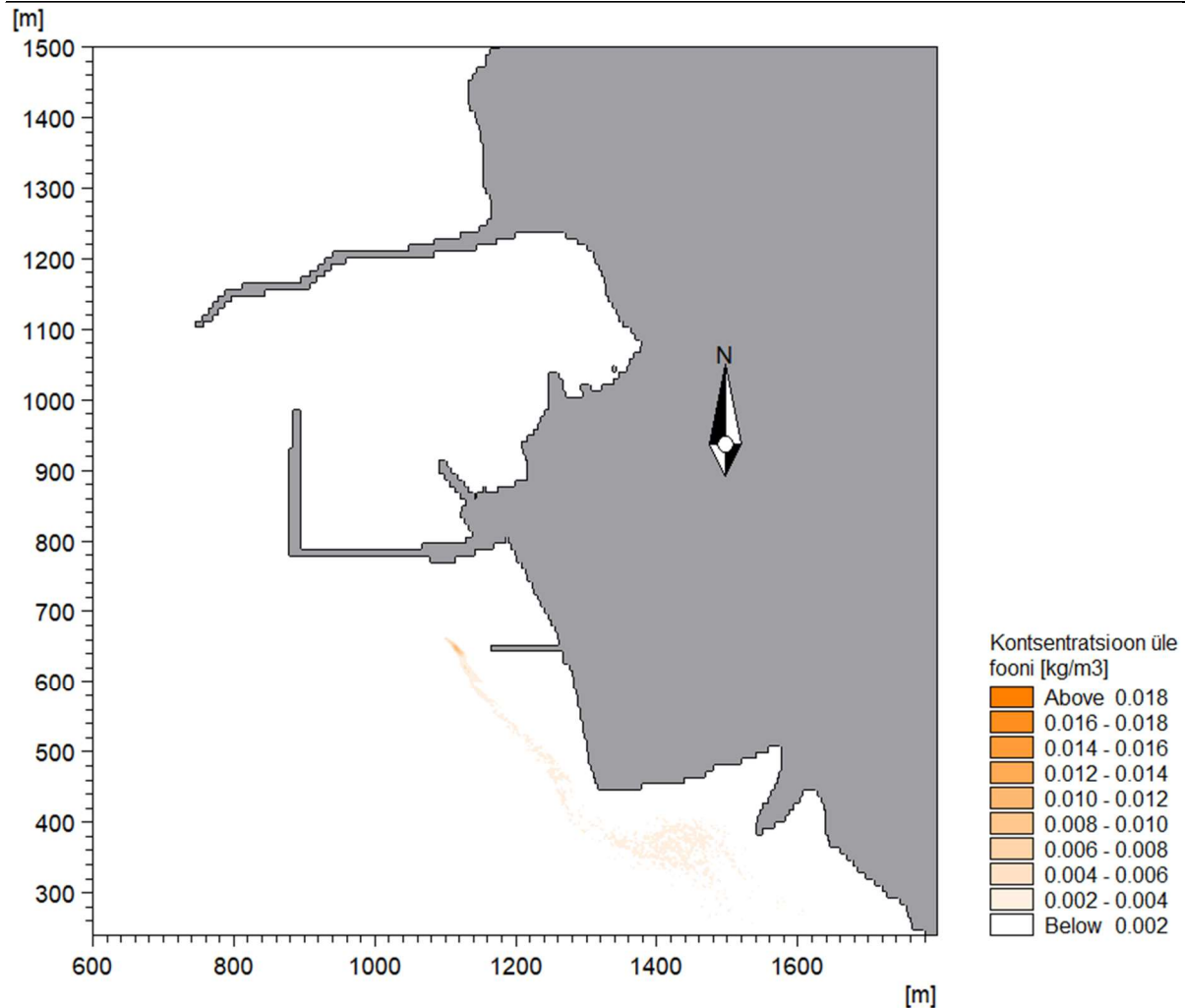
5.4 Süvendamine 1 – 4 kaide esisel alal

Mere põhja süvendamine on tsükliline protsess, mis toimub koppekskavaatoriga, mis ammutab mere põhjast materjali ning tõstab selle pargasele. Käesolevas töös on modelleeritud 3 minutit kestvat kopa tõstetsükli, millest materjali tõste kestab 1 minut. Kopa mahtuvuseks on valitud 10 m^3 ja eeldatud on, et 5% materjalist läheb tõstetsükli (1 minut) jooksul heljumisse.



Joonis 13 Stüvendamine akvatooriumis loodetuulega.

Loodetuulega tekib 1 – 4 kaide esisel alal pööris, mis hoiab vett ringluses 3 ja 4 kai esisel alal. Vee voolamise kiirus pöörises on 5-10 cm/s. Heljumisse pääseva materjali kogus on madal, mistõttu kontsentratsioonid jäävad madalaks ning heljumi pilv praktiliselt ei eristu ümbritsevast foonist.



Joonis 14 Süvendamine akvatooriumis läänetuulega.

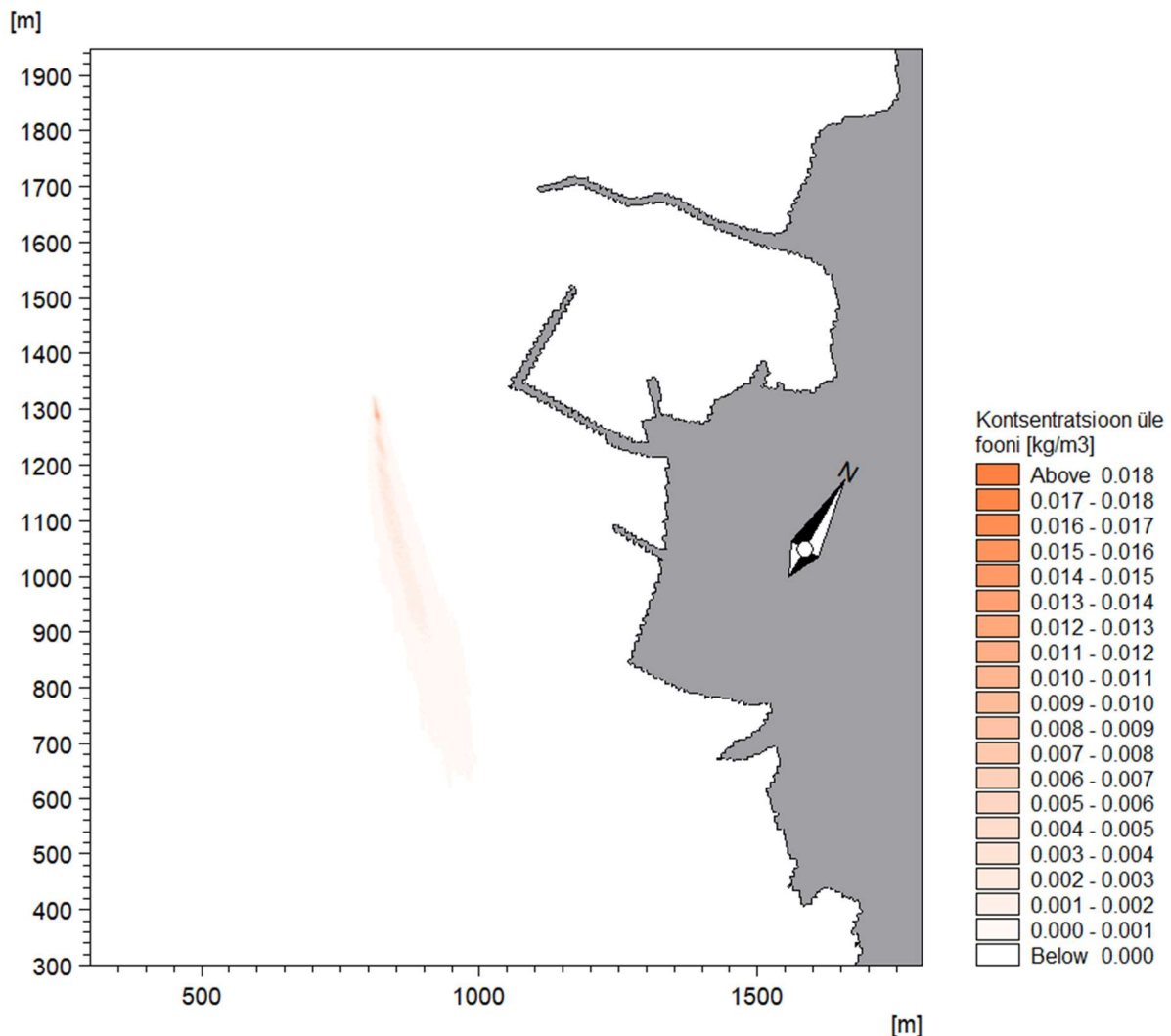
Läänetuule korral liigub hoovus ümber 8 kai nurga ja sealt otse kagusse. Loodetuule korral tekkinud pööris ei formeeru. Vee voolamise kiirus hoovuses on 10-15 cm/s. Sellest tulenevalt kantakse vähene heljum, mis kopa tööst tekib vooluga kaasa loodesuunas. Heljumit tekib vähe ja kontsentratsioonid on foonilähedased. Looduslikku fooni ületav kontsentratsiooni ala ulatub 50 meetri kaugusele tööde tsoonist.

Käesoleval juhul on modelleeritud süvendusprotsessi kopsüvendajaga, mis on süvendustöö mõistes parim võimalik tehnoloogia. Tehniliselt on võimalik, et sadama alal lasuvat savikat liivapinnast saaks süvendada ka pumpamise teel. Sellisel juhul on heljumisse sattuva pinnase kogus kümneid kordi suurem ja sellist lahendust võib kasutada ainult siis, kui eelnevalt on kavandatud muulid valimis ehitatud.

5.5 Heljum muulivarede eemaldamisel

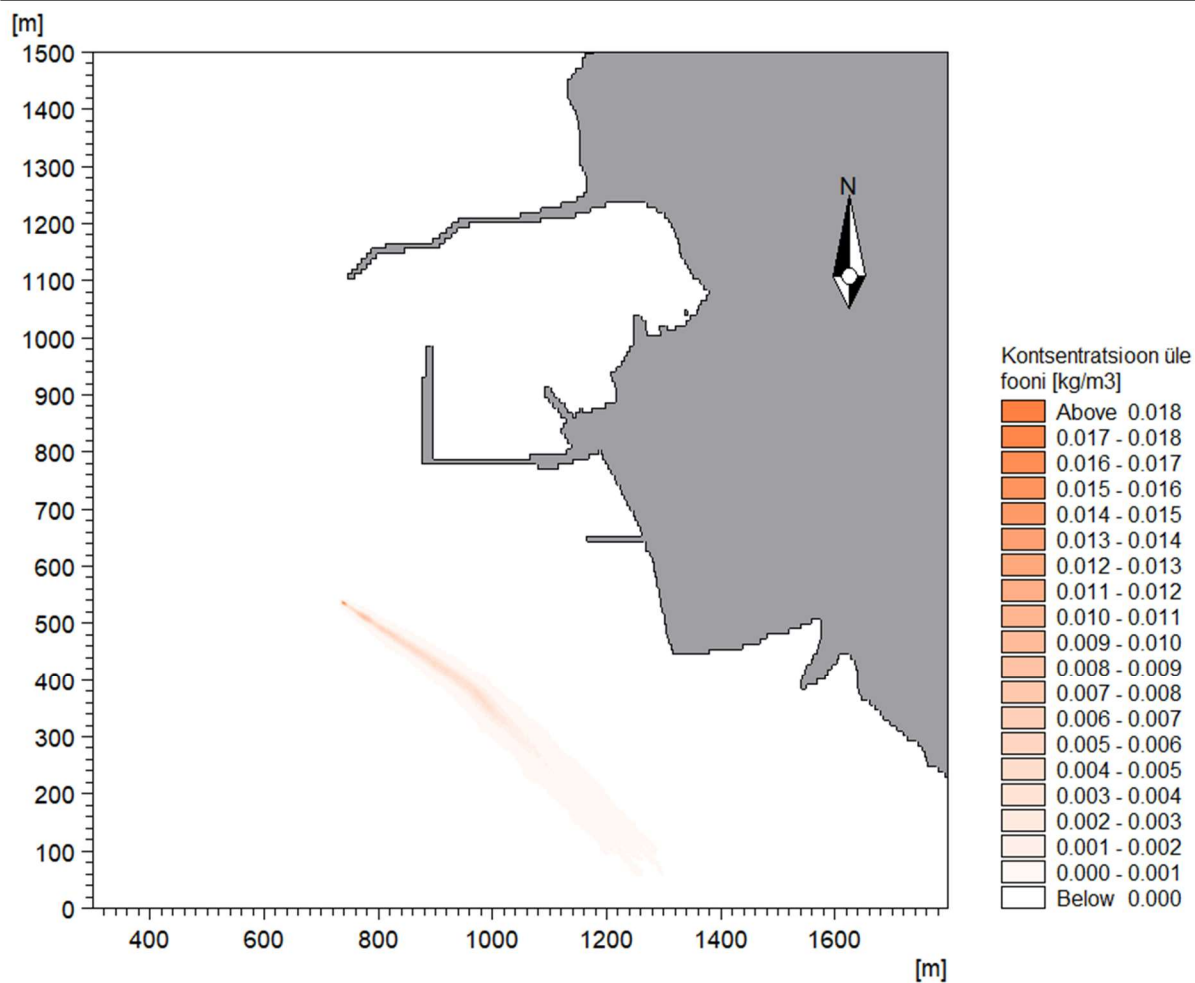
Sarnaselt mere põhja süvendamisele on muulivarede lammutamine tsükliline protsess, mis toimub koppekskavaatoriga, mis ammutab mere põhjast materjali ning tõstab selle pargasele. Kuna lammutamise käigus (enne projektsügavuse saavutamist) ei pea täpselt jälgima kopa paigutust merepõhjal on lammutamisel töötsükli pikkust vähendatud. Töös on modelleeritud 2 minutit kestvat kopa tõstetsükli, millest materjali tõste kestab 1 minut. Kopa mahtuvuseks on valitud 10 m³ ja eeldatud on, et 5% materjalist läheb tõstetsükli (1 minut) jooksul heljumisse.

Loodetuule korral on valdav hoovuse suund sadama esisel alal piki rannikut lõunasse. Vee liikumise kiirus varede alal on 15 m/s puhuva loodetuule korral 30 cm/s. Läänetuul genereerib Rohuküla sadama lähistel hoovuse, mis on suunatud sadama põhjaküljel piki kallast kirdesse ja lõunaküljel kagusse. Vee liikumise kiirus varede alal on 15 m/s puhuva läänetuule korral 10-20 cm/s.



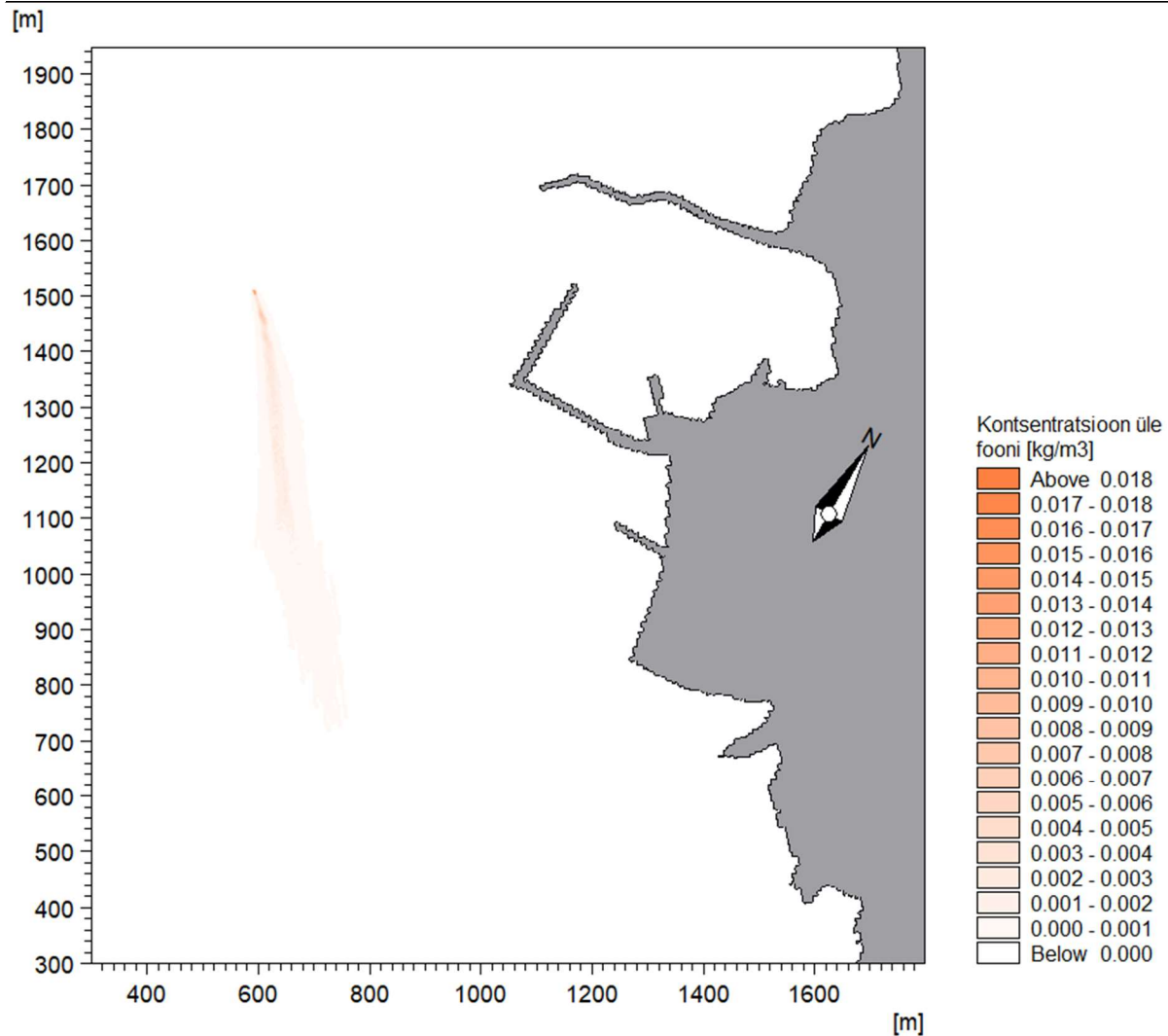
Joonis 15 Ida poolse muulivare lammutamine loodetuulega.

Joonisel 15 on lammutamisel tekkiv heljumilaik ida poolse muulivare lammutamisel loodetuule korral. Joonise kontsentratsiooniväärtuste uurimisel selgub, et foonist märkimisväärselt erinev heljumi kogus vees on ainult väga lähedal tööfrondile. 150 meetrit kaevetöödest eemal on heljumi kontsentratsioon jõudnud loodusliku fooni tasemini $0,005 \text{ kg/m}^3$.



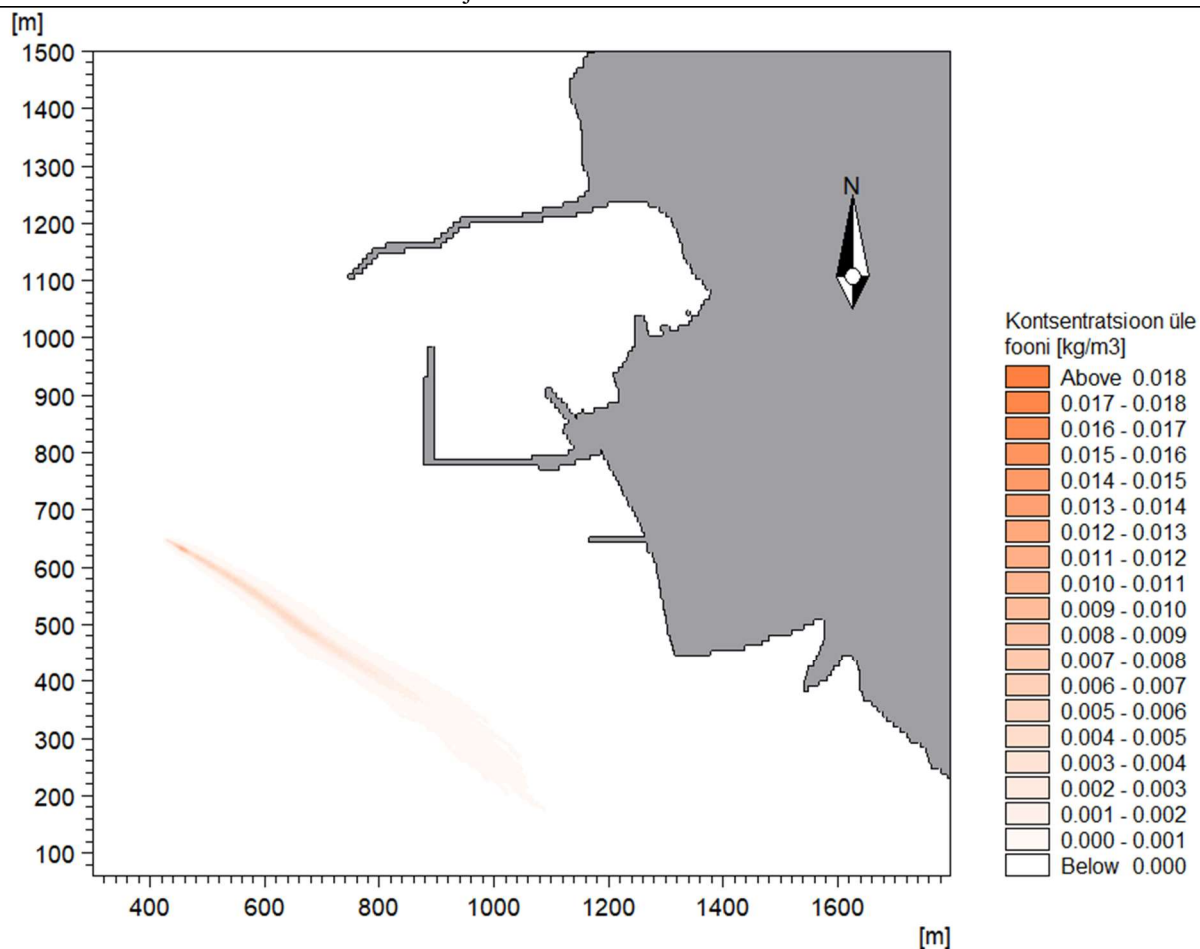
Joonis 16 Ida poolse muuli vare lammutamine läänetuulega

Joonisel 16 on lammutamisel tekkiv heljumilaik ida poolse muulivare lammutamisel läänetuule korral. Heljumisse sattuv materjali kogus liigub koos hoovusega kagusuunas ja settib ning hajub. 250 meetrit kaevetöödest eemal on heljumi kontsentratsioon alla $0,005 \text{ kg/m}^3$.



Joonis 17 Lääne poolse muulivarre lammutamine loodetuulega

Joonisel 17 on lammutamisel tekkiv heljumilaik lääne poolse muulivare lammutamisel loodetuule korral. Heljumisse sattuv materjali kogus liigub koos hoovusega lõunasse settib ning hajub. 200 meetrit kaevetöödest eemal on heljumi kontsentratsioon alla 0,005 kg/m³.



Joonis 18 Lääne poolse muulivarre lammutamine lääneuulega

Joonisel 18 on lammutamisel tekkiv heljumilaik lääne poolse muulivare lammutamisel läänetuule korral. Heljumisse sattuv materjali kogus liigub koos hoovusega kagusse settib ning hajub. 350 meetrit kaevetöödest eemal on heljumi kontsentratsioon alla 0,005 kg/m³.

6. Kokkuvõte

1. 15 m/s puhuva läänetuule korral jõuavad sadama suudmealale lained mille oluline lainekõrgus on 0,9 meetrit, loodetuule korral on maksimaalne oluline lainekõrgus 1,3 meetrit.
2. Sadama akvatooriumi sisestel kaadamisladel on oluline lainekõrgus 0,1 – 0,2 meetrit
3. Lõunabasseini ja lammutatavate muulide alal on oluline lainekõrgus 0,6 – 1,0 meetrit.
4. Kavandatud kaadamisladel jääb hoovuse kiirus madalaks: 0,1– 0,2 m/s.
5. Lõunabasseini alal on 15 m/s puhuva läänetuule korral hoovuse kiirus 0,1 – 0,15 m/s.
6. Lõunabasseini alal on 15 m/s puhuva loodetuule korral hoovuse kiirus kuni 0,35 m/s. 3. ja 4. kai vahel tekib pööris kiirusega 0,15 m/s.
7. Kavandatud muulide rajamine ei mõjuta hüdrodünaamilist pilti ega uhtumise-settimise tasakaalu Rohuküla sadama lähistel.
8. Loodetuule korral jääb heljumilaik mõlema kaadamiskoha korral sadama akvatooriumi piiridesse.
9. Läänetuule korral on vee liikumiskiirus sadamaalal suurem ja heljumi laik jõuab sadama suudmealal. Tahke ainese kontsentratsioon on looduslikust foonist kõrgem orienteeruvalt 100 meetri ületusel põhjamuuli ja 8. kai vahelisel alal. Põhjamuuli tagant hajub laik ümbritsevasse.
10. Alal 2 on oht, et sinna kaadamine võib põhjustada settimist 7. kai esisel. Selleks, et vähendada potentsiaalset sette kandumist 7 kai esisele alale on mõistlik kasutada sette liikumist takistavaid varjasid või rajada enne kaadamist ala ümber kaitsetamm.
11. Loodetuule korral ulatub muulide rajamise kohas tahke ainese uputamisel nähtav heljumi laik orienteerivalt 300 m kaugusele uputuskohast.
12. Muulide rajamise kohas on hoovuse kiirus läänetuule korral suurem kui loodetuule puhul ning tahke ainese uputamisel nähtav heljumi laik orienteerivalt 500 m kaugusele uputuskohast.
13. Koppsüvendajaga süvendamisel ei teki süvendustöödest heljumi ohtu. Juhul kui soovitakse kasutada pumpsüvendajat, tuleb enne süvendustöid kavandatud muulid valmis ehitada.
14. Muulivarede eemaldamisel ei teki olulist heljumi kontsentratsiooni tõusu Rohuküla sadama ümbruses. Töö tsüklilisust arvestada jäävad heljumi kontsentratsioonid madalaks ka töötsooni vahetus läheduses. Oodatav looduslikust foonist kõrgema heljumi pilve suurus jääb vahemikku 100 - 300 meetrit.

Kasutatud kirjanduse loetelu

DHI, 2001. *DHI Software User Guide MIKE 21 Coastal Hydraulics and Oceanography*. Kopenhagen: DHI Water and Environment.

DHI, 2005. *MIKE 21 & MIKE 3 Particle/Spill Analysis*. Kopenhagen: DHI Water & Environment.

DHI, 2014. *DHI Software User Guide MIKE 21 Wave Modelling, volume 2, Mike 211 Nearshore*. s.l.:HKH.

Kabling, M. B., 2010. *Calibration and Verification of MIKE 21 Modul for Evaluating Shoreline*. Kopenhagen: International Mike by DHI.

Raag, L., 2014. *Süvendustööde mõju heljumi kontsentratsiooni ruumilisele jaotusele, hinnatuna kaugseire andmetest*, Magistritöö, Tallinna Tehnikaülikool, Matemaatika-loodusteaduskond, Meresüsteemide Instituut

Osaühing E-KONSULT, 2012, *Eksperthinnang Rohuküla sadama rekonstrueerimise keskkonnamõjude kohta*, Töö nr. E1251