Paldiski pump-hüdroakumulatsioonijaama veevõtu ja väljalasu hüdrodünaamiliste analüüs

Tellija: Skepast&Puhkim OÜ
Laki 34, 12915 Tallinn
Telefon +372 53 423 684
e-post: hendrik.puhkim@skpk.ee
Hendrik Puhkim

Projekteerija: OÜ CORSON
Reg. Nr. 10006729
Laki 14a-704, 10621 Tallinn
Tel. 670 1009
e-post: corson@corson.ee

Ehitise aadress: S. Julaevi tee 4 esine mereala, Paldiski linn
Töö nr.: 2002

Köide /Köiteid: I/ I

Köite nimetus: Paldiski pump-hüdroakumulatsioonijaama veevõtu ja väljalasu hüdrodünaamiliste analüüs

Seletuskiri ja joonised

Versioon: 2

Köite koostaja: OÜ CORSON

Tallinn 2020

Sisukord

1. Lähteülesanne 3
1.1 Eesmärk 3
1.2 Lähtematerjalid 3
2. Olemasolev olukord 3
2.1 Lainetus ja hoovused Pakri lahes 3
2.2 Looduslik heljum 4
3. Matemaatiline modelleerimine 5
3.1 Tuuleandmed 5
3.2 Matemaatiline mudel MIKE21 5
3.3 MIKE 21 NSW moodul 5
3.4 MIKE 21 HD moodul 6
3.5 MIKE 21 ST moodul 6
3.6 MIKE 21/ 3 Particle Analysis moodul 7
3.7 Seletusi graafikutel esitatud tulemuste kasutamiseks 7
4. Matemaatilise modelleerimise tulemused. 7
4.1 Lainetuse väljad 7
4.2 Hoovuste väljad 8
4.2.1 Hoovuste väljad loodetuulega, tuule kiirus 10m/s, vee väljavise 8
4.2.2 Hoovuste väljad loodetuulega, tuule kiirus 10m/s, veevõtt. 9
4.2.3 Hoovuste väljad loodetuulega, tuule kiirus 26 m/s, vee väljavise 9
4.2.4 Hoovuste väljad loodetuulega, tuule kiirus 26 m/s, veevõtt 10
4.2.5 Hoovuste väljad lõunatuulega, tuule kiirus 10m/s, vee väljavise 11
4.2.6 Hoovuste väljad lõunatuulega, tuule kiirus 10m/s, veevõtt 12
4.2.7 Hoovuste väljad lõunatuulega, tuule kiirus 24 m/s, vee väljavise 13
4.2.8 Hoovuste väljad lõunatuulega, tuule kiirus 24 m/s, veevõtt 13
4.3 Veehaardesse imetud heljumi levik väljapumpamisel 14
4.3.1 Heljumi levik loodetuulega, tuule kiirus 10 m/s 14
4.3.2 Heljumi levik loodetuulega, tuule kiirus 26 m/s 16
4.3.3 Heljumi levik lõunatuulega, tuule kiirus 10 m/s 16
4.3.4 Heljumi levik lõunatuulega, tuule kiirus 24 m/s 17
4.4 Sette liikumine PHAJ suudmealal 17
5. Järeldused 18

1. Lähteülesanne

1.1 Eesmärk

Käesoleva töö eesmärk on hinnata Paldiski pump-hüdroakumulatsioonijaama (edaspidi: PHAJ) töötsükli mõju mere hüdrodünaamiliste protsessidele matemaatilise modelleerimise kaudu.

Uuritav lahendus baseerub Fitchner GmbH & Co. tööl 8890P01 Paldiski PHES, preliminary design.

Töö käigus on modelleeritud veevõtu ja -heite mõju ja selle ulatus merevee protsessidele ja veevõtu ja-heite mõju ja selle ulatus heljumi liikumisele. Lisaks on kontrollitud setete liikumist veevõtu olukorras PHAJ suudme kinni uhtumise seisukohalt.

Töö käigus on modelleeritud hoovused ja heljumi liikumine kahe tuule suuna (loode ja lõuna) tormi ja tavaolukorra korral. Tavaolukorraks on defineeritud tuulekiirus 10m/s. Selliste tuulete esinemise tõenäosus sellelt suunalt aasta jooksul on üle 5%. Madalamate tuulekiiruste korral ei teki Pakri lahes arvestatavat lainetust ega hoovust ja suurmaid tuulekiirusi arvestab tormituul.

1.2 Lähtematerjalid

- Eesti Geoloogiakeskus 2017 töö Paldiski lahe pumphüdroakumulatsioonijaama veehaarderajatise kunstsaare aluse geoloogiliste tingimuste uuring;
- Fitchner GmbH & Co. töö 8890P01, Paldiski PHES, preliminary design.;
- Eesti veeteede atlase kaardimaterjal;
- Veeteede Ameti poolt edastatud hüdrograafilised mõõdistused.
- Riigi Ilmateenistuse poolt edastatud Pakri meteoroloogiajaama tuuleandmed

2. Olemasolev olukord

2.1 Lainetus ja hoovused Pakri lahes

Pakri laht on Läänemerega ühendatud lõuna poolt Kurkse väina kaudu ja põhjast on see otse avatud Soome lahe lääneossa. Kurkse väina madala sügavuse tõttu ei levi sealt erilist lainetust Pakri lahte, mistõttu on lainetuse kujunemisel määravaks Soome lahe lainetus ja sealt kaudu lahte puhuvad tuuled.

Paldiski Põhjasadamast loodesse jääv ala on seega suhteliselt hästi kaitstud lõuna- ja läänekaartest puhuvate tuulte tekitatud lainetuse eest. Laine jooksupikkus ehk vahemaa mille jooksul saab lainetus vaba vee puhul areneda, on Pakri lahe sees suhteliselt väike. Uuritava ala jaoks piirab läänekaartest jooksupikkust Väike-Pakri saar. Selle tulemusel on läänesuunal laine jooksupikkuseks umbes kolm kilomeetrit. Lõunakaare tuulte puhul on Pakri lahel laine jooksupikkus maksimaalselt seitse kilomeetrit. Kuna sellest pea kolm kilomeetrit on madalatel aladel, ei saa ka sellest suunast suure amplituudiga lainetust tekkida. Ida- ja kirdetuultega Pakri lahes lainetust praktiliselt ei teki, kuna nende tuulte eest varjab lahte Pakri poolsaar.

Põhjatuulte eest kaitsevad kavandatava tehissaare ala osaliselt Pakri poolsaare põhjatipp ja rannik. Loodetuulte poolt genereeritud lainetus saab aga otse Pakri lahte siseneda. Sellelt suunalt on lainetuse tekkimiseks vajalikku vaba vett üle saja kilomeetri, mistõttu on see suund lainetuse hindamise seisukohalt kõige olulisem.

Eelnevate Pakri lahes läbi viidud uuringute alusel (Osaühing Corson töö 1204 „Paldiski Lõunasadama akvatooriumi ja sissesõidutee süvendustööde keskkonnamõju hindamise läbiviimine“) saab väita et lõunatuuled genereerivad kavandatava PHAJ tehissaare lähistel lainetuse, mille kõrgus ei ületa ühte meetrit. Kuna lõunatuuli on kõikidest tuultest enam siis on matemaatiline modelleerimine teostatud selle tuulega.

Põhja- ja loodetuulte mõjul jõuavad kavandatava PHAJ alale oluliselt suuremad lained. Eelnevad uuringud on näidanud, et tugevate, pikka aega kestvate tormidega võib lainekõrgus Pakri lahe suudmes ulatuda kuni kaheksa meetrini.

Järgnev lõik põhineb TTÜ Meresüsteemide instituudi poolt koostatud Paldiski Lõuna-sadamasse kai 6a rajamise keskkonnamõjude hindamise aruandest.

Pakri lahe hoovuste skeem on tugevalt mõjutatud tuulest. Soome lahe lõunaranniku lähedane tsirkulatsioon mõjutab Pakri lahe hoovusi lahe põhjaosas. Piki Soome lahe telge puhuv tuul põhjustab aktiivset veevahetust mere pindmiste ja sügavamate kihtide vahel. See soodustab veevahetust ka Pakri lahes. Idatuulte korral toimub vee väljavoolamine Pakri lahe pinnakihis ja sissevoolamine põhjalähedases kihis. Läänetuulte korral on olukord vastupidine. Madalveelises Pakri lahe lõunaosas ning rannikulähedases tsoonis on hoovused mõjutatud peamiselt lokaalsest tuulest. Pakri lahes on kõige tugevamad hoovused madalas Kurkse väinas. Lääne-, edela- ja lõunatuulega on hoovus suunatud Kurkse väinast Pakri lahte, kusjuures kõige tugevamad hoovused on tekitatud läänetuulega. Kagu-, ida-, kirde- ja põhjatuule poolt tekitatud hoovused on Kurkse väinas läänesuunalised. Loode-, lääne-, edela-ja lõunatuulega formeerub lahe lõunaosas kellaosuti liikumise suunale vastupidine osaliselt suletud hoovus. Kagu-, ida-, kirde- ja põhjatuule poolt tekitatud hoovus on vastupidise pöörlemisega.

Kokkuvõtlikult on valdav vee liikumise suund tehissaare alal asuval rannanõlval suunatud piki kallast lahte sisse. Keskmine kiirus sisse voolava veemassi puhul on 5 – 10 cm/s. Valdav veemassi suund lahe keskosas on suunatud loodesse lahes välja. Kuna veesügavused on lahe keskosas tunduvalt suuremad, siis vee liikumise kiirus on tunduvalt väiksem kui rannalähedases tsoonis. Keskmine voolamise kiirus on 2 – 5 cm/s.

2.2 Looduslik heljum

Vastavalt Paldiski Lõunasadama süvendustööde aegse heljumi seire aruandele (TalTech Meresüsteemide instituut 2020) on loodusliku heljumi kontsentratsiooni foon Pakri lahes umbes 10 mg/l, kusjuures tormide korral on maksimaalne looduslik foon vahemikus 10-15 mg/l. Loodusliku heljumi ruumiline jaotus on seotud hüdrodünaamiliste protsessidega lahes. Hoovused ja lainetus tõstavad Pakri lahe madalamas lõunaosas ja Kurkse väinas üles setted, mis jäävad vees heljumisse ja muudavad merevee häguseks. Kagutuulte mõjul võib see heljum kanduda kogu lahele ja tõsta heljumi kontsentratsiooni kuni 10 milligrammini liitris.

Töö modelleerimise osas on võrreldud PHAJ töötsüklist tekkivat heljumit eelpool mainitud heljumi kontsentratsioonide taustal.

3. Matemaatiline modelleerimine

3.1 Tuuleandmed

Modelleerimise aluseks olevad tuuleandmed pärinevad Pakri meteoroloogiajaamast. Hinnangu aluseks on mõõtejaama andmed vahemikust 1966-1991, 2004-2014 ja 2014-2018. Esimeste mõõtmistulemuste alusel on võimalik määrata pikaajalist tuulte käitumist, teiste lühemate aegridade järgi saab hinnata kuivõrd on muutunud tuulte iseloom seoses kliima muutumisega.

Vastavalt Ilmateenistuse andmetele on Pakri poolsaarel loodest puhuvaid tuuli umbes 11% kõikidest aasta jooksul puhuvatest tuultest. Lõunast puhuvaid tuuli on umbes 20%. Üle 15 m/s puhuvaid tuuli loodesuunalt on aastas orienteeruvalt 0,2% ja lõunast umbes 0,13% kõikidest tuultest. Alla 5 m/s puhuvaid tuuli on loodesuunalt 4,5% ja lõunast 10,8%. Seega valdav osa vaadeldavatest tuultest on tuulekiiruste vahemikus 5 – 15 m/s. Maksimaalselt võib loodesuunalt olla vähemalt 5 tundi kestvat tuult tuulekiirus 26 m/s ja lõunast 24 m/s. Kuna modelleerimise eesmärk on uurida halvimat ja tavaolukorda, kasutatakse lainetuse, hoovuste ja settetranspordi modelleerimisel tuulekiirusi 10 m/s tavaolukorra jaoks mõlemalt suunalt ja 26 ja 24 m/s vastavalt loode ja lõunatuule jaoks ekstremaalse tormi jaoks. 2014 – 2018 aegridade järgi on näha, et viimastel aastatel on lõunatuulte osa kasvanud, sellest tulenevalt on ka kasvanud heljumi kontsentratsioon, sest madalast laheosast kantakse heljumit rohkem lahele.

3.2 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 nelja moodulit, mille kirjeldused esitatakse allpool.

3.3 MIKE 21 NSW moodul

MIKE 21 moodulit NSW kasutatakse kaldajoonega piirnevatel aladel laineväljade arvutamiseks. Laineväljade määramisel on tähtsad järgmised lainete parameetrid: laine kõrgus, laine periood ja lainete liikumise suund, ehk suurused mis kõik on vajalikud lainetusest rannajoonel tekkivate jõudude määramisel.

Matemaatiline mudel MIKE 21 NSW võtab arvesse vee sügavuse vähenemisest tingitud veepinna taseme muutuse ja refraktsiooni, kohaliku valitsevate tuule olukorda ja energia dissipatsiooni, mis on tingitud mere põhjal tekkivatest hõõrdejõududest ning lainete murdumisest. Mudel arvestab ka lainetuse ning hoovuste vastastikust koosmõju. MIKE 21 NSW on statsionaarne, suuna mõju arvestav parameetriline mudel. Selleks, et arvestada hoovuste mõjuga on mudeli põhivõrrandite koostamisel lähtutud laine spektraaltiheduse jäävuse võrrandist. Selle jäävuse võrrandi parameetriseerimisel sageduse järel on muutujatena lisatud nullinda ja esimest järku spektri momendid. MIKE 21 NSW

Põhivõrrandid lahendatakse kasutades Euleri lõplike vahede meetodit. Nullinda ja esimese järgu spektri momendid arvutatakse täisnurkses arvutusvõrgus kasutades selleks diskreetseid laine levikusuundi. Mudel kasutab põhilises laine leviku suunas iga võrgu punkti piiritingimusena eelmise võrgu punkti arvutustulemusi.

Mudeli väljund annab põhiliste arvutustulemustena järgmised integraalsed laine parameetrid: oluline lainekõrgus, keskmise laine perioodi, keskmise laine leviku suuna, suuna standardhälbe ja radiaalpinged.

3.4 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.

3.5 MIKE 21 ST moodul

MIKE 21 ST moodul on üks osa MIKE 21 matemaatilise modelleerimise süsteemist, mis võimaldab arvutada mitte kohesiivse uhtaine (liiva) transpordi hulka mis tekib kas ainult hoovuste või ka lainetuse ja hoovuste koosmõju tagajärjel. Lisaks sellele võimaldab MIKE 21 ST määrata ajas keskendatud põhja kõrgusmärkide muutumist kasutaja poolt defineeritud ajavahemiku jooksul.

Mooduli kasutamise eelduseks on see, et eelnevalt MIKE 21 HD lahend oleks sisestatud lähteandmetena. Juhul kui soovitakse lainetuse ja hoovuste koosmõjul tekkivat uhtaine transpordi arvutusi, siis peavad olema sisestatud ka lainevälja parameetrid kasutades MIKE 21 NSW mooduli arvutustulemusi.

MIKE 21 ST kasutusala on lai ja haarab kõiki kahemõõtmelise uhtaine transpordiga seotud probleeme:

- litoraalsed uhtaine transpordi küsimused;

- uhtumisi rannajoonele püstitatud ehitiste ümbruses;
- jõgede suudmealadel;
- kombineeritud mõjurite juhtudel, kus esinevad tuule poolt genereeritud
- lainetus, hoovused ning tõusu-mõõna nähtus.

3.6 MIKE 21/ 3 Particle Analysis moodul

MIKE 21 PA moodulit kasutatakse vees lahustunud ja suspensioonis oleva heljumi leviku modelleerimiseks. PA moodul on suuteline modelleerima suspensiooni voolamist järvedes, jõegedes, rannajoonel ja avameres..

PA moodulit kasutatakse koos vedelikuga suspensioonis olevate osakeste leviku modelleerimiseks arvestades sellega kaasnevaid dispersiooniprotsesse.

Mõlemad moodulid arvestavad osakeste juhusliku liikumise võimalust ja neis jälgitakse osakeste ansamblite liikumist, mis võimaldab loobuda Euleri advektsiooni-difusiooni võrrandi lahendamisest.

Osakesed liiguvad mõlemal juhul advektiivse hoovuse ja turbulentsete pulsatsioonide tulemusena. Advektiivsed kiirused määratakse tavaliselt hüdrodünaamiliste arvutustega (MIKE 21 HD), 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.

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

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

3.7 Seletusi graafikutel esitatud tulemuste kasutamiseks

Numbrilise lahendamise tulemustena on saadud graafikud, millel on esitatud uuritavate suuruste - olulise lainekõrguse H_{mo}, hoovuse kiiruse ja settetranspordi väljasid. Siinkohal on vajalik arvestada, et graafikutel esitatud kvalitatiivsed arvnäidud 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 uuritavate suuruste samajooned, vektoritena on näidatud uuritava suuruse liikumissuund ja vektori pikkus on võrdeline uuritava suuruse arvväärtusena. Lisaks on eri värvidega tähistatud uuritava suuruse väärtus, mille kohta legend on esitatud joonise serval asuval skaalal.

4. Matemaatilise modelleerimise tulemused.

4.1 Lainetuse väljad

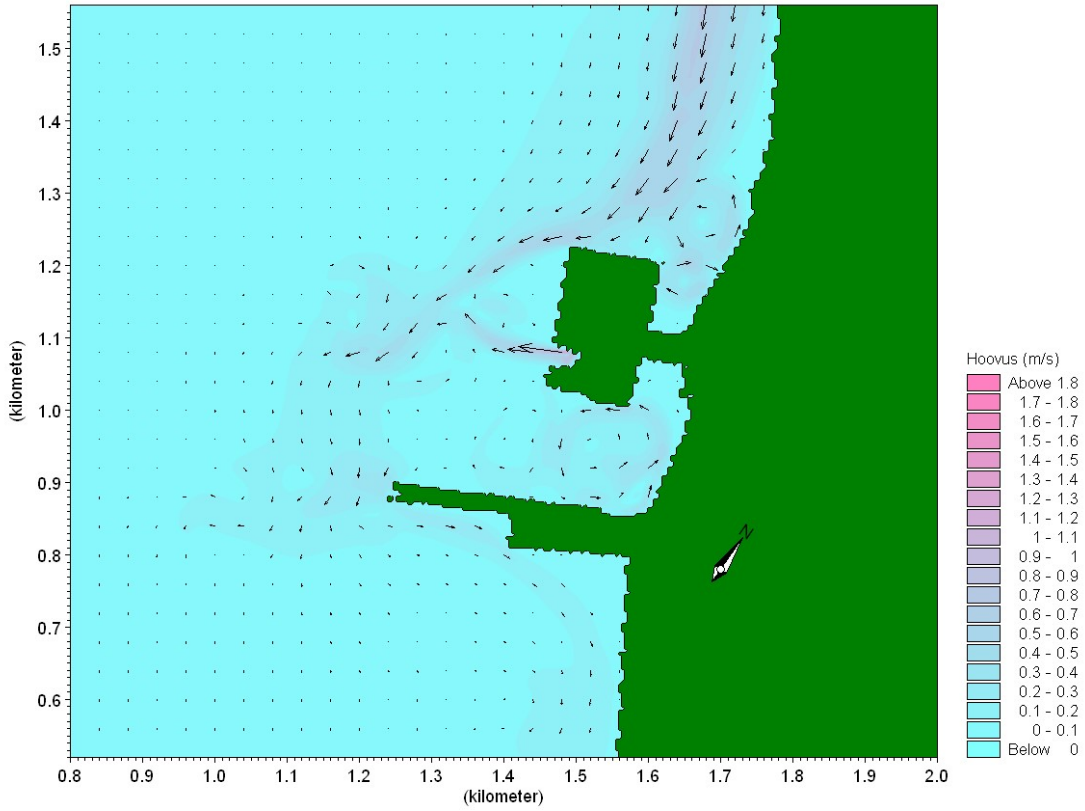
Kuna hoovust Eesti rannikul põhjustab tuule genereeritud lainetus siis hoovuste pildi määramiseks teostati lainetuse matemaatiline modelleerimine punktis 3.1 valitud tuulekiirustega. Kuna olulise lainetuse kõrgused ja nende iseloom on sama, kui PHAJ planeeringu KSH jaoks tehutd modeleerimistel siis neid käeolevas töös ei esitleta. Lainetuse modelleerimise tulemusi kasutati hoovuste modelleerimise lähteandmetena.

4.2 Hoovuste väljad

Hoovuste modelleerimisel on hinnatud lainetusest tekkinud hoovuse ja PHAJ tööprotsessis tekkiva vee liikumise koosmõju. Vaadeldud on kahte olukorda: vee väljapumpamise faas, mil maa-alust reservuaari tühjendatakse vooluhulgaga 73,8 m^3/s (vee väljavise) ja energia toomise faas, mil vooluhulk PHAJ turbiinidele on 96,5 m^3/s (veevõtt).

PHAJ planeeringu KSH teostatud modellerimiste tulemusel selgus, et ilma tehissaareta liikus loodetuule poolt genereeritud hoovus piki Pakri poolsaare kallast lõunasse ja kaardus ümber Põhjasadama muuli. Samal ajal toimus loodetuulega lahe keskelt väljavool lahest. Lõunatuule poolt genereeritud hoovus liigub kogu lahe ulatuses loode suunas, kusjuures veidi suuremad kiirused on madalamas vees. Välja voolav vesi asendatakse sissevooluga Kurkse kaudu.

4.2.1 Hoovuste väljad loodetuulega, tuule kiirus 10m/s, vee väljavise

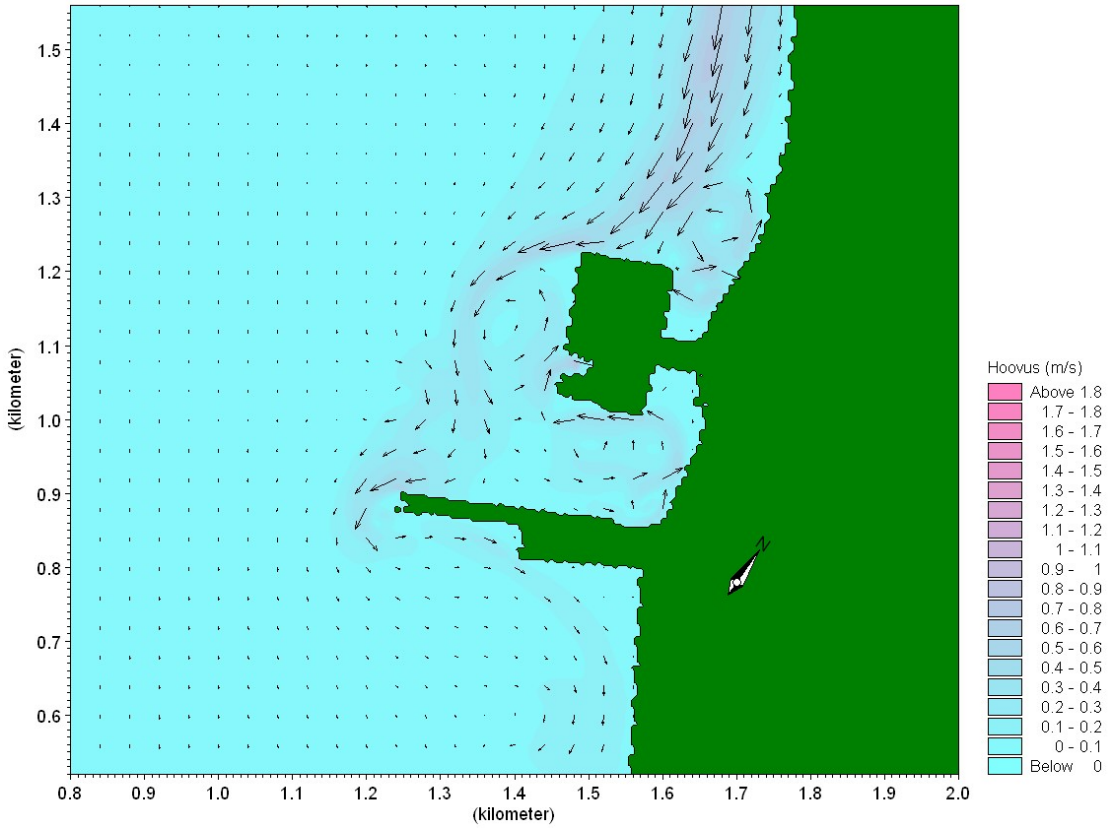


Joonis 1. Hoovus NW tuulega 10m/s, vee väljavise

Loodetuule poolt tekitatud lained genereerivad Pakri poolsaare rannikul hoovuse, mis on liigub piki Pakri poolsaare rannikut lahe sisemuse poole. Hoovuse kiirus 10 m/s puhuva tuulega madalal rannaalal jääb maksimaalselt 0,5 m/s piiresse, sügavas vees on see alla 0,1 m/s. Tehissaarest välja pumbatav vooluhulk liitub pikki kallast voolava veehulgaga. Välja pumbatava vee vooluhulk hajub piki kallast liikuvasse veemassi umbes 200 meetri jooksul. Paldiski Põhjasadama muuli juures on hoovus rohkem hajunud, kui olukorras ilma tehissaareta ja hoovuse kiirus vahetult muuli otsa juures on väiksem. Tehissaare ja Põhjasadama muuli vahele tekib pööris, millega peab arvestama tehissaare taga asuvasse sadamasse sisse ja väljasõidul.

4.2.2 Hoovuste väljad loodetuulega, tuule kiirus 10m/s, veevõtt.

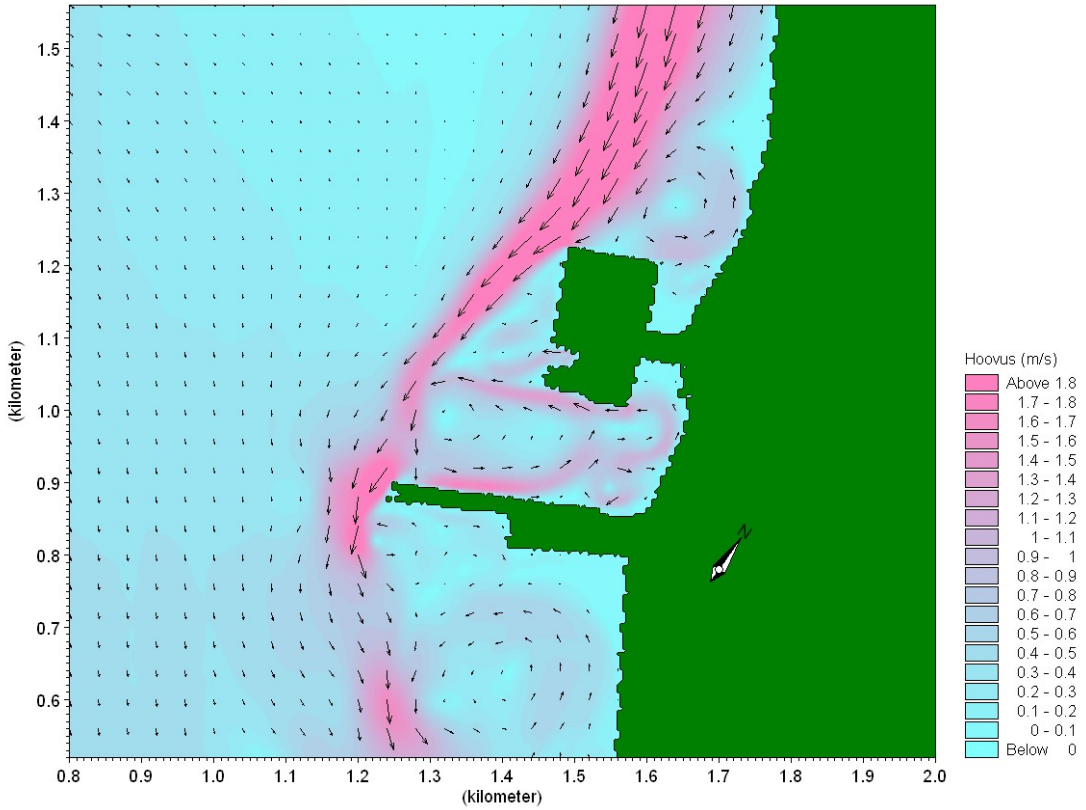
Veevõtu korral nihkub piki kallast liikuva veemassi kiire vooluga tsoon veidi veevõtu suudmele lähemale, kuna välja pumbatava vee mass vesi ei mõjuta hoovust. Osa piki kallast voolavast veest haaratakse turbiinidele, mistõttu tehissaare ees tekib aeglane (u 0,1 m/s) pööris. Tekkiva pöörisega peavad arvestama tehissaare maapoolsele küljele kavandatud sadama kasutajad. Kuna väljapumbatavat veemassi, mis piki kallast liikuvat veemassi hajutaks ei ole, siis sarnaselt ilma tehissaareta olukorrale on Põhjasadama muuli otsa juures suhteliselt suur (kuni 0,5 m/s) hoovuse kiirus. Tehissaarest põhjapool tekib keeris, mis võib kanda hoovusega kaasa liikuvat setet tehissaare ja maa vahelisele alale.



Joonis 2.Hoovus NW tuulega 10m/s, veevõtt

4.2.3 Hoovuste väljad loodetuulega, tuule kiirus 26 m/s, vee väljavise

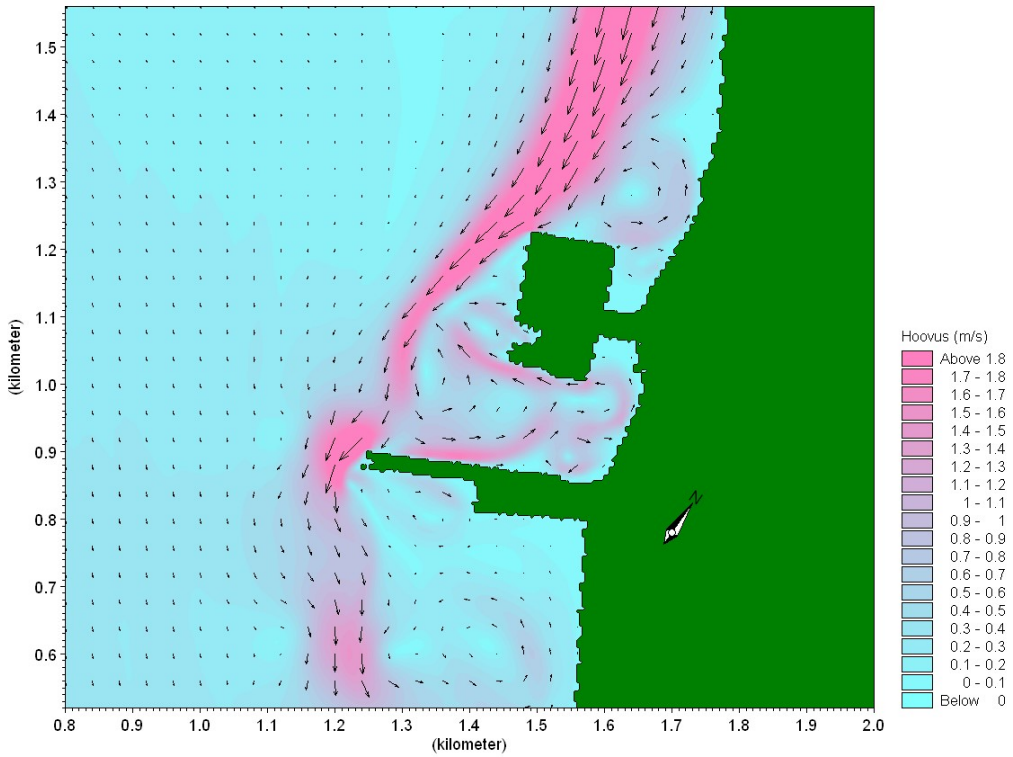
Joonisel 3 on toodud hoovuste väli 26 m/s puhuva loodetuule korral. Hoovuse kiirus 26 m/s puhuva tuulega madalal rannaalal jääb maksimaalselt 1,6 m/s piiresse, sügavas vees on see alla 0,1 – 0,2 m/s. Tehissaarest välja pumbatav vooluhulk liitub pikki kallast voolava veehulgaga, aga ei oma nii suurt mõju kui 10 m/s puhuva tuule korral, kuna välja pumbatava vee maht on väike võrreldes, tuule poolt tekitatava hoovuse vooluhulgaga. Tehissaare ja Põhjasadama muuli vahele tekib pööris sarnaset 10 m/s puhuva tuule korral. Samuti tekib tehissaarest põhjapool keeris, mis võib kanda hoovusega kaasa liikuvat setet tehissaare ja maa vahelisele alale.



Joonis 3. Hoovus NW tuulega 26 m/s, vee väljavise

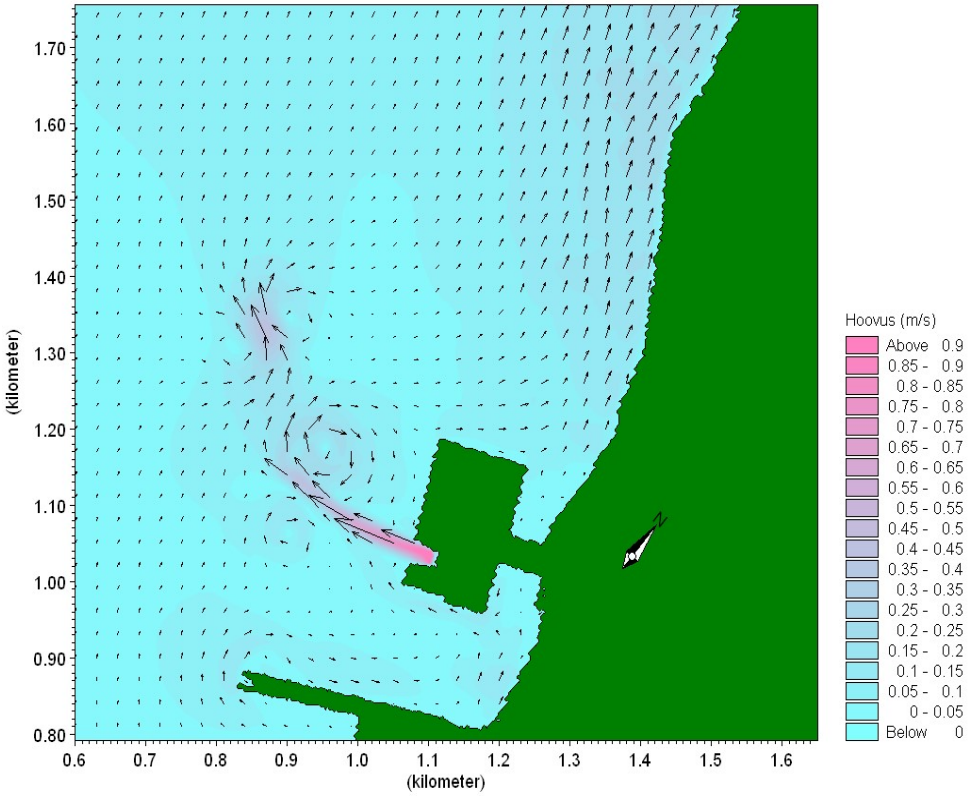
4.2.4 Hoovuste väljad loodetuulega, tuule kiirus 26 m/s, veevõtt

Joonisel 4 on toodud hoovuste väli 26 m/s puhuva loodetuule korral, kui toimub veevõtt. Kuna tuule poolt tekitatud hoovuse vooluhulk on märkimisväärselt suurem, kui veevõtu vooluhulk, siis ekstreemse tuule korral ei oma veevõtt olulist mõju vee liikumisele Pakri lahes.



Joonis 4. Hoovus NW tuulega 26 m/s, veevõtt

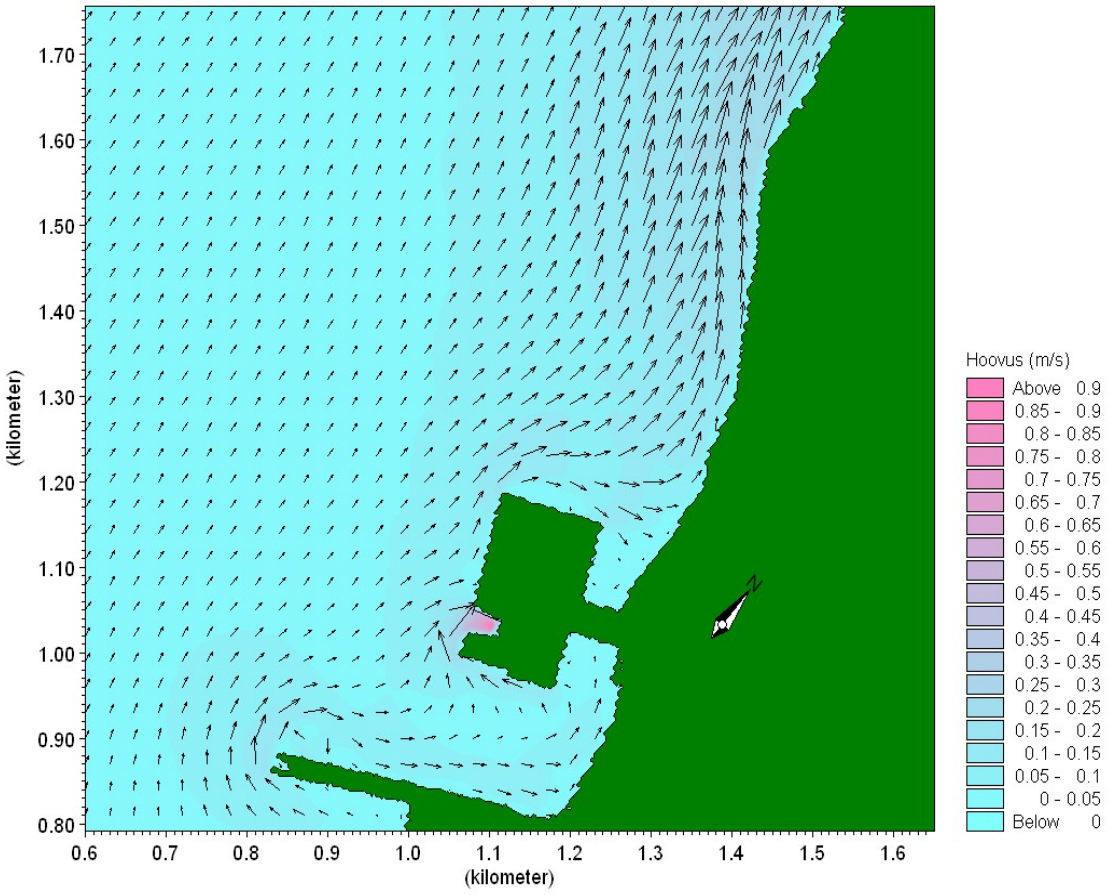
4.2.5 Hoovuste väljad lõunatuulega, tuule kiirus 10m/s, vee väljavise



Joonis 5. Hoovus S tuulega 10m/s, vee väljavise.

10 m/s puhuva lõunatuule korral tekib kogu Pakri lahes loodesuunaline hoovus. Hoovus haardub ümber Põhjasadama muuli ja see haaratakse PHAJ välja pumbatava vooluga kaasa. Kuna Põhjasadama muul „kaitseb“ PHAJ suuet lõunast tuleva veemassi eest, siis kuni muuli varjust välja pääsemiseni moodustub suudmest välja voolul veealune juga. Juga kaotab 100 meetri jooksul, mil see on muuli varjus enamuse oma energiast ja hajub kiiresti tuulest ja lainetusest põhjustatud hoovusesse kohe kui Põhjasadama muule vari kaob. Lõunasuunast tuleva hoovuse ja joa koosmõjul tekib keeris, milles voolamise kiirus ei ole väga suur (0,3 – 0,4 m/s). See võib tekitada kõige väiksematele paatidele (nt. kummipaadid) probleeme navigeerimisel. Tuule poolt genereeritud hoovus keerab PHAJ-st väljuva joa loode suunas. Vastavalt arvutustele hajub väljapumbatav vool ümbritsevas keskkonnas umbes 450 meeri pikkusel alal. Lõunasuunalt tekkiva hoovusega võrreldes on tehissaarest väljavoolu kiirus märkimisväärselt suurem. Kui hoovuse kiirus jääb vahemikku 0,1-0,3 m/s, siis väljavoolul tekkivas joas on vee liikumise kiirus 1 m/s ringis. Peab arvestama, et kuigi pinnalainetus, mille oluline lainekõrgus 10 m/s puhuva tuule korral on vahemikus 0,3-0,4 m, hajutab vette tekkivat juga, võib see olla merepinnal visuaalselt eristatav. See nähtus muutub veelgi enam märgatavaks, kui tuule kiirus on alla 10 m/s, mil lained on veel madalamad.

4.2.6 Hoovuste väljad lõunatuulega, tuule kiirus 10m/s, veevõtt



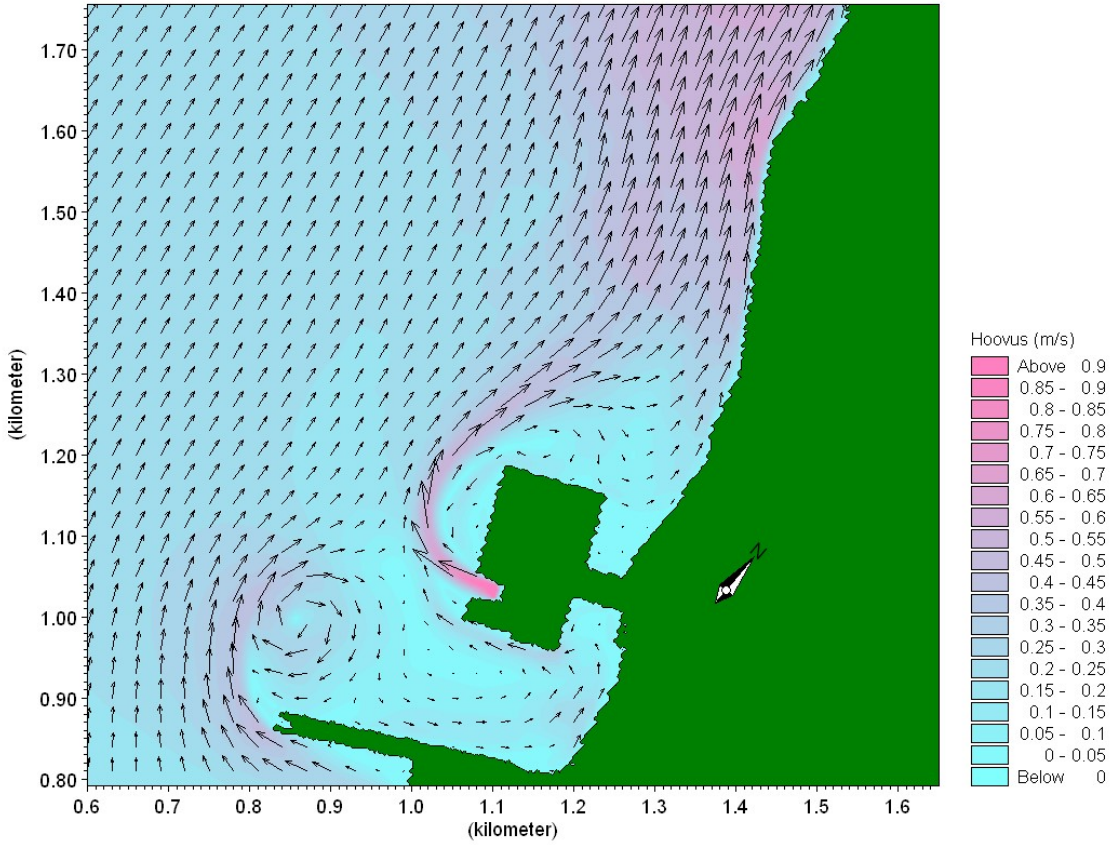
Joonis 6. Hoovus S tuulega 10m/s, veevõtt.

Kuna lõunatuule korral liigub kogu lahes vesi lahest välja, siis veevõtt ei mõjuta märkimisväärselt hoovuste liikumist Pakri lahes. Seda eelkõige seetõttu, et jaama sisse voolava vee maht on peaaegu olematu võrreldes läbi terve lahe voolava vee mahuga. Seega jääb veehaarde mõju lokaalseks ja hoovus kaardub veehaarde suunas ainult väga väikesel alal. Jooniselt 6 nähtub, et vett võetakse

enamuses ümber tehissaare nurga. Sellega peab arvestama väikesadamast väljasõidul, et kõige kergemad paadid ei satuks tekkivasse hoovusesse.

4.2.7 Hoovuste väljad lõunatuulega, tuule kiirus 24 m/s, vee väljavise

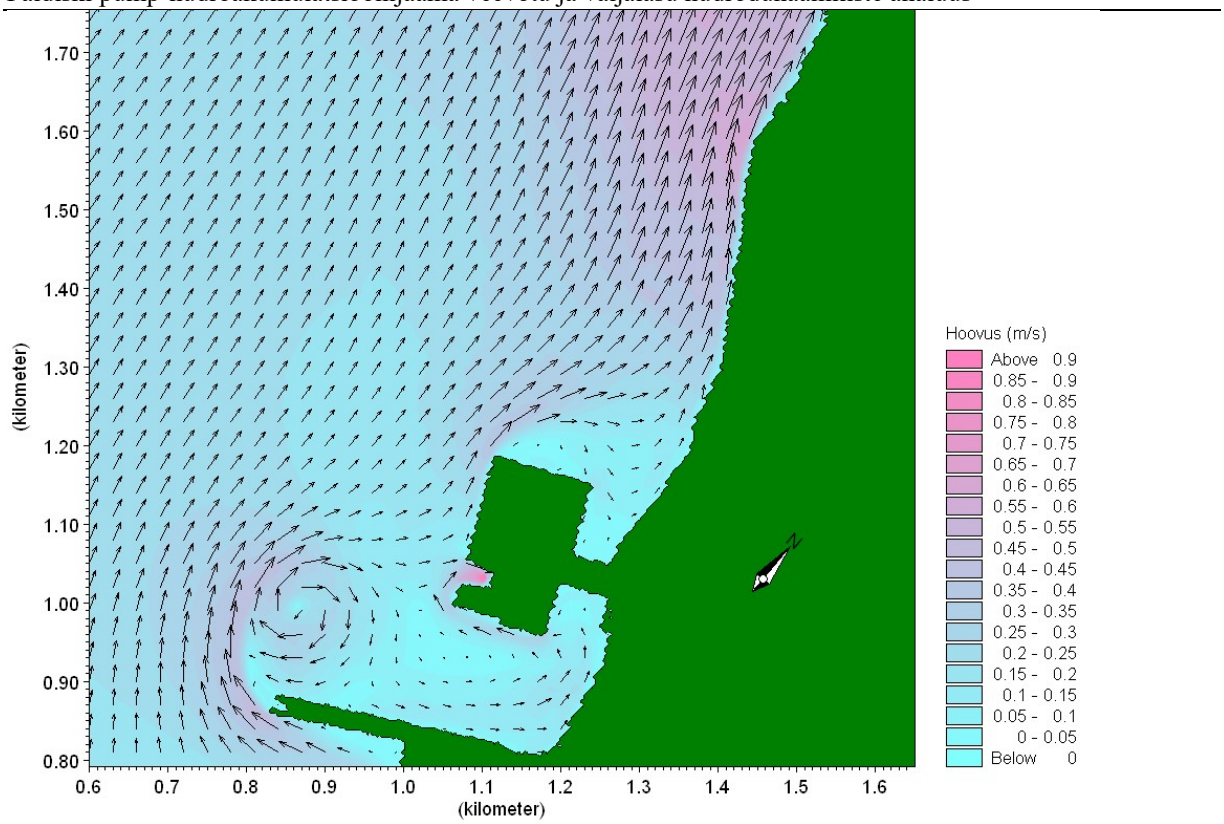
24 m/s puhuva tormi korral on lõunatuule poolt genereeritud hoovuse kiirus ja vooluhulgad suuremad kui 10 m/s puhuva tuulega. Hoovuse kiirus tehissaare lähisel alal jääb vahemikku 0,2 – 0,6 m/s (joonis 7). Hoovus haardub ümber Põhjasadama muuli ja tekitab selle taga pöörise. Ilma tehissaareta olukorras jõuaks hoovuse põhimass 300 m muulist loodes uuesti rannale. Tehissaare puhul nihkub hoovuse rannale jõudmine 200 m loode suunas. Selle põhjuseks on tehissaare asend, mitte sealt välja pumbatav vee kogus. Kui 10 m/s puhuva tuule korral tekkis Põhjasadama muuli kaitsva efekti tõttu juga, mis jõudis sirgelt lahele, siis 24 m/s puhuva tormi korral on tuule mõjul liikuva vee maht palju suurem ning tekkiv juga keerab koheselt loodesse ja hajub tehissaare pikkusel alal ülejäänud hoovuse sisse. Kuna ekstreemse lõunatuule korral liigub kogu lahe ulatuses vesi ühtse massina lahest välja, siis selle vee hulk on kordades suurem kui PHAJ välja pumbatava vee hulk. Seega jääb pumatava vee mõju lokaalseks.



Joonis 7. Hoovus S tuulega 24 m/s, vee väljavise

4.2.8 Hoovuste väljad lõunatuulega, tuule kiirus 24 m/s, veevõtt

Sarnaselt vee väljaviskega on veevõtu korral 24 m/s puhuva tuule korral PHAJ vooluhulk marginaalne võrreldes kogu lahes liikuva vee vooluhulgaga ja selle veekoguse ammutamine ei mõjuta üldist hoovuste pilti lahes (joonis 8). Märkimisväärne kogus PHAJ-sse haaratavast veest jõuab veehaardesse ümber tehissaare lõunapoolse nurga. Sellega peab arvestama väikesadamast väljasõidul, et kõige kergemad paadid ei satuks tekkivasse hoovusesse.



Joonis 8. Hoovus S tuulega 24 m/s, veevõtt

4.3 Veehaardesse imetud heljumi levik väljapumpamisel

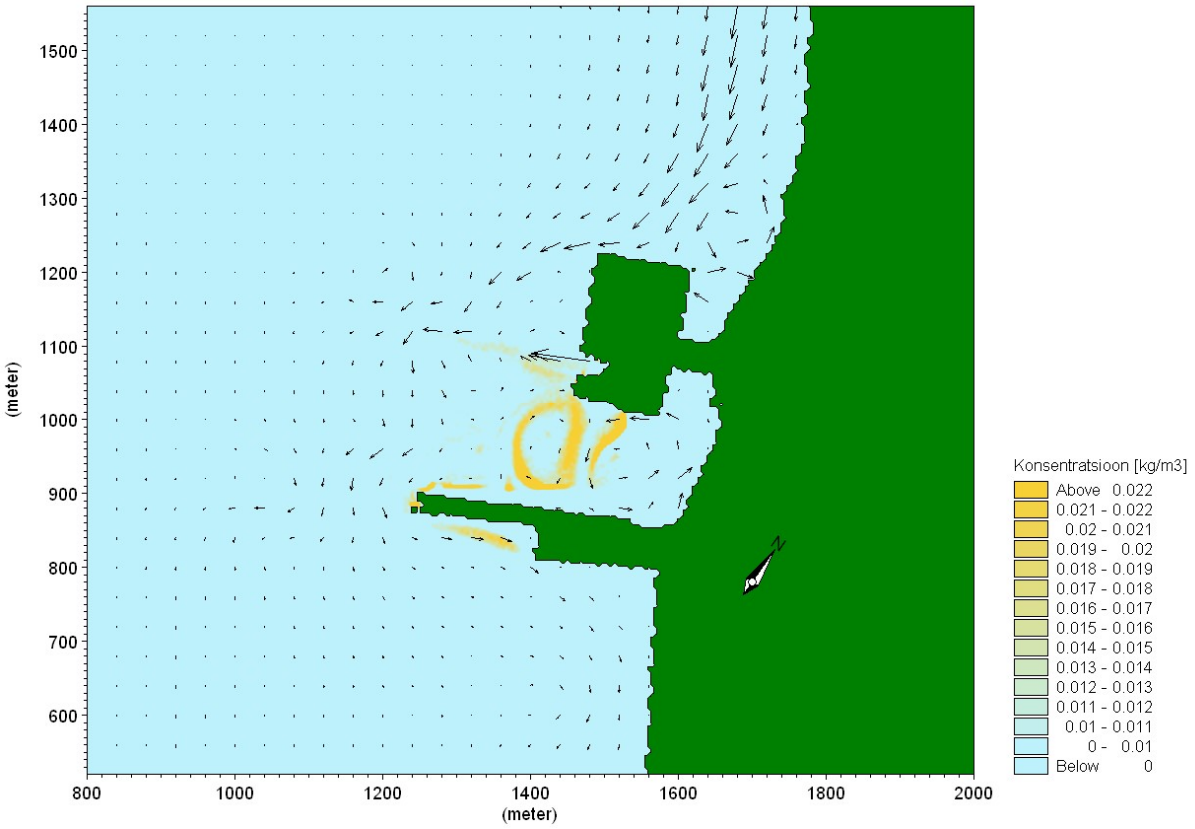
Peatükis on teostatud modelleerimine olukorra jaoks, kui PHAJ energia tootmise tsükkel (veevõtt) satub tormisele olukorrale, mil heljumi tase sisse võetavas vees on kõrge – 15 mg/l ehk 0,015 kg/m^3 (baastasemed on toodud punkt 2.3). See tähendab, et PHAJ tühjendamise tsüklis pumbatakse ümbritsevasse merekeskkonda sama heljumi kontsentratsiooniga vett kui tormi ajal. Töötsükli muutumise ajaks võib torm olla vaibunud ja heljumi tase langenud tavapärase tasemeni 10 mg/l ehk 0,01 kg/m^3. Samas võib torm ka edasi kesta. Aruandes on modelleeritud vee välja pumpamist mõlemal juhul ja võrreldud heljumi kontsentratsiooni baastasemega. Järgnevatel joonistel on kontsentratsiooni tausta (sinine värv) väärtuseks valitud 10 mg/l ehk 0,01kg/m^3 10 m/s puhuva tuule korral ja 15 mg/l ehk 0,015 kg/m^3 24 või 26 m/s puhuva tuule korral. Kollasega näidatud kontsentratsioon näitab summeritud kontsentratsiooni st ala, mis on mõjutatud PHAJ välja pumbatavast kõrge heljumi kontsentratsiooniga veest enne kui see hajub merekeskkonda.

Kui energia tootmise tsükkel (veevõtt) satub madala heljumi kontsentratsiooniga ajale ja tühjendamise tsükkel tormile, siis see vähendab vähesel määral heljumi kontsentratsiooni, mistõttu seda ei ole uuritud.

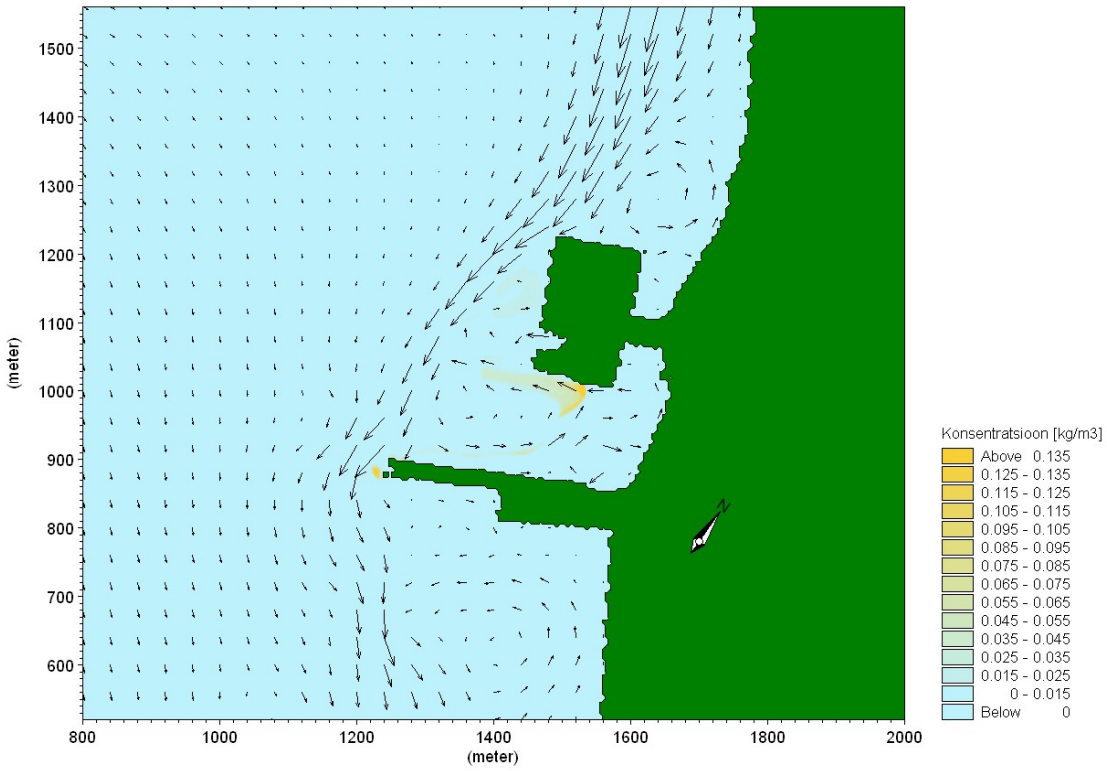
Joonistel toodud nooled näitavad hoovuse suunda ja noolte pikkus on võrdeline hoovuse kiirusega.

4.3.1 Heljumi levik loodetuulega, tuule kiirus 10 m/s

Joonisel 9 on toodud olukord, kus PHAJ-st pumbatakse vett, mille heljumi kontsentratsioon on 15 mg/l merekeskkonda, kus heljumi kontsentratsioon on 10 mg/l. Tänu Põhjasadama muuli ja tehissaare vahele tekkivale pöörisele jääb enamus heljumist kinni sellesse pöörisesse ja ei põhjusta Põhjasadamas



Joonis 9. Heljum NW tuulega 10m/s vee väljavise



Joonis 10. Heljum NW 26 m/s tuulega.

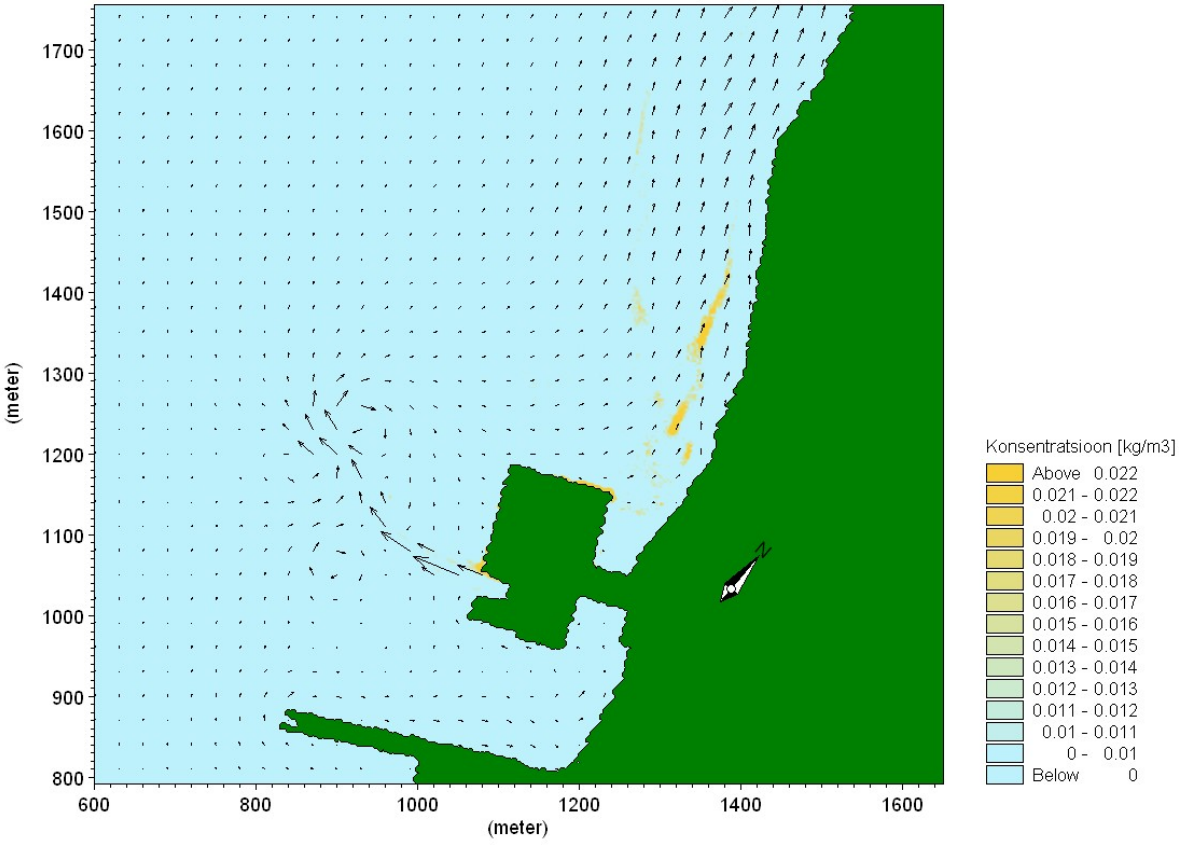
settimisprobleeme. Visuaalselt näib vee hägusus Põhjasadama muuli ja tehissaare vahel sellises olukorras sarnane merele tugeva tormi ajal. Arvestama peab, et kui kõrgema (20-25 mg/l) heljumi kontsentratsiooniga vesi satub tuule eest kaitstud madala hoovuse kiirusega laevateele, mis viib kavandatud väikesadamasse, siis sellel alal võib esineda vähest väljasettimist. Samas peab teisest küljest arvestama ka sellega, et tugevate tormide korral tekib väikesadamast väljasõidul samuti keeris ja see võib sinna settinud materjali minema kanda.

4.3.2 Heljumi levik loodetuulega, tuule kiirus 26 m/s

Joonisel 10 on toodud olukord, kus PHAJ-st pumbatakse vett, mille heljumi kontsentratsioon on 15 mg/l merekeskkonda, kus heljumi kontsentratsioon on 15 mg/l. Kuna merevee ja pumbatava vee kontsentratsioonid on võrdsed, võib heljumi kontsentratsiooni märgatav kasv esineda vaid tehissaare vahetus läheduses. Kuigi väikesadamast väljasõidu kanali alal on kontsentratsioon kõrgem, on hoovuse kiirus seal üle 1 m/s ja see ei lase see heljumil settida. Heljum kantakse hoovusega kaasa ja see hajub ruttu tormisel merel.

4.3.3 Heljumi levik lõunatuulega, tuule kiirus 10 m/s

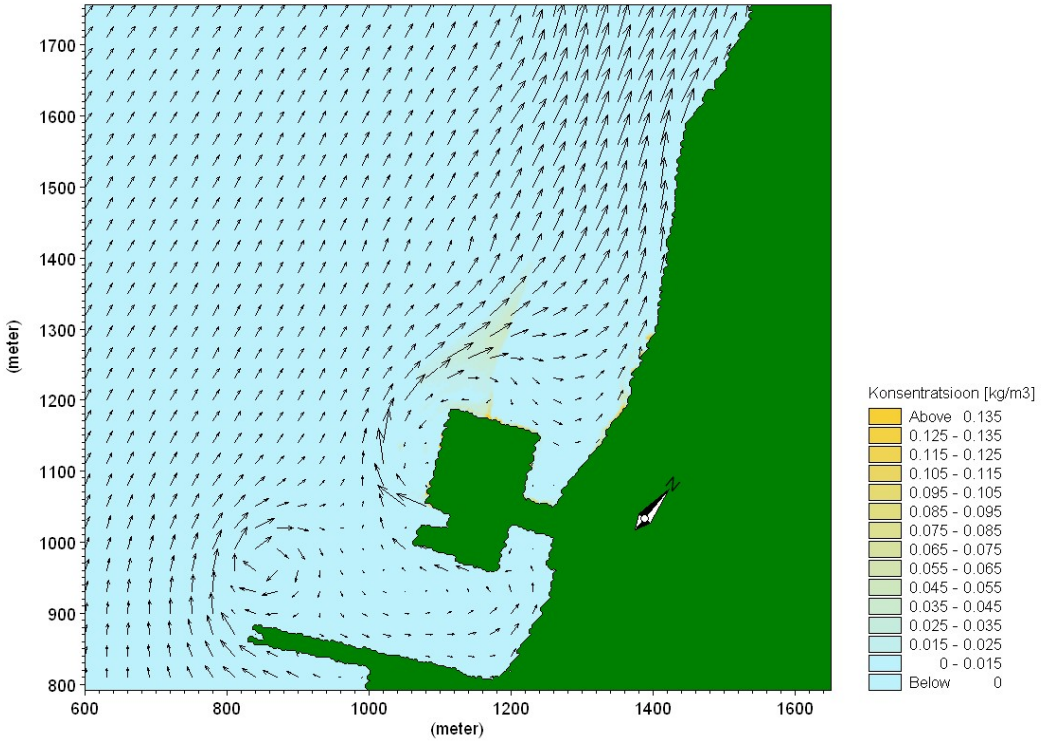
Joonisel 11 on toodud olukord, kus PHAJ-st pumbatakse vett, mille heljumi kontsentratsioon on 15 mg/l merekeskkonda, kus heljumi kontsentratsioon on 10 mg/l. Lõunatuule korral on hoovuse kiirus madalam ja jaamast välja pumbatav vooluhulk liigub suure hooga suudmest laiali. Tänu sellele toimub suudme lähedal aktiivne segunemine ja kõrgema kontsentratsiooniga vesi seguneb kiiresti olemasolevasse fooni, mistõttu seda ei ole graafikul võimalik eristada. Hoovused koondavad väljapumbatud vee tehisaare põhjaküljele, kus on oodata kontsentratsioonid vähest kasvu. Osa heljumist võib settida välja tehissaare ja maa vahelisel alal.



Joonis 11. Heljum S 10m/s tuulega.

4.3.4 Heljumi levik lõunatuulega, tuule kiirus 24 m/s

Joonisel 12 on toodud olukord, kus PHAJ-st pumbatakse vett, mille heljumi kontsentratsioon on 15 mg/l merekeskkonda, kus heljumi kontsentratsioon on 15 mg/l. Kuna merevee ja pumbatava vee kontsentratsioonid on võrdsed, võib heljumi kontsentratsiooni märgatav kasv esineda vaid tehissaare vahetus läheduses. Matemaatilise modelleerimise tulemused näitavad et kõrgem heljumi kontsentratsioon võib tekkida tehissaare loodeküljel asuvas pöörises. Osa heljumist võib settida välja tehissaare ja maa vahelisel alal või rannal.



Joonis 12. Heljum S 24 m/s tuulega

4.4 Sette liikumine PHAJ suudmealal

Käesoleva töö raames teostati settetranspordi uuring selleks, et kontrollida, kuidas mõjutab energia tootmise tsükkel (veevõtt) settetransporti tehissaare esisel alal. Uuringu eesmärk oli kontrollida, et PHAJ sisse voolav vesi ei põhjustaks mere põhjal erosioniauke ega suudmeala ummistumist. PHAJ vee võtu ala on vastavalt projektile rajatud osaliselt betoonpõhjaga (10 meetrit veevõtu suudmest), millele järgneb u. 90 m pikkune kividega kindlustatud nõlv. Seetõttu modelleeriti suudmeala mitte erodeerivana ja hinnati põhjakindlustuse servast mere poole jääva merepõhja potentsiaalset erodeerimist ja kandumist PHAJ suudmesse.

Modelleerimise tulemused näitavad, et veevõtul toimub vee haaramine turbiinidele mitte otse üle suudmeala katva kindlustuse vaid ka üle tehissaare nõlvade. Kuna põhjakindlustuse serv asub 10 meetri sügavuses, siis seal on hoovuse mõju erosioonile väike. Kuna vee voolamise kiirus PHAJ nõlvakindlustusel on madalam, kui lainetusest põhjustatud hoovuse kiirus on sette liikumine valdava hoovuse suunaline ja suudme uhtumise probleemi ei teki. Suudme täisettimisel võib aja jooksul rohkem mõju avaldada vees olev heljum, mis settib lainetuse ja hoovuste eest kaitstud veest välja ajal kui kummagi suunalist pumpamist ei toimu.

5. Järeldused

Järeldused PHAJ mõjust hoovustele:

1. 10 m/s puhuva loodetuule korral on lainetusest tekkiva hoovuse maksimaalne kiirus samas suurusjärgus, kui voolamine mis tekib veevõtul või väljaviskel PHAJ-st. Seetõttu hajub hoovus ruttu ümbritsevasse keskkonda.
2. 26 m/s puhuva loodetuule korral on lainetusest tekkiva hoovuse maksimaalne kiirus oluliselt suurem, kui voolamine mis tekib veevõtul või väljaviskel PHAJ-st. Seetõttu ei mõjuta PHAJ tegevus hoovuste pilti tehissaare ümbruses.
3. 10 m/s puhuva lõunatuule korral on lainetusest tekkiva hoovuse maksimaalne kiirus oluliselt madalam, kui voolamine, mis tekib veevõtul või väljaviskel PHAJ-st. Seetõttu tekib vee väljavisketsükli kestel juga, mis ebasoodsate olude (rahulik mere pind) korral võib vees nähtav olla.
4. 26 m/s puhuva lõunatuule korral on lainetusest tekkiva hoovuse maksimaalne kiirus samas suurusjärgus, kui voolamine mis tekib veevõtul või väljaviskel PHAJ-st. Seetõttu hajub hoovus ruttu ümbritsevasse keskkonda.

Järeldused PHAJ töötsükli ajal välja pumbatava heljumi kohta:

1. Nii lõuna kui ka loodesuunalt puhuva tormi korral on eeldatud et välja pumbatava vee heljumi kontsentratsioon on sama, mis ümbritseval keskkonnal. Seetõttu ei ole heljumi kontsentratsioonide kasv märgatav. Kuna tormiga kaasneb kõrge lainetus ja lainete murdumine, siis tõenäoliselt ei ole kerge kontsentratsiooni kasv silmaga tajutav.
2. 10 m/s puhuvate tuulte korral, mil heljumi looduslik foon on madalam, võib olla vee väljapumpamise tsükli ajal heljumi kontsentratsiooni kasvsilmaga tajutav. Käesolevas töös on modelleeritud halvimat juhtu, kui veevõtu tsükkel sattus kõrge heljumi tasemega ajale ja väljapumpamine madala heljumi taseme ajale. Kõikidel alternatiivsetel juhtudel, kui heljum polnud veevõtu ajal maksimumis või väljapumpamise ajal on see kõrgem kui foon on olukord märkimisväärselt vähem tajutav.
3. Teatud määral võib oodata , et heljum settib lõunatuulte korral rannaalale mis jääb tehissaarest põhja suunas. Samuti võib loodetuule korral toimude mõningast settimist saare taha kavandatud väikelaeva sadama sissesõiduteele.

Järeldused PHAJ töötsükli mõjust navigatsioonile:

1. Tehissaare ja Põhjasadama muuli vahele jääval alal tekib pööris, mida peab arvestama saare maapoolsele küljele projekteeritava sadama navigatsioonis. Kuna sadamat kasutavad tõenäoliselt väikepaadid, siis neile võib PHAJ vooluhulk suudme lähedalt möödudes mõju avaldada. Soovitav oleks navigatsioonimärkide abil piirata väikepaatide liikumist vahetult PHAJ suudme esisele alale. Märkidega peaks olema piiratud väikealuste loode suunda pööramine vähemalt 200 meetri ulatuses tehissaare edelanurgast.
2. Kindlasti peab vee PHAJ suudme esisel alal olema keelatud ujumine.
3. PHAJ suudmeala kaugus Paldiski sadamatesse viiva laevatee teljest on 900 meetrit. Kõnealuse laevatee laius on 500 meetrit, seega jääb halvimal juhul laevatee maapoolse serva ja välja pumbatava joa vahele 250 meeri laiune puhverala. Kuna laevateed kasutavas suured laevad, siis välja pumbatav vee mass nende navigatsiooni ei häiri.