

OÜ Lainemudel

Registrikood: 14075763

e-post: lainemudel@gmail.com

Töö nr **1808**

Töö tellija: OÜ EstKONSULT

Registrikood: 10410360

e-post: admin@estkonsult.ee

HELJUMI LIIKUMINE AKSI KAADAMISALAL

Töö autor:

RAIN MÄNNIKUS

Tallinn

August 2018

SISUKORD

1. LÄHTEÜLESANNE.....	2
1.1. Eesmärk	2
1.2. Sisu.....	2
1.3. Lähtematerjalid	2
2. HELJUMI LEVIK KAADAMISALAL.....	3
2.1. Kaadamisala asukoht	3
2.2. Mudel Delft3D	3
2.3. Mudeli seadistus	4
2.4. Kaadamisel tekkiva heljumi levik.....	5
KASUTATUD KIRJANDUS	6

1. LÄHTEÜLESANNE

1.1. Eesmärk

Leppneeme ja Kelnase sadama laienduste rajamisel Viimsi vallas tuleb süvendada akvatooriumit. Saadav pinnas soovitakse kaadata Aksi kaadamisalale. Käesolev töö on sisendiks keskkonnamõju hindamisele (KMH), mis ühe osana käsitleb kaadatava pinnase uputamisel tekkiva heljumi levikut.

1.2. Sisu

1. Modelleeritakse heljumi levikut ja kontsentratsiooni kaadamistööde ajal.

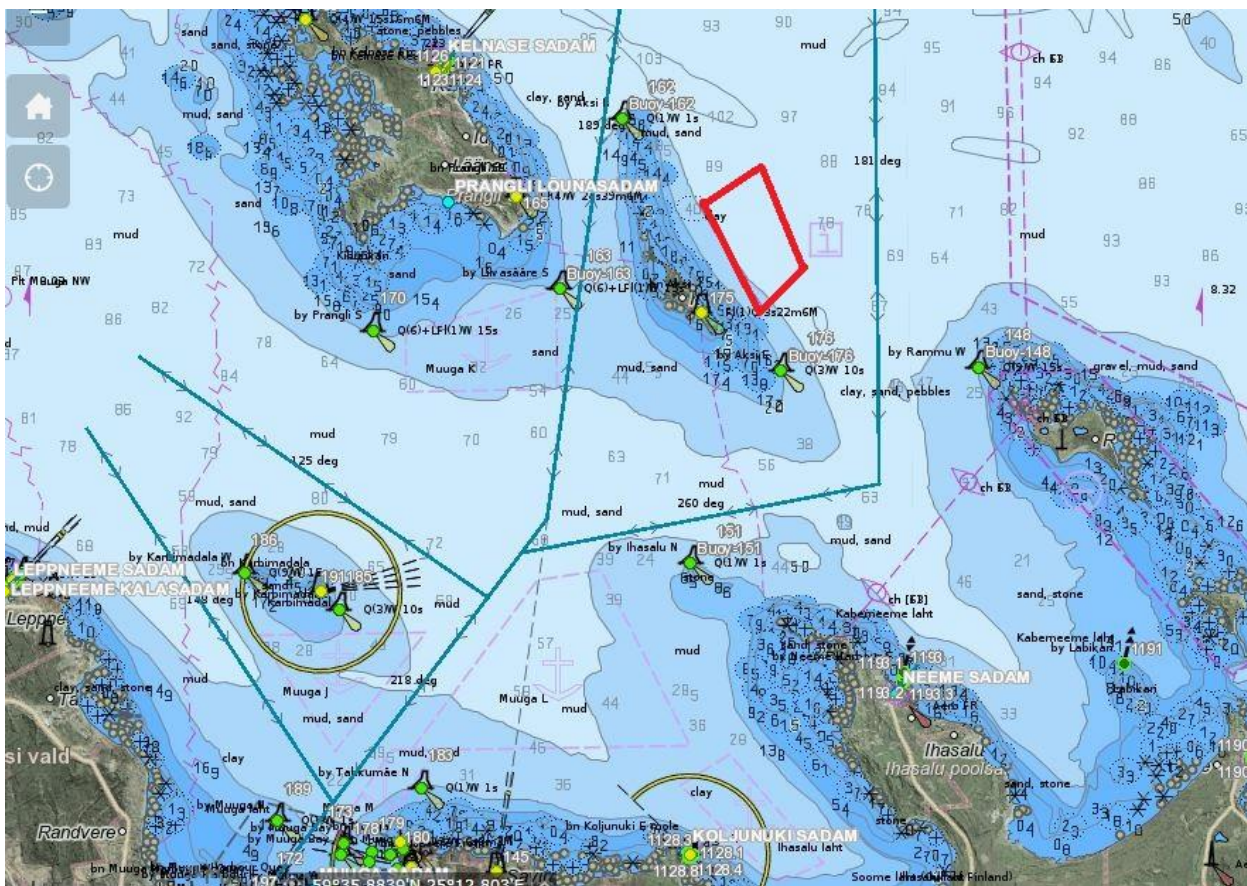
1.3. Lähtematerjalid

1. OÜ Lainemudel. 2018. Töö nr 1706. Leppneeme sadama hüdrodünaamiline modelleerimine.
2. OÜ Lainemudel. 2018. Töö nr 1705. Kelnase sadama hüdrodünaamiline modelleerimine.
3. TTÜ Lainetuse dünaamika laboratoorium. 2017. Leppneeme sadama tuule ja veetasemete analüüs.
4. OÜ IPT Projektijuhtimine. 2017. Töö nr 17-09-1361. Leppneeme sadama geoloogilised ja geotehnilised uuringud (EH2000 kõrgussüsteemis).
5. OÜ IPT Projektijuhtimine. 2018. Töö nr 17-10-1365. Kelnase sadama geoloogilised ja geotehnilised uuringud.

2. HELJUMI LEVIK KAADAMISALAL

2.1. Kaadamisala asukoht

Aksi kaadamisala asub Prangli ja Aksi saarest idas (Joonis 2.1). Mandrist on selle ala lõunapoolsem tipp 6 km kaugusel.



Joonis 2.1. Aksi kaadamisala (piiritletud punasega) Nutimere rakenduses

2.2. Mudel Delft3D

Leppneeme ja Kelnase sadamate süvendamisel saadud materjali kaadamisel tekkiva heljumi leviku modelleerimiseks on kasutatud tarkvara Delft3D. See on tarkvara uurimaks hüdrodünaamilisi protsesse (nii hoovuseid kui ka lainetust), setete transporti, põhja morfoloogiat ning vee kvaliteeti jõgedes, estuaarides ja rannikutel. Seda on kasutatud paljudes paikades üle maailma, nagu näiteks Hollandis, USAs, Hong Kongis, Singapuris, Austraalias, Veneetsias.

Delft3D koosneb moodulitest, milledest igaüks on suunatud erineva sisuga ülesannete lahendamiseks. Neid võib kasutada kombineeritult keerukamate ülesannete jaoks. Lisaks on eraldi moodulid andmete sisestamiseks ja tulemuste analüüsiks.

Moodul WAVE põhineb SWAN mudelil. SWAN mudel (Simulating Waves Nearshore) on kolmanda põlvkonna spektraalne lainemudel, mis võimaldab arvutada tuulelainete parameetreid

madalas rannikumeres ja sisevetes. Mudel baseerub kahemõõtmelise spektraalse lainemõju bilansi võrrandil. SWAN mudelit on edukalt verifitseeritud välimõõtmiste põhjal ja paljudes laboratoorsetes eksperimentides.

Hydrodünaamiline moodul FLOW baseerub Navier-Stokes'i võrranditel, mis on kohaldatud madala vee jaoks. Nende võrrandite lahendamiseks rakendatakse kõrgemat järku absoluutselt stabiilseid numbrilisi skeeme. Tõusudest-mõõnadest ning atmosfääri mõjudest (õhurõhu muutumine, tuul) tingitud mittestatsionaarsed hüdrodünaamilised protsessid (nt hoovused ja nende poolt põhjustatud transport) arvutatakse ebaregulaarsel arvutusvõrgul, mis on üldiselt konstrueeritud vastavuses arvutuspiirkonna raja(de) geomeetriaga piirtingimustega piiratud võrgustikul.

2.3. Mudeli seadistus

Süvendamisel tekkiva heljumi leviku modelleerimiseks arvutati esmalt lainetuse parameetrid moodulis WAVE. Selles kasutati kaheastmelist skeemi. Esimese astmena arvutati lainetuse parameetrid Soome lahel suhteliselt tagasihoidliku lahutusvõimega (mudeli võrgu samm varieerus 500 ja 1500 m vahel). Teise astmena arvutati lainetust Ihasalu lahes (võrk kattis 21×18 km suurust ala ja lahutusvõime oli 250 ja 300 m vahel). Teise astme arvutused tuginesid mudeli kõrgemas astmes leitud lainetuse parameetritel.

WAVE moodulis rakendati ühest suunast pidevalt puhuvat tuult ning tervet ala katvat ühtlast veetaset. Pideva tuule kiirused saadi TTÜ Lainetuse dünaamika laboratooriumi uurimusest, mis leidis sobivad kvantiilid (toodud tabelis 2.1). Veetasemeks valiti lihtsustatult 0 meetrit, sest veetaseme muutus ei mõjuta oluliselt heljumi levikut nii süvendamisel kui ka kaadamisel.

Tabel 2.1. Tuule kiirused erinevate suundade jaoks

	0–90°	90–180°	180–270°	270–360°
90%-line kvantiil, m/s	12	12	14	13

Mooduli WAVE teise astme tulemused olid sisendiks moodulile FLOW. Selle arvutusvõrk kattis $7,0 \times 4,8$ km suurust ala ja lahutusvõime oli 50 ja 25 m vahel. Võrkude erinevus on põhjustatud vähesest ajalisest võimalusest optimeerida arvutuskiirust, mis ei oma siiski tulemustes rolli.

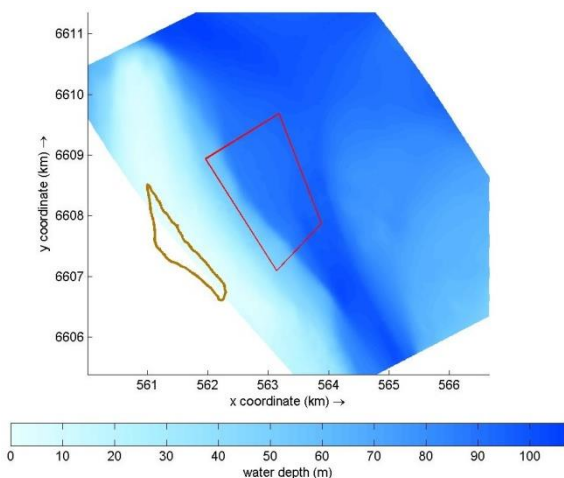
Batümeetria alusandmed saadi Veeteede Ameti mõõdistustest ning Balti mere batümeetria andmebaasist (BSHC, 2013). Need interpoleeriti kasutatud arvutusvõrkudele Delft3D sisseehitatud tarkvara abil.

Simulatsioone teostati 18-tunnise ajavahemiku vältel 01.01.2018. Arvutusi ei seotud hüdroloogiliste ja meteoroloogiliste parameetritega konkreetsetel päevadel, mistõttu mudel ei peegelda situatsiooni valitud päeval ning on kasutusel vaid mittestatsionaarsete protsesside käigu iseloomustamiseks. Mitmesugused hüdrodünaamilised parameetrid vajavad üldjuhul teatavat kohanemisaega (*spin-up time*), et kohaneda muutuva situatsiooniga (nt. avamerelt saabuvate lainetuse tingimustega). Selle aja jooksul võivad seetimisprotsessid toimuda märgatavalt erinevalt tasakaalulisest situatsioonist ning nende väärtused ei ole realistlikud. Süsteemi kohanemisajaks valiti 600 minutit.

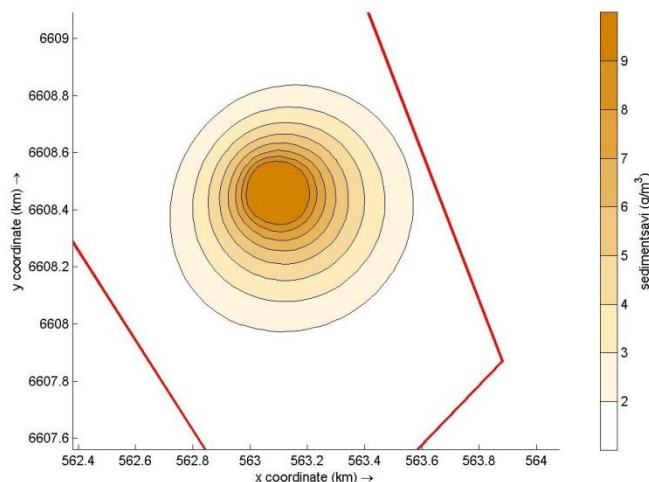
Süvendamisel tekkiva heljumi leviku analüüsimiseks kasutati OÜ IPT Projektijuhtimise töö andmeid. Kuna süvendusala lõikesse jäävad erinevad pinnaste kihid, siis valiti modelleeritavaks heljumiks peened mittekleepuvad saviosakesed, mis annavad arvutustes üldiselt kõige suurema leviala. Keskmine settimiskiirus on simulatsioonides 0,25 mm/s, mis vastab saviosakese settimiskiirusele seisvas vees (Dean ja Dalrymple, 2002).

2.4. Kaadamisel tekkiva heljumi levik

Kaadamisasukohas (Joonis 2.2 **Error! Reference source not found.**) tekkivat heljumat imiteeriti üksikusse võrgupunkti paigutatud konstantse intensiivsusega setete allika kaudu, mis aktiveeriti kindlaks ajavahemikuks (algus: 01.01 10:00, lõpp: 01.01 12:00). Allika võimsuseks valiti 50 kg/s, mis on 3 t/minutis ehk 180 t/h. Selliselt on modelleeritud setete puistamist kahe tunni jooksul laevalt merre. Allika asukoha valik kaadamisasukohas ei mõjuta kuidagi lõpptulemust, kuna tingimused (hoovused, sügavus) ei muutu alas märkimisväärselt. Valitud on siiski puistamine keset ala, vältimaks heljumi levikut üle selle piiride. Setete parameetrid on samad, mis süvendamisel ning sarnaselt eelmises peatükis kirjeldatule on ka siin setete allika võimsus lineaarses seoses heljumi hulgaga arvutusala mistahes punktis.



Joonis 2.2. Kaadamisala (tähistatud punasega) Aksi saare (pruuniga) lähistel.



Joonis 2.3. Heljumi levik 2 tundi pärast kaadamise alguse tuule kiiruse 13 m/s korral. Punasega on tähistatud kaadamisala piirid.

Keskkonnamõju hindamiseks on oluline seada mudelisse kontsentratsiooni piir, millest madalamate puhul ei erine need looduslikust foonist. Laura Raag uuris oma magistritöös (2014) süvendustööde mõju heljumi kontsentratsiooni ruumilisele jaotusele. Ta leidis, et olemasoleva heljumi looduslikus kontsentratsioonis võib tuvastada Eesti rannikul suuri hooajalisi muutuseid (Raag, 2014). Kõrgeimaid kontsentratsioone on täheldatud aprillis, mil toimub fütoplanktoni kevadõitseng (Schneider jt 2006). Suurimad heljumi väärtused Soome lahe avaosas esinevad juulis ja augustis, mis on omakorda seotud sinivetika kogumitega. Heljumi kontsentratsioonide suuremad väärtused oktoobris on põhjustatud tuulepinge kasvust. Madalates piirkondades põhjustab kontsentratsiooni tõusu tuule poolt tekitatud resuspensioon. Raagi magistritöös välja toodud heljumi fooni kaartide põhjal võib valida heljumi kontsentratsiooni looduslikuks piiriks konservatiivselt 2 g/m³.

Simulatsioonid viidi välja erinevatest suundadest puhuvate tuule kiiruste kvantiilide korral. Tabel 2.2 kajastab tulemusi ning Joonis 2.3 kujutab üht tulemust. Võrreldes neid kaadamisala gabariitidega (1100 × 2100 m), siis võib öelda, et merre puistatavast materjalist ei liigu heljumina üle kaadamisala piiride. Kuna avamerel ei teki lainetuse murdumisest põhjustatud rannalähedast hoovust ning tuule poolt põhjustatud hoovus mõjub veepinna lähedal (Roelvink ja Reniers, 2011), siis võib kaadatavat materjal liikuda väljapoole kaadamisalast ainult tugevama tuule korral, kui see puistatakse merre kaadamisala piiridele lähemal kui 500 m. Süvendatud materjali ei tohiks kaadata, kui tuule kiirus on üle 3 tunni olnud üle 14 m/s.

Tabel 2.2. Heljumi kontsentratsiooni leviku piiri ligikaudne kaugus kaadamispunktist

	0–90°	90–180°	180–270°	270–360°
Kaugus, m	850	850	950	900

KASUTATUD KIRJANDUS

Baltic Sea Hydrographic Commission. 2013. Baltic Sea Bathymetry Database version 0.9.3. Alla laaditud lehelt <http://data.bshc.pro/> 29.04.2016.

Dean, R. G., Dalrymple, R. A. 2002. *Coastal Processes with Engineering Applications*. Cambridge University Press.

Raag, L. 2014. Süvendustööde mõju heljumi kontsentratsiooni ruumilisele jaotusele, hinnatuna kaugseire andmetest. Tallinna Tehnikaülikool.

Roelvink, D., Reniers, A. 2011. *A Guide to Modeling Coastal Morphology*. World Scientific.

Schneider, B., Kaitala, S., Maunula, P. 2006. Identification and quantification of plankton bloom events in the Baltic Sea by continuous pCO₂ and chlorophyll a measurements on a cargo ship. *Journal of Marine Systems*, 59, pp. 238–248.