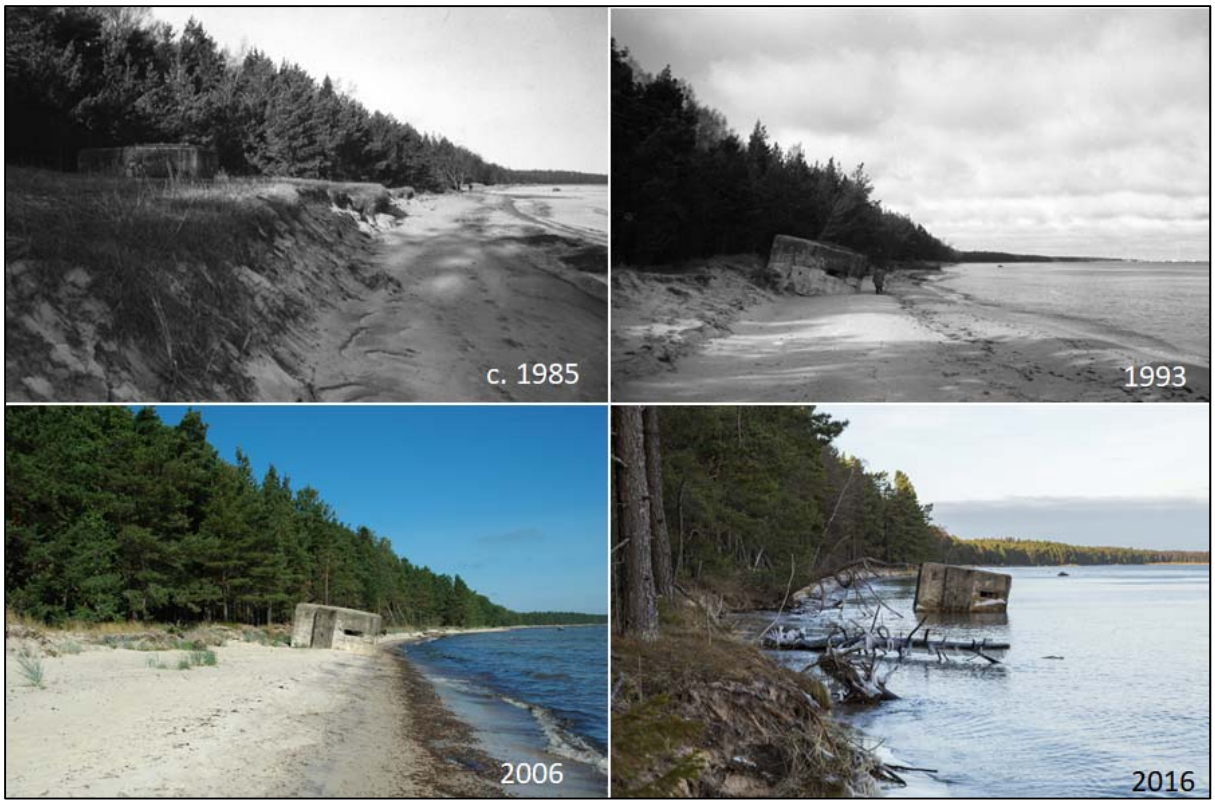
Tareste Lahe põhjasetete koostis ja dünaamika
Lehtma sadama süvendamise mõju rannaerosioonile ja selle leevendamise võimalused

Riko Noormets[1], Kaarel Orviku[2], Hannes Tõnisson[2], Martin Liira[3], Peeter Väling[4], Kevin Kirsch[5], Sten Suuroja[6], Igor Prigoda[7]
[1] – Department of Arctic geology, University Centre in Svalbard
[2] – Loodus- ja terviseteaduste instituut, Tallinna Ülikool
[3] – Geoloogia osakond, Tartu Ülikool
[4] – Veeteede Amet
[5] – Rocca al Mare Kool, Tallinn
[6] – Meregeoloogia ja geofüüsika osakond, Eesti geoloogiateenistus
[7] – MTÜ Hiiu Tuul

Sissejuhatus ja motivatsioon

Tareste Lahe läänekaldale on viimastel aastakümnetel saanud osaks tugevad kulutusprotsessid. 1960-70-l Tõrvaninas laiunud Hiiumaa suurim ujumisrand on tänaseks muutunud kitsaks liivaribaks ning sügis- ja talvetormid nõuavad igal aastal mitu meetrit rannaastangust lisa (Joonised 1 ja 2).



Joonis 1. Rannajoone kiirest taandumisest alates 1980-st aastatest annavad tunnistust betoonist militaarobjektid. Fotod Hiiumaa muuseumist, fotograaf Mart Mõniste.

Joonis 2. Purustused Tõrvanina rannas RMK puhkealal. Fotod: 2012: P. Kondratjev (Hiiu Leht); 2015-2019: R. Noormets.

Lisaks suurtele iga-aastastele purustustele Tõrvanina rannas on erosioon Tõrvanina ja Lehtma sadama vahelisel lõigul põhjustanud tugevaid purustusi ka kinnistutele. See on sundinud kohalikke elanikke võtma kasutusele erinevaid meetmeid ranna kindlustamiseks takistamaks kinnistute edasist hävimist ja vältimaks otsest ohtu hoonetele (Joonis 3).

Joonis 3. Purustused kinnistutele Lehtma ja Tõrvanina vahelisel alal. Meri on viinud nii kallasraja kui ka kinnistute piiripostid. Kohalikud elanikud on sunnitud aktiivselt kinnistuid kaitsma kasutades järjest ulatuslikemaid ja kallimaid meetode.

Liivarandade põhiliseks setete transporti kontrollivaks teguriks on lained ja lainetekkelised hoovused ning põhiosa setteid liigub rannavööndis lainetsoonis (näiteks Orviku, 2018). Intensiivne rannapurustuste algus Tõrvanina rannas langeb kokku Lehtma sadamakai valmimisega 1985 aastal. Seda kinnitavad nii kohalike elanike aastakümnetetepikkune kogemus kui ka viited erialakirjanduses ja ajakirjanduses (Orviku, 2018; Kaptein, 2012, 2017; Noormets, 2017; Roosna, 2017). Ka 2009. aastal seoses süvendusloa taotlusega tehtud keskkonna mõju hinnang (KMH) konstateeris, et nii sadamal kui ka faarvaatri süvendustöödel on negatiivne mõju ümberkaudsele merekeskkonnale ja ranna arengule (Sipelgas et al., 2009).

Kõik eelpool nimetatud tööd on ühel meelel, et loode-kagusuunaline betoonkai blokeerib looduslikku, piki randa põhjast lõunasse liikuvat settevoolu, põhjustades kaist lõunasse

jääval rannaalal settedefitsiidi ja intensiivse erosiooni. Kai põhjaküljel moodustunud kunstlik puhver on aastakümnete jooksul täitunud setetega ja sinna on tekkinud tehislik rand (Joonis 4). Tänapäeval liigub looduslik settevool piki kaid ja tehislikku randa ning sellega piirnevat madalmere põhja ümber kai kagunurga lõunasuunas (Joonis 4; Sipelgas 2009). Seetõttu ummistub sadama sissepääs liivaga ja faarvaater nõuab pidevat süvendamist. Süvendamise käigus võetakse setted, mis looduslike protsesside mõjul jätkaks liigumist rannavööndis lõunasuunas, ranniku settesüsteemist välja. See põhjustab kaist lõunasuunas jäävatel rannaaladel märkimisväärse setete defitsiidi. Arvestades süvendusmahtusid on tegemist olulise negatiivse mõjuga ranna arengule. Kui näiteks aastane lubatud süvendusmaht 50,000 m^3 jaotada ühtlaselt kogu c. 5 km pikkusele rannaalale Lehtmast Tareste ojani moodustaks see 10 m^3 liiva rannajoone jooksva meetri kohta. See on 1 m paksune ja 10 m laiune liivarand! Tegelikud süvendusmahud võivad küll varieeruda ja olla sellest mõnevõrra väiksemad (Kaptein, 2012), kuid on fakt, et süvendamisel eemaldatakse järjepidevalt liiva rannavööndist, mis vastasel juhul moodustaks puhvri dünaamilises tasakaalus oleva loodusliku ranna näol, mis kaitseks liivaranda tormipurustuste eest. Seega on süvendamisel otsene ja oluline negatiivne mõju kogu Tahkuna poolsaare idaranniku arengule ja litodünaamikale.

Joonis 4. Tahkuna poolsaare idakalda lito- ja morfodünaamika erinevates rannalõikudes. Setete allikaks on põhjaranniku erosioon Lõimandu rannas, kust settevool liigub lõunasuunas piki rannikut. Sadamakai ehitusel tekkinud "settelõksu" täitumisel liivaga on moodustunud uus rand kai põhjaküljele (fotod 1 ja 2). Tänapäeval jätkub looduslik settevool ümber kai idakülje (sinine nool, illustratsioon Hiiu Lehest). Setete akumulatsiooniala on lahe põhjas kuhu on moodustunud liivast Tõrvanina maasäär (foto 3). Fotode numbrid ja kaamera suunad on näidatud kaardil. Aluskaardiks on ortofoto Eesti Maa-ameti Geoportaalist. Fotode allikad: 1- Hiiumaa muuseum (HKMFp754) 1990-l; 2 ja 3- droonifotod August 2018.

Sadama faarvaatris soovitud 5-meetrise sügavuse hoidmiseks süvendamisele hetkel alternatiivi ei ole, küll aga annaks leevendada setete defitsiiti sadamast lõunapoole jääval rannaalal valides süvendatud materjalile kaadamiskoha, mis ei katkestaks looduslikku settevoolu vaid soodustaks selle jätkumist.

2009 aastal tehtud keskonnamõju hinnag (KMH, Sipelgas 2009) käsitleb põhjalikult süvendus ja kaadamistööde käigus tekkiva hõljumi levikut ja selle keskonnamõjusid, kuid põhjasetete transpordi- ja dünaamika analüüs tugineb vaid lühiajalistel visuaalsetel vaatlustel ja

hüdrodünaamilistel mudelarvutustel sadama vahetus läheduses. Kuna põhjalähedasi hüdrodünaamilisi mõõtmisi Tareste lahes KMH raames ei tehtud ning varasemast sellised uuringud puudusid, siis jätab KMH tähelepanuta olulise fakti, et kui süvendamisel eemaldatud liiv paigutatakse kohta, kust hüdrodünaamilised protsessid seda enam randa tagasi ei too, on tulemuseks loodusliku settevoo katkemine ning setete puudujääk sadamast lõunasse jääval alal, mis omakorda soodustab aktiivset rannaerosiooni.

Tänaseks on pikaaegne ja järjepidev liiva eemaldamine looduslikust ringlusest viinud loodusliku dünaamilise tasakaalu muutumiseni rannavööndis. Setete juurdevoolu puudumise tõttu on varem eksisteerinud liivarand, mis oli looduslikuks barjääriks tormilainetele ja kaitses kallast murrutuse eest, tänaseks hävinud ning tulemuseks on olukord kus isegi mõõduka kirde- ja idatuulega lõhuvad lained rannaastangut (Joonised 2 ja 3). Harvad pole juhtumid kui rannaerosioon, mis veel kümmekond aastat tagasi toimus vaid sügis- ja talveperioodil, leiab aset ka suvekuudel.

Dr. Kaarel Orviku on uurinud Tahkuna poolsaare randade lito- ja morfodünaamikat ning detailselt käsitlenud Lehtma sadama ja süvendustegevuse ajaloolist tausta ja kaasaegset mõju rannavööndi arengule kasutades pikaajalisi vaatlusi, mõõtmistulemusi ning ajaloolisi kaardiandmeid oma hiljuti avaldatud raamatus ”Rannad ja rannikud” (Orviku, 2018). Muu hulgas näitavad tema poolt ajalooliste andmete põhjal tehtud arvutused, et 1888-1914 Tõrvanina akumulatsioonialal settinud liivakeha aastane juurdekasv vastab üsna täpselt aastatel 1916-1975 Lehtma sadama muuli ääres aastasele kuhjumisele. See annab hea ettekujutuse looduslikust dünaamilisest tasakaalust ja aastastest settevoo mahtudest, mis looduslike protsesside tulemusel rannavööndis liikusid betoonkaile ja süvendustegevusele eelnenud perioodil. Võrreldes Dr. Orviku poolt leitud aastast looduslikku settevoolu mahtu (c. 1400-1600 m^3) tänapäevaste Lehtma sadama süvendusmahtudega (c. 3,000 - 25,000 m^3) tuleb nentida, et süvendustööde tõttu setted kaist lõunapoole enam liikuma ei pääse.

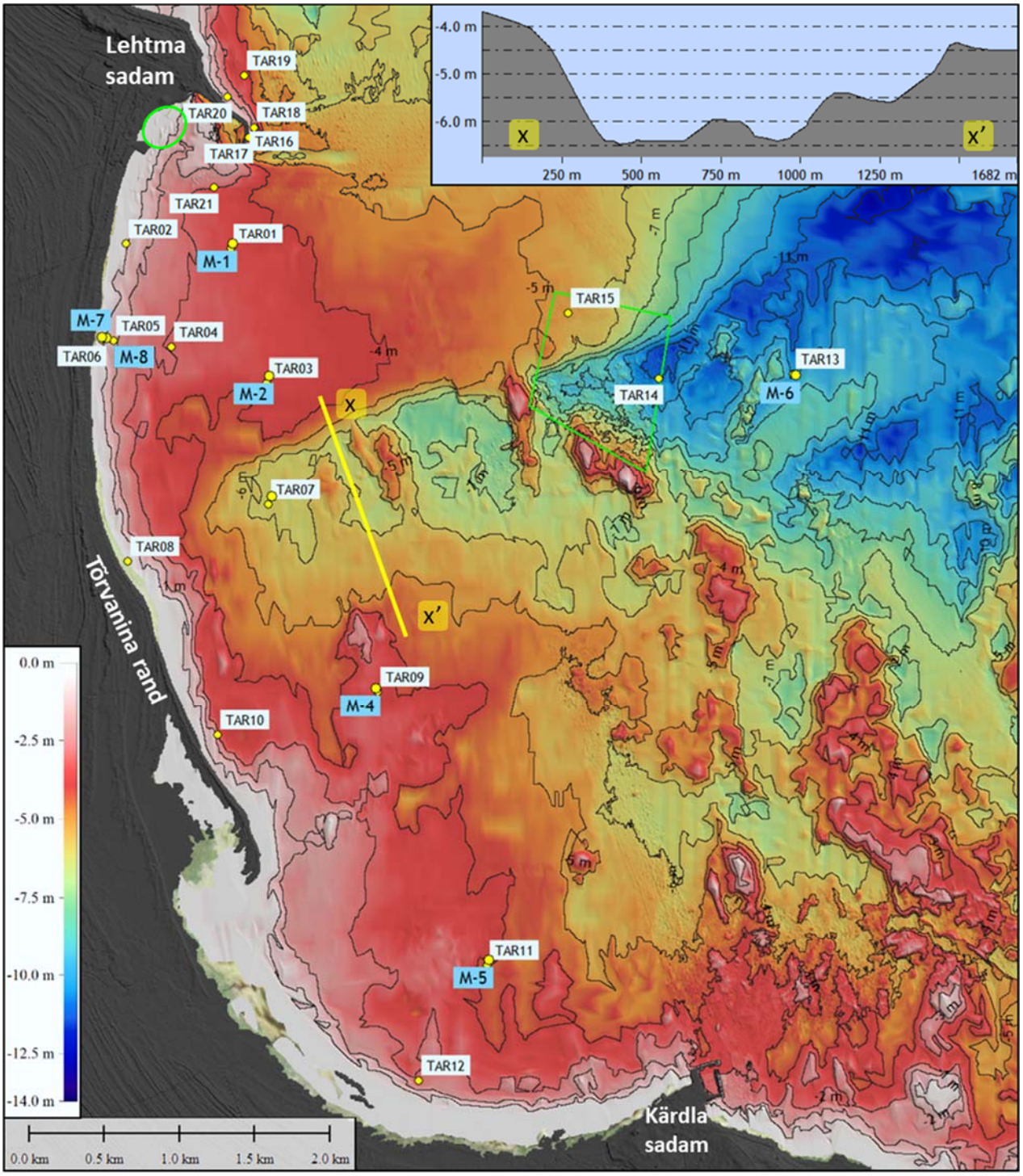
Vaadates mõnekümne aastaga looduses toimunud muutusi tuleb tunnistada, et kaadamiskohtade valik on ebaõnnestunud, sest ei ole arvestaud Tareste lahe põhja hüdro- ja settedünaamikaga. Süvendustööde, ja eriti kaadamiskoha valiku mõju adekvaatseks hindamiseks rannavööndi arengule on äärmiselt oluline kaardistada setete dünaamika Tareste Lahes.

Käesolev raport esitab esmakordselt Tareste Lahe põhjalähedase hüdrodünaamika mõõtmistulemused ning koos põhjasetete lõimise ja mineraloogilise koostise uuringutega analüüsib põhjasetete transporti ja dünaamikat Tareste lahe lääneosas. Töö eesmärk on leida Lehtma sadama süvendusmaterjalile praegusest sobivam kaadamisala, mis tagaks loodusliku lõunasuunalise setteringluse jätkumise Tahkuna poolsaare idarannikul ja leevendaks setete defitsiiti Lehtma ja Tõrvanina vahelisel rannalõigul.

Tareste Lahe morfoloogia ja setted

Tareste laht on madalaveeline laht Hiiumaa kirderannikul. Tahkuna poolsaare idapoolsel küljel sügavneb rannanõlvak ühtlaselt c. 3 m sügavusele 200-300 m kaugusel rannajoonest. Sealt edasi on rannanõlv laugem sügavnedes kuni 5-6 meetrini 3-4 km kaugusel rannajoonest. Seda suhteliselt lauget rannanõlva liigestab mõnevõrra sügavam edela-

kirdesuunaline org ranniku keskosas (Joonis 5). Lahe keskosas ulatub sügavus 12-13 meetrini. Merepõhi on vahelduvalt liivane ja kivine. Liivaste meresetete transport rannalähedases madalmeres toimub põhiliselt lainete ja lainetekkeliste hoovuste mõjul. Põhjasetete transpordiks vajalik voolukiirus sõltub põhiliselt settematerjali lõimisest (terasuurusest) ja mineraloogilisest koostisest.



Joonis 5. Tareste Lahe põhja morfoloogia ja põhjalähedase voolukiiruse mõõtepunktid M-1 kuni M-8 (suuremad kollased punktid helesiniste siltidega) ja lahest kogutud setete proovivõtukohad TAR01 kuni TAR21 (väiksemad kollased punktid helehallide siltidega). Roheline nelinurk ja ellips tähistavad kaadamisalasid Tareste lahe keskosas ja rannaalal. x-x'

tähistab sügavusprofiili läbi kirde-kagusuunalise oru. Maismaa reljeef (1x1 m kõrgusmudel) pärineb Maa-ameti geoportaalist ja merepõhja reljeef (3x3 m sügavusmudel) põhineb Veeteede Ameti sügavusandmetel.

Metoodika ja instrumendid

Tareste Lahe põhjasetete liikumise uurimiseks kasutati ”Marotte HS” vee voolukiiruse mõõtmise instrumenti (*http://www.marinegeophysics.com.au/current-meter/*). Marotte voolukiiruse mõõtja kujutab endast positiivse ujuvusega koonusekujulist anumat, mis on varustatud andmete salvestajaga, magnetkompassiga ja akselerомeetriga. Instrumendi üks ots on ankurdatud merepõhja ja hoovuste puudumisel seisab instrument üleslükkejõu mõjul vees vertikaalselt (Joonis 6).

Joonis 6. Marotte HS instrumendi paigaldamine merepõhja ja instrument merepõhjas tööasendis.

Vee liikumise mõjul instrument kaldub vertikaalist kõrvale teatud nurga võrra (mida tugevam hoovus seda suurem kaldenurk). Kaldenurk- ja suund salvestatakse 1 Hz sagedusega mälukaardile ning kasutades kalibreerimiskoefitsente konverteeritakse põhjalähedase veevoolu diagnostilisteks parameetriteks (kiirus ja suund) kasutades vastavat andmetöötlustarkvara.

Kuus instrumenti paigutati merepõhja Tareste Lahe lääneosas; üks 30. Septembril ja viis 1. Oktoobril 2017. Viis instrumenti (M-1 – M-5) asetati paralleelselt rannajoonega Lehtma sadamast lõunasse jäävale lõigule 3-6 m sügavusele c. 1 km kaugusele rannast ja üks praeguse süvendusmaterjali kaadamiskoha lähedusse c. 10 m sügavusele rannast c. 4.6 km kaugusele (Joonis 5). Lisaks paigutati kaks instrumenti (M-7 ja M-8) rannajoone lähedale rannanõlva madalamasse ossa 9. juulil.

Sõltuvalt tingimustest merepõhjas ja patarei kestvusest salvestasid M-1 – M-6 instrumendid põhjalähedase veekihi voolukiirust 1 Hz sagedusega maksimaalselt kuni 26. Maini 2018. Instrumentide geograafilised koordinaadid, sügavused ja vastavad mõõteperioodid on esitatud tabels 1.

	Geogr. laius	Geogr. pikkus	Sügavus (m)	Algus	Lõpp
M-1	59°03.593 N	22°42.044 E	3.14	2017-09-30 11:31	2018-04-07 03:11
M-2	59°03.117 N	22°42.270 E	3.18	2017-10-01 00:00	2018-05-26 18:19
M-3	59°02.685 N	22°42.270 E	5.56	2017-10-01 00:00	2018-05-27 15:19
M-4	59°01.991 N	22°42.960 E	3.23	2017-10-01 00:00	2018-04-01 09:20
M-5	59°01.008 N	22°43.691 E	3.20	2017-10-01 00:00	2017-12-25 00:00
M-6	59°03.072 N	22°45.930 E	9.92	2017-10-01 18:00	2018-05-26 15:15
M-7	59°03.265 N	22°41.151 E	1.70	2018-07-09 10:20	2018-08-05 09:25
M-8	59°03.270 N	22°41.121 E	0.92	2018-07-09 10:24	2018-09-06 07:41

Tabel 1. Instrumentide geograafilised koordinaadid, sügavused ja vastavad mõõteperioodide algus- ja lõpp-kuupäevad.

Kolm instrumenti (M-2, M-3 ja M-6) töötasid kogu 237-päevase mõõteperioodi jooksul. M-1 lõpetas töö 7. Aprillil 2018 patarei tühjenemise tõttu olles salvestanud andmeid 189 päeva. M-4 oli ankru küljest lahti pääsenud 2. Aprillil pärast 184 päevast salvestusperioodi. Õnneks oli instrument triivinud Roograhu sadama lähistel randa kus sadama inimesed selle leidsid. M-5 andmed aga näitasid, et alates 24. Detsembrist 2017 oli instrument ebaharilikult staatiline, mille põhjuseks oli kõige tõenäolisemalt intensiivse akumulatsiooni tulemusena nii ankru kui ka instrumendi alumise otsa liiva sisse mattumine. Seda kinnitasid ka instrumendi merepõhjast väljatoomisel tehtud vaatlused 25. Mail, mis kinnitasid instrumendi alumine osa c. 7 cm sügavuselt liiva mattumist, andes kogu akumuleerunud settekihi paksuseks c. 20 cm. M-5 salvestas usaldusväärseid andmeid kokku 85 päeva. M-7 ja M-8 installeeriti merepõhja 2-3 kuuks 9. juulil, et saada ettekujutus merepõhja hüdrodünaamikast madalaveelisel rannanõlval.

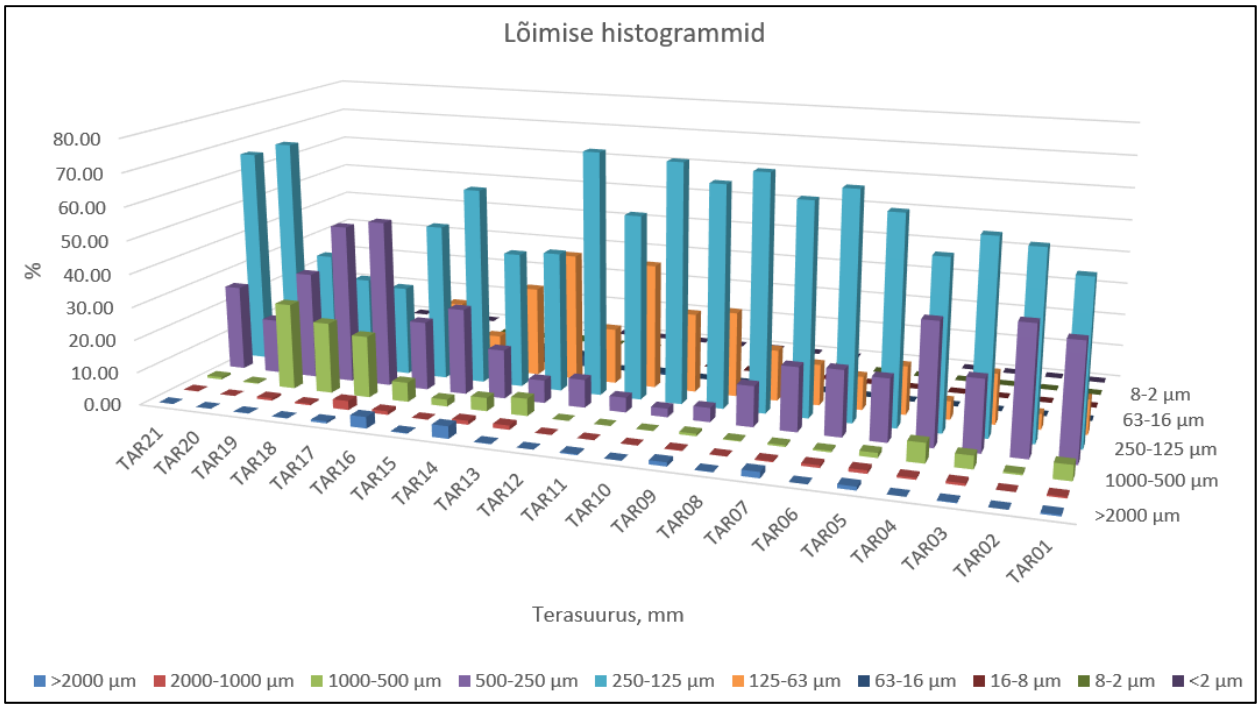
Põhjasetted

Mere põhjasetetest koguti proovid 2018 aasta augustis kokku 21-s punktis kasutades Eesti Geoloogiateenistuse van Veen koppa (Joonised 5 ja 7). Proovid analüüsiti Tartu Ülikooli geoloogiaosakonna laboris. Suurem kui 0.5 mm fraktsioon analüüsiti käsitsi märgsõelumisel. Väiksema kui 0.5 mm fraktsiooni osakesed mõõdeti laserdifraktsiooni analüsaatori Mastersizer 3000E Hydro EV märgdispersioonil. Arvestades setete ühetaolist ilmet ja lõimist tehti mineraloogiline analüüs ühest proovist, TAR12.

Joonis 7. Van Veen kopaga merepõhjast setteproovide võtmine.

Mõõtmistulemused ja analüüsi käik

21 punktis, TAR01-TAR21, võetud setteproovide lõimise analüüs näitas, et Tareste Lahe lääneosa põhjasetted on üsna ühetaolised ja koosnevad c. 95-99% ulatuses hästisorteeritud keskmisest kuni peeneteralisest liivast (fraktsioon 500-63 µm). Jämedama liiva osakaal on mõnevõrra suurem ainult sadamast põhjapoolt ja betoonkai vahetust lähedusest (kompensatsioonialalt) võetud proovides (TAR16-TAR19). Terasuuruse jaotus proovides on esitatud Joonisel 8, ning TAR12 proovi mineraloogilise analüüsi tulemused Tabelis 2.

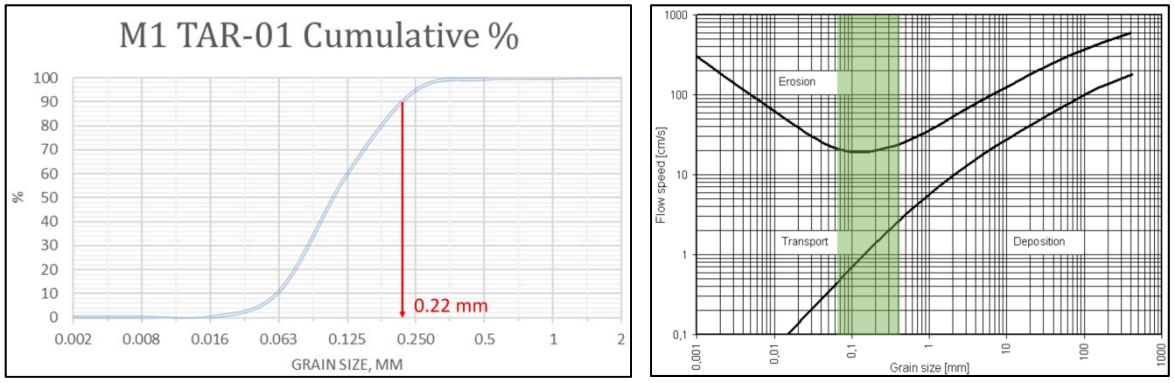


Joonis 8. Tareste Lahest kogutud setteproovide lõimis. Proovide TAR01-TAR21 asukohad on näidatud Joonisel 6.

	Kvarts	K-päevak.	Plagioklass	Amfiboliit	Kaltsiit	Dolomiit
TAR12	87.3%	5.7%	4.4%	1.4%	0.5%	0.5%

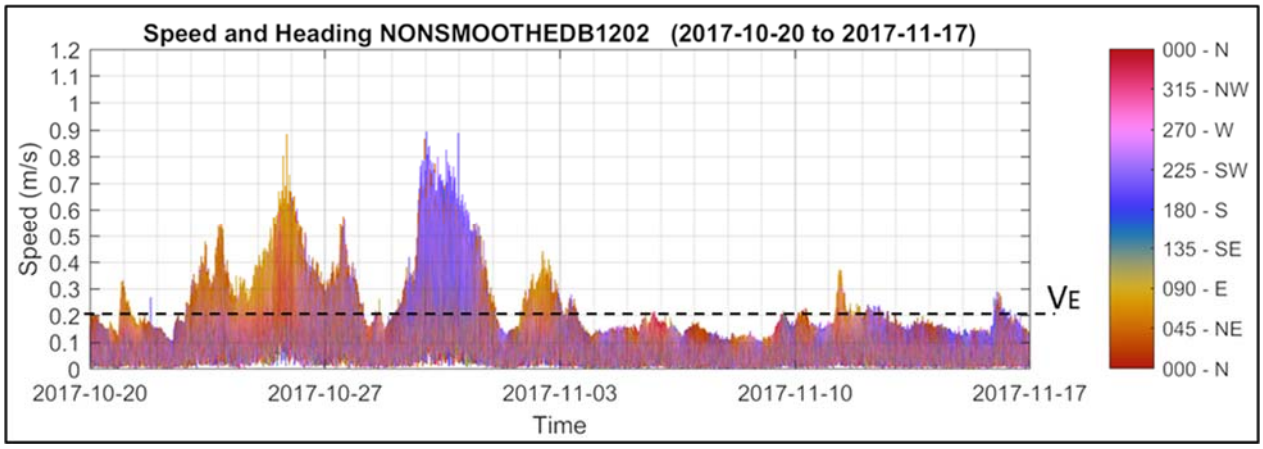
Tabel 2. Tareste Lahe setteproovi TAR12 mineraloogiline koostis näitab, et tegemist on kvartsliivaga.

Lõimise analüüsi põhjal määrati punktides TAR01, TAR03, TAR06, TAR07, TAR09, TAR11 ja TAR13 setteproovide D90 diameeter (sette terasuurus, millest 90% kogu proovis on väiksema diameetriga) (Joonis 9A). Ülalnimetatud proovivõtupunktid vastavad punktidele kus asusid ka Marotte HS voolukiiruse mõõtjad M-1 kuni M-8, et oleks võimalikult otsene võrdlus põhjasetete ja põhjalähedal mõõdetud voolukiiruse vahel (Joonis 5). Arvestades aga Tareste Lahe lääneosa põhjasetete äärmiselt ühetaolist lõimist, võib mõõdetud voolukiiruste alusel hinnatud settetransporti lugeda esinduslikuks kogu Tareste Lahe lääneosale. D90 diameetriga osakeste erosiooniks vajalik minimaalne voolukiirus määrati iga mõõtepunkti jaoks Hjulströmi diagrammilt (Joonis 9B). D90 diameeter valiti setete transporti silmas pidades konservatiivsetel kaalutlustel s.t. et D90-le vastava voolukiiruse korral on 90% merepõhja settematerjalist mobiilne (hõljumis) ning toimub arvestatav transport domineeriva põhjalähedase hoovuse suunas.



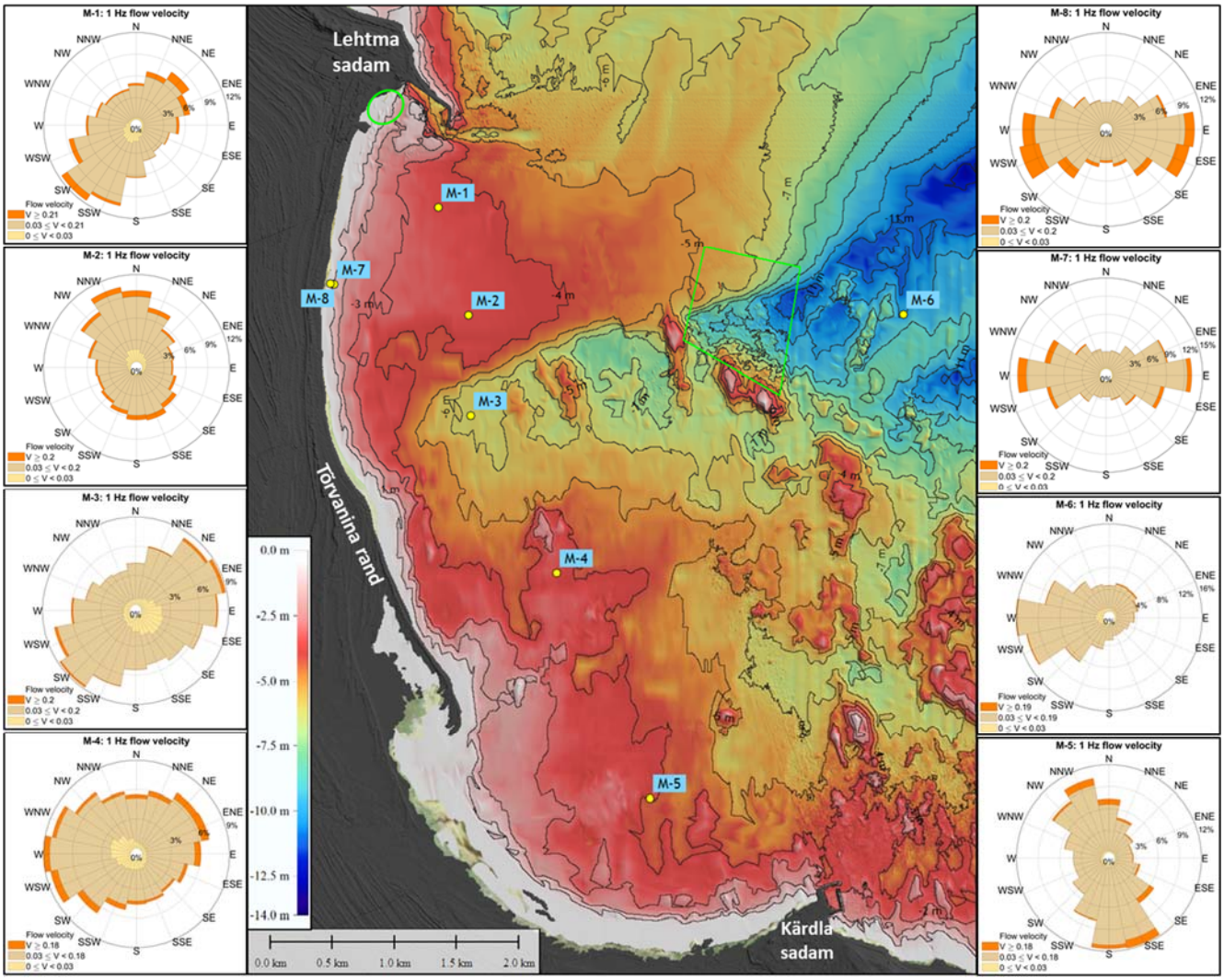
Joonis 9. A) Kumulatiivne terasuuruse jaotus proovis TAR01, ning vastav D90 diameeter, mida kasutati põhjasetete erosiooni piirkiiruse leidmiseks. B) Hjulstömi diagram, mis näitab seost põhjasetete terasuuruse ja põhjalähedase voolukiiruse vahel. Roheline ala tähistab peene- kuni keskmiseteralist liiva, mis moodustab >95% põhjasetetest Tareste Lahes. Töös kasutatud erosioonikiiruse, V_E, määramisel on kasutatud erosioonikõverat ja settimiskiiruse, V_S, määramisel settimiskõverat.

Joonisel 10 on näide vee voolukiiruse ja -suuna algandmetest.



Joonis 10. Marotte HS voolukiiruse ja -suuna andmete näide. Kuvatud on kõik 1 Hz sagedusega salvestatud väärtused. Kiirus on y-teljel ja värviga on näidatud voolu suund vastavalt skaalale joonise paremas servas. Katkendjoon märgib erosioonikiirust, V_E, mis valiti vastavalt lõimise D90 diameetrile igas punktis.

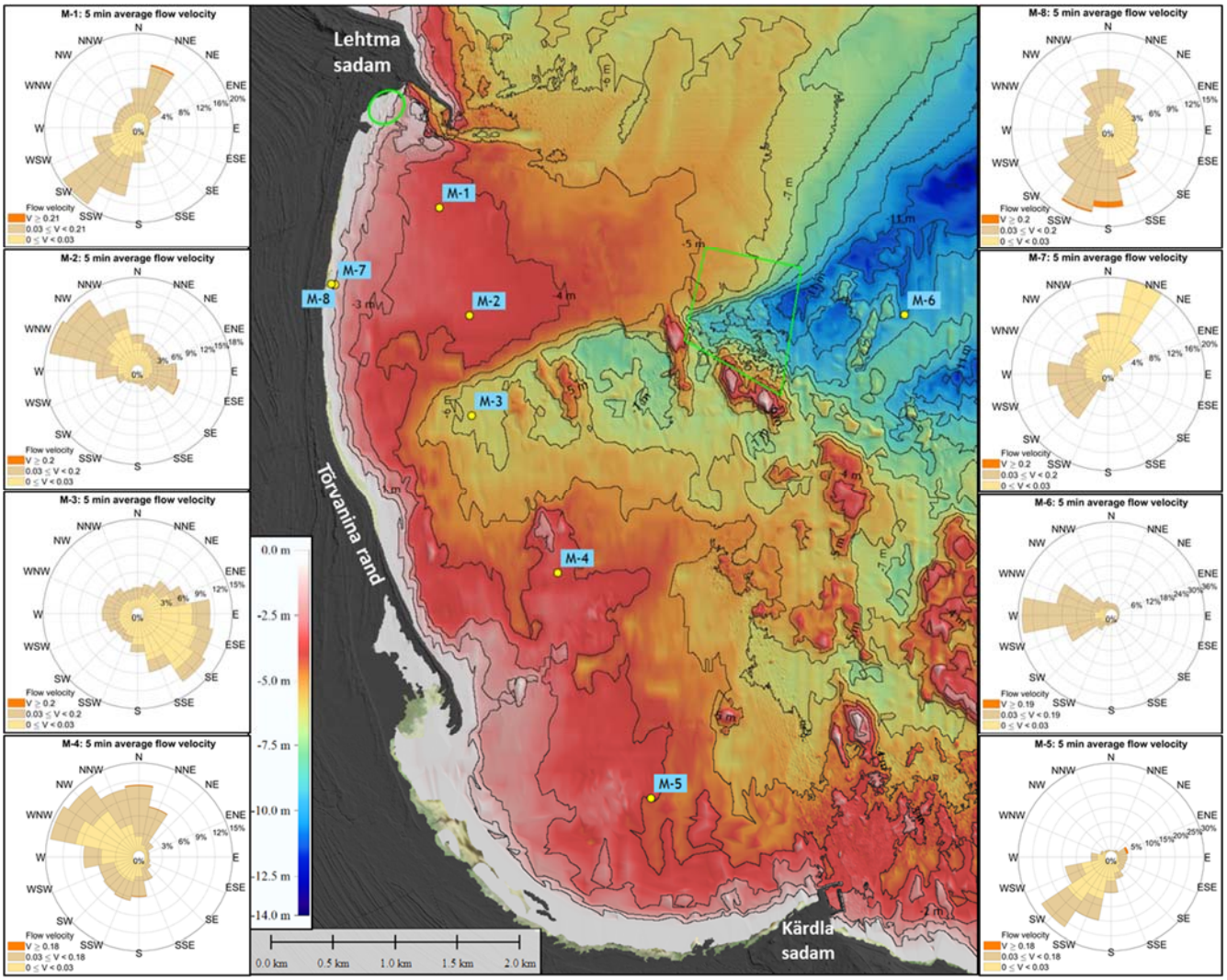
Voolu kiiruse ja suuna ajalist jaotust illustreerivad paremini ”tuuleroosi”-tüüpi graafikud kus värviskaala näitab kiirusvahemikke ja horisontaalteljel on näidatud voolusuuna ajalise jaotuse % kogu mõõteperioodist vastavates mõõtepunktides (Joonis 11).



Joonis 11. Mõõdetud voolukiiruse ja -suuna ajaline jaotus mõõtepunktides M-1 kuni M-8. Rohelise joonega on tähistatud praegused süvendusmaterjali kaadamisalad. Kuvatud on kõik 1Hz sagedusega mõõdetud väärtused. Kiirused on jagatud kolme vahemikku: < 3 cm/s (keskmiseteralise liiva transpordi piirkiirus) kus setete liikumist praktiliselt ei toimu; 3 cm/s – c. 18-21 cm/s (D90 vastav erosioonikiirus) toimub hõljumis olevate setete transport domineerivas voolusuunas; >18-21 cm/s voolukiirustel toimub põhjasetete mobiliseerimine ja intensiivne transport.

Voolukiiruse ja -suuna graafikud on valdavalt kahes vastassuunas väljavenitatud, mis näitab lainetuse põhjustatud edasi-tagasi voolu mõju merepõhjas. Lainetuse mõju on väiksem vaid M-6 punktis, kuna see asub tunduvalt sügavamas vees kui ülejäänud punktid. Kuigi voolukiirus ületab erosioonikiirust suhteliselt väikese osa ajast (Tabel 3), tuleb siin silmas pidada, et esiteks on erosioonikiirus konservatiivselt valitud, mistõttu on teatud osa põhjasetteid mobiilsed ka mõnevõrra väiksematel kiirustel, ja teiseks liiguvad setted isegi lainetuse valdavalt edasi-tagasi liikumise puhul ikkagi summaarselt domineeriva voolu suunas.

Domineeriva veevoolu suund on paremini kuvatud Joonisel 12, mis näitab 5 minuti keskmise voolukiiruse ja -suuna ajalist jaotust.



Joonis 12. 5 minuti keskmise voolukiiruse ja -suuna ajaline jaotus mõõtepunktides M-1 kuni M-8. Rohelise joonega on tähistatud praegused süvendusmaterjali kaadamisalad. Kiirused on jagatud kolme vahemikku: < 0.03 m/s (keskmiseteralise liiva transpordi piirkiirus) kus setete liikumist praktiliselt ei toimu; 0.03 m/s – c. 0.18-0.21 m/s (D90 vastav erosioonikiirus) toimub mõõdukas hõljumis olevate setete transport domineerivas voolusuunas; >0.18-0.21 m/s voolukiirustel toimub põhjasetete mobiliseerimine ja intensiivne transport.

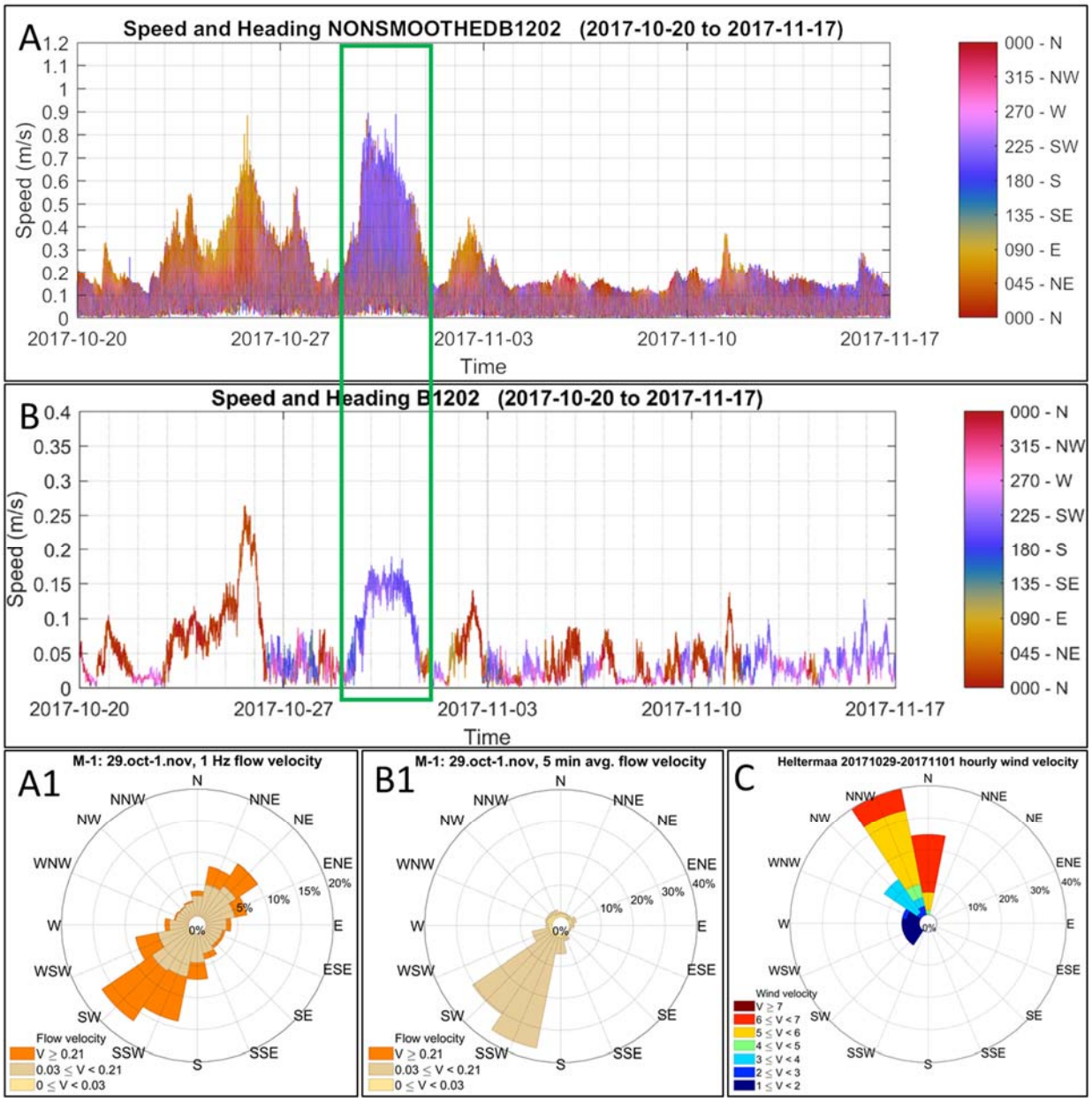
Põhjasetete transpordiks vajalike tingimuste esinemise sagedus merepõhjas on toodud Tabelis 3. Oluline on siinkohal märkida, et sügavuse suurenedes vaid paari meetri võrra väheneb setete transpordiks soodsate tingimuste esinemise sagedus mitu korda.

	Sügavus (m)	V>V_E (%)	V_{5m}>V_E (%)
M-1	3.14	6.6	0.5
M-2	3.18	7.5	0.3
M-3	5.56	1.8	0
M-4	3.23	7.7	0.4
M-5	3.20	5.6	0.8
M-6	9.92	1.6	0
M-7	1.70	5.4	0.1
M-8	0.92	11.8	1.5

Tabel 3. Instrumentide sügavused ja vastavates punktides mõõdetud sette transpordiks vajalike voolukiiruste osakaal mõõteperioodist. V – vee hetkeline voolukiirus; V_E – põhjasetete D90 erosiooniks vajalik minimaalne voolukiirus vastavas punktis (0.18-0.21 m/s); V_{5m} – 5 min keskmine vee voolukiirus.

Hetkekiiruste (1 Hz sagedusega mõõdetud) ja 5-minuti keskmiste kiiruste võrdlus näitab, et ehkki keskmised kiirused võivad jääda alla erosioonikiiruse ka tuuliste ilmadega, ületavad üksikute lainete hetkelised kiirused sageli erosioonikiirust ning on piisavad, et põhjasetted ajutiselt mobiliseerida. Põhjalähedases veekihis olev sete liigub aga lainetuse poolt tekitatud hoovustega suunas, mida illustreerib kõige paremini 5-minuti keskmise voolukiiruse ja suuna ajalise jaotuse graafik (Joonised 11, 12 ja 13).

Põhjasetete liikumist illustreerib näide põhjalähedase veevoolu dünaamikast ühe keskmisest tuulisemal perioodil 29. oktoobrist kuni 1. novembrini 2017 (Joonis 13).



Joonis 13. Mõõduka tuulega perioodil (29. okt. – 1. nov. 2017) salvestatud põhjalähedase vee voolukiirus ja -suund punktis M-1 ning vastava perioodi tuule kiirus ja suund Heltermaa ilmajaama andmetel. A) 1 Hz sagedusega salvestatud voolukiirus ja -suund; B) 5-minuti keskmine voolukiirus ja -suund; A1) Voolukiiruse ja -suuna ajaline jaotus perioodil 29. oktoobrist kuni 1. novembrini (paneelil A ja B rohelise joonega tähistatud periood); B1) 5-min keskmise voolukiiruse ja -suuna ajaline jaotus samal perioodil; C) Samal perioodil Heltermaa ilmajaamas mõõdetud tuulekiiruse ja -suuna ajaline jaotus näitab valdavalt põhja- ja põhjaloode tuult 5-7 m/s. Voolu- ja tuulesuuna graafikute võrdlemisel tuleb silmas pidada, et tuule- ja hoovuste suunad on tavapäraselt defineeritud vastupidiselt (tuule suund on suund kust tuul puhub ja hoovuse suund on suund kuhu vesi voolab).

Analüüs ja kokkuvõte

Põhjasetete koostise ja põhjalähedase veevoolu mõõtmistulemuste põhjal on Tareste Lahe Tahkuna poolsele osale iseloomulik põhjasetete liikumine valdavalt lääne- ja lõunakaarde,

üldsuunaga poolsaare tipust Tareste lahe pärasse. Kõige vähemliikuvad on põhjasetted lahe keskkosas (punkt M-6), kus vaid 1.6% mõõtmisperioodist esinesid soodsad tingimused nende transpordiks (Joonis 11, Tabel 3). Selles c. 10 meetri sügavuses vees asuvas punktis oli ka lainetuse mõju merepõhjale kõige väiksem. Domineeriv põhjalähedane veevool oli läänesuunaline.

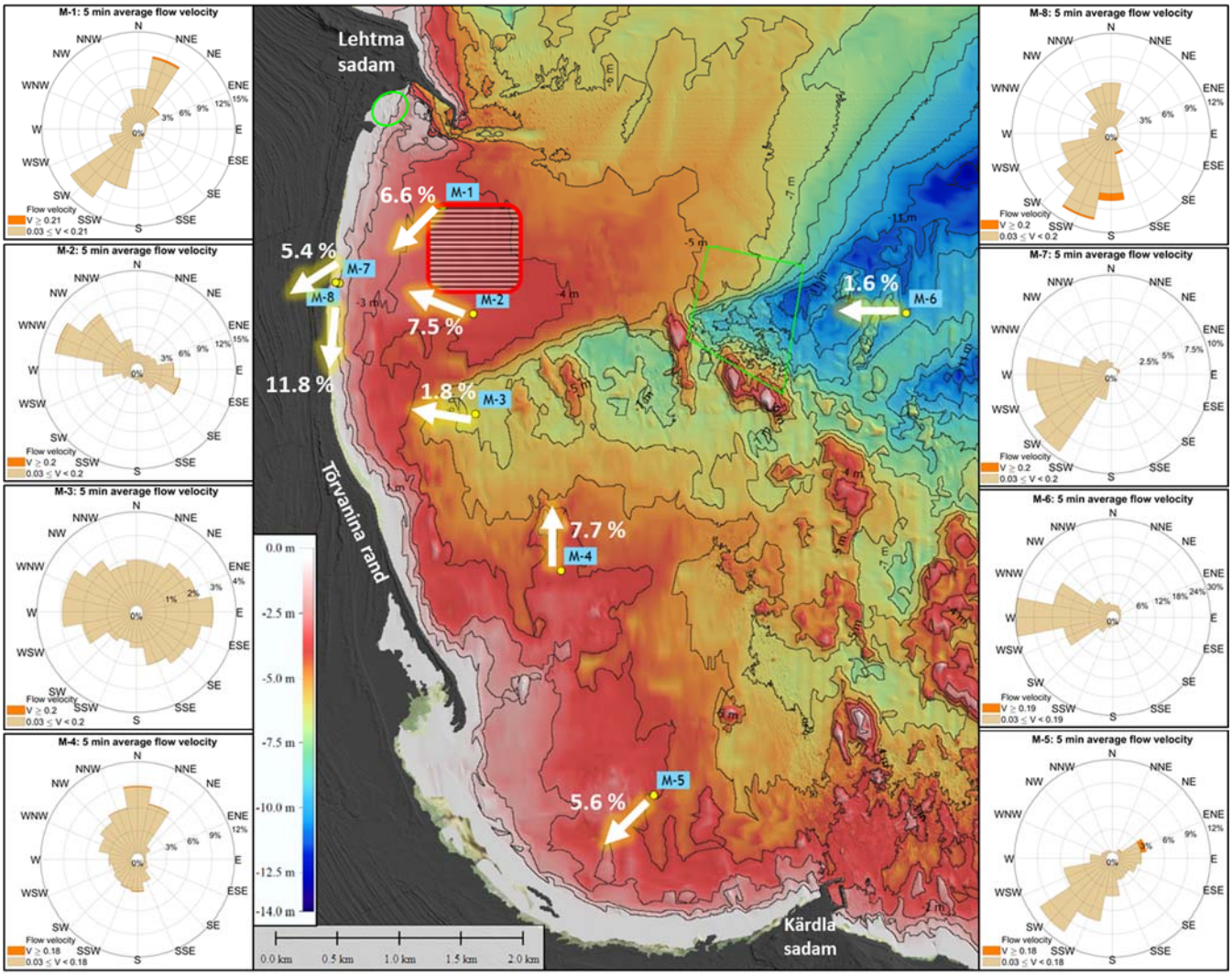
Rannajoonega paralleelselt, 3-4 meetri sügavusele asetatud instrumendid (M-1 kuni M-5) näitasid setete transpordiks soodsaid tingimusi c. 6-8% mõõteperioodist. Erandiks oli punkt M-3, mis asus kirde-edelasuunalises orus mõnevõrra sügavamas, 5.6 meetrises vees, kus tingimused setete transpordiks olid soodsad vaid 1.8% mõõteperioodist. Erandiks oli punkt M-4, mis näitas domineerivat põhjasuunalist transporti. Ülejäänud punktides domineeris lääne- või lõunakaare suunaline vool (M-1 ja M-5 edelasuunaline ning M-2 ja M-3 lääneloodesuunaline).

Kõige mobiilsemad on põhjasetted madalaveelisel rannanõlval. Punktis M-7, kus sügavus oli c. 1 meeter, valitsesid põhjasetete transpordiks soodsad tingimused c. 12% ajast kahekuulise mõõteperioodi jooksul juulis ja augustis. Domineeriv settevoolu suund oli lõunaedel. Arvestades et suvekuud on reeglina hüdrodünaamiliselt üks vaiksemaid perioode, võib arvata, et aasta lõikes on setete mobiislus selles tsoonis veelgi suurem.

Oluline on siinkohal märkida, et punktis M-7 ületas ka 5 minuti keskmine voolukiirus erosioonikiirust c. 1.5% ajast, mis on enam kui kaks korda suurem võrreldes 3-4 meetri sügavuse rannanõlvaga. Sellistes tingimustes toimub reeglina intensiivne põhjasetete transport (Joonis 14). Rannalähedases madalmeres (punktid M-1, M-2, M-4 ja M-5) ületas 5 minuti keskmine kiirus erosioonikiirust c. 0.3-0.8 % mõõdetud ajaperioodist.

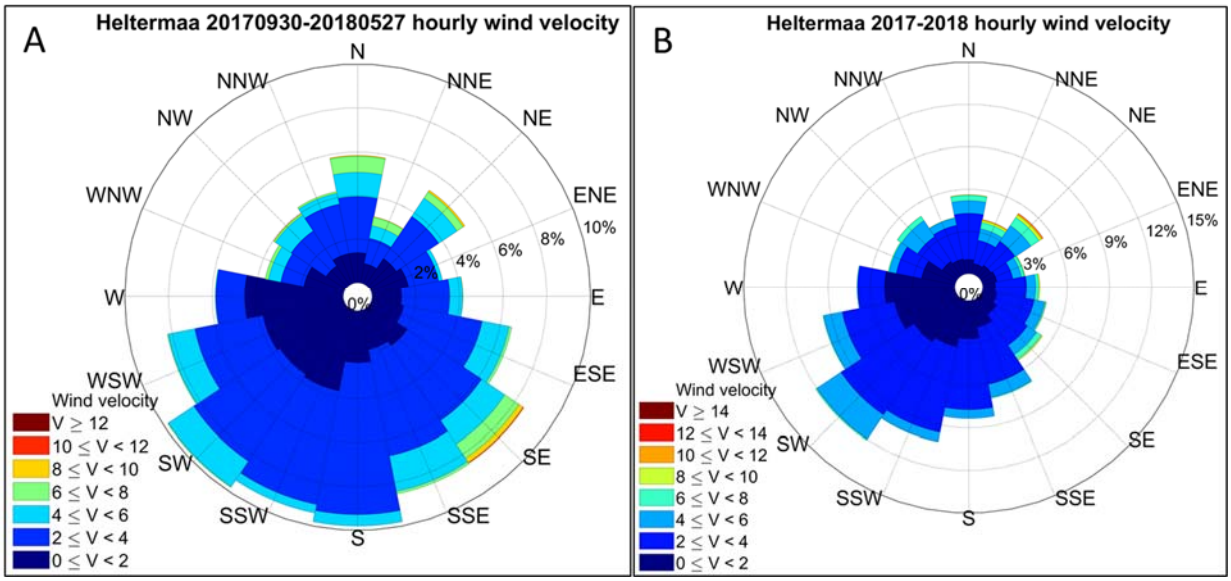
Veealuses orus ja lahe keskosas (punktid M-3 ja M-6) ei ületanud 5 minuti keskmised kiirused erosioonikiirust kordagi. Selle põhjuseks on suurem sügavus nendes punktides, mistõttu ulatub lainetuse ja laine-tekkeliste voolude mõju põhja vähemal määral ja harvemini (Tabel 3).
Veealuse oru rannalähedases osas teatud tingimustel tekkivad idasuunalised hoovused võivad olla seotud põhjareljeefi mõjuga lainetekkelistele hoovustele.

Kokkuvõttes näitavad selle töö raames kogutud andmed, et põhjasetete liikumine Tareste lahes on lainetekkeline ja rannasetete transpordi põhiliseks kontrollivaks jõuks on tugevate tormituultega kujunev murdlaine ja murdlusvool. Rannanõlval domineerib lääne- ja lõunasuunaline settetransport, mis rannanõlva madaldudes intensiivistub (Joonis 14). Tuultehoovustel rannalähedases merepõhjas settetranspordi seisukohast olulist rolli ei ole.



Joonis 14. Tareste Lahe lääneosas mõõdetud voolukiiruse põhjal leitud setete liikumise domineerivad suunad (noolte pikkused on proportsionaalsed . Rohelise joonega piiratud alad märgivad praegu kehtiva vee erikasutusloaga kehtestatud süvendusmaterjali kaadamisalasid. Viirutatud punase joonega märgitud ala 3-4 m sügavuses vees on põhjasetete dünaamika seisukohast sobivaim kaadamispaik, et tagada süvendatud liiva loodusliku voolu jätkumine piki randa lõunasuunas.

Mõõteperioodil ja kogu 2017-2018 valitsenud tuuleandmete sarnasuse põhjal võib väita, et selle töö käigus kogutud merepõhja hüdrodünaamika andmed on esinduslikud ka pikema perioodi kohta (Joonis 15). Kuigi kogu kaheaastase perioodi jooksul on domineerivad lõuna- ja läänekaare tuuled, on tegemist enamasti nõrga tuulega (0-4 m/s) mis ei põhjusta põhjasetete transporti Tareste Lahes. Suuremad tullekiirused (> 6 m/s) on iseloomulikud põhja- ja idakaarele, mis põhjustavad lainetekkelist, valdavalt lõuna- ja läänesuunalist põhjasetete transporti. Seda kinnitavad ka käesoleva töö raames tehtud mõõtmised. Kuigi üksikud lõunatormid võivad põhjustada lühiajalist põhjasuunalist setete liikumist, on nende osakaal lahe põhjasetete dünaamikas vähetähtis.



Joonis 15. Heltermaa ilmajaamas salvestatud tuule suuna ja kiiruse väärtused 1-tunnise sagedusega. A) Perioodil 30. september 2017 kuni 27. mai 2018, mis vastab merepõhjas voolukiiruse ja -suuna vaatlustele; B) Kogu kaheaastase perioodi jooksul 1. jaanuar 2017 kuni 31. detsember 2018.

Lehtma sadama süvendustööde seos põhjasetete dünaamika ja rannaprotsessidega

Sadama faarvaatri süvendamine on vajalik sadama tegevuseks ja sellele arvestatavat alternatiivi hetkel ei ole. Rannaarengu seisukohast aga ei olegi probleemiks niivõrd süvendustööd kuivõrd süvendatud materjali kaadamispaik. Praegu kehtiva vee erikasutusloa kohaselt on sadamale ette nähtud kaks ala sadama basseinist ja faarvaatrist süvendatava materjali kaadamiseks: sadama basseinist vahetult lõunasse jääv rannaala ning kaadamisala Tareste Lahe keskosas (Joonis 14). Vahetult sadamabasseiniga piirnev kaadamiskoht rannaalal on läänest, põhjast ja idast piiratud maa ja kaiga, ning seetõttu kaitstud avamerelt tuleva lainetuse eest. Seepärast sellel alal setete liikumist ei toimu ning rand on suhteliselt kinni kasvanud. Käesoleva uurimuse käigus tehtud mõõtmised näitavad, et samuti on c. 9-10 meetri sügavuses lahe keskkosas asuvas kaadamiskohas merepõhi enamasti aktiivse lainemõju piiridest väljas ning põhjasetete liikumine seal on minimaalne.

2009 aastal tehtud KMH kahjuks merepõhja hüdrodünaamilisi tingimusi ja põhjasetete liikumist Tareste Lahes ei uurinud, piirdudes peaasjalikult vaid hõljumi leviku modelleerimisega ning järeldas seetõttu ekslikult, et ”otseselt süvendustegevus mõju rannaprotsessidele ei avalda”. Nii see kahjuks ei ole. Süvendusmaterjali praegu selleks ettenähtud aladele kaadamine põhjustab loodusliku rannalähedase setteringluse katkemise, mille tulemuseks on Lehtmast Tareste ojani jääval rannalõigul märkimisväärne setete defitsiit ning ranna tunduvalt väiksem vastupanuvõime murrutusprotsessidele. Seega on süvendustegevusel otsene ja negatiivne mõju Tahkuna poolsaare idaranniku settetranspordi ja morfodünaamilistele protsessidele. See negatiivne mõju on aastatega süvenenud ning murrutusprotsessid on tänaseks täielikult erodeerinud kunagise Hiiumaa suurima supelranna Tõrvaninas, nõudes tänapäeval rannaastangust igal aastal mitu meetrit lisa. Samuti kannatavad sellel rannalõigul asuvad kinnistud, kus rannajoone taandumise tõttu ohustavad murrutusprotsessid juba elu- ja abihooneid.

Käesolevas töös esitatud andmetest ja analüüsist lähtuvalt oleks parim kaadamispaik süvendatud setetele mõõtepunktide M-1 ja M-2 piirkonnas 3-4 meetri sügavusel kus domineerib valdavalt rannasuunaline setete transport ning kus looduslikud hüdrodünaamilised protsessid jätkaks kaadamismaterjali transporti mööda rannanõlva kaldapoole, ning sealt edasi piki randa lõunasuunas jätkates looduslikku setteringlust Tahkuna poolsaare idarannikul (Joonis 14). Süvendatud liiva tagastamine looduslikku ringlusse looks eeldused liivaranna taastumiseks, mis oleks looduslikuks puhvriks ning kaitseks liivaastangut tormipurustuste eest. Oluline on siinkohal märkida, et tegemist on rannageoloogilise protsessiga, mille tulemused ei ilmne ”üleöö”. Nii nagu rannapurustuste intensiivistumine ja kriitiliseks muutumine setete juurdevoolu äralõikamisel võttis aega kümneid aastaid, läheb tõenäoliselt aega ka enne kui setteringluse dünaamiline tasakaal taastub ja positiivsed muutused rannas ilmnevad.

Uue kaadamisala kasuks räägivad mitmed kaalukad argumendid:

1) Süvendamisel eemaldatakse looduslikust ringlusest äärmiselt suur kogus liiva. K. Orviku (2018) poolt tehtud arvutused näitavad, et tänased sadama süvendusmahud ületavad looduslike protsesside poolt transporditava liiva mahtusid kordades.
2) Vastupidiselt praegustele kaadamisaladele, kus süvendatud materjal jääb praktiliselt paikseks, jätkuks uuelt kaadamisalalt liiva looduslik vool laineprotsesside mõjul Tahkuna poolsaare idaranniku rannaalale. See taastaks loodusliku settetasakaalu rannavööndis ja moodustaks olulise puhvri, mis kaitseks randa murrutusprotsesside vastu.
3) Merepõhi uuel kaadamisalal on looduslikult liivane, mistõttu olulist muutust ümbritsevale põhjaelustikule ja -taimestikule kaadamisel lisatava liiva tõttu ei toimuks.
4) Madalam sügavus ning varjatum asukoht domineerivate lääne- ja edelatuulte eest uuel kaadamisalal võrreldes praegusega tähendaks materjali kiiremat settimist, mistõttu oleks kaadamisel tekkiva hõljumi levik piiratum. Arvestades, et süvendustöid tehakse vaid suhteliselt tuulevaikse ilma ja minimaalse lainetuse korral ning, et süvendatav materjal koosneb c. 95-99% ulatuses hästi sorteeritud peen- kuni keskteralisest liivast (0.063-0.5 mm), mille settimiskiirus vees on 0.3-5 cm/s, siis näiteks 3-4 m sügavuses vees kaadamisel settib see põhja 20-25 minuti jooksul.
5) Oluline on märkida, et tuuliste ilmadega, eriti idakaare tuultega, toimub põhjasetete suspendeerimine selles vööndis regulaarselt looduslike protsesside tulemusena, mille tulemusena vesi hägustub kogu lahe madalaveelises osas. Mõõtmistulemuste andmetel esinesid sellised tingimused c. 5-8% mõõteperioodist. Peale tuule vaibumist või pöördumist on vesi järgmiseks päevaks tavaliselt selge ning kogu hõljum kas välja settinud või avamerele kantud. Seepärast oleks kaadamisel selles vööndis lühiajaline ja lokaalne mõju, mis sarnaneks looduslikule, ning olulist lisamõju põhjaelustikule ja taimestikule sellega ei kaasneks.
6) Uus kaadamisala on sadamale lähemal, mis lühendaks vahemaad ja aega, mis kulub materjali transpordile, ning on seega majanduslikult efektiivsem ja keskonnasõbralikum kui transport praegusesse kaadamiskohta lahe keskosas.

Kokkuvõttes tuleb rõhutada, et oluline on looduslike protsesside tundmine ja nendega arvestamine optimaalsete insenertehniliste lahenduste leidmiseks rannavööndis tööde planeerimisel ja läbiviimisel, vältimaks ranna loodusliku lito- ja morfodünaamilise tasakaalu rikkumist ning suuremõõdulist negatiivset mõju ranniku arengule. Detailsed hüdrodünaamilised ja settetranspordi uuringud on äärmiselt tähtsad tänapäeval intensiivistuva rannikumere tööstusliku kasutuselevõtuga, kus lisaks sadamatele on suurenev osakaal teistel majandusharudel nagu näiteks tuuleenergia ja vesiviljeluse arendamine. Puudulikud andmed ja valed järeldused põhjasetete erosiooni-, transpordi- ja akumulatsiooniprotsessidest võivad viia sellistes väikelahtedes nagu Tareste laht pöördumatute purustusteni rannavööndis ning põhjasetete reostumiseni tööstuses kasutavate kemikaalide ja toitainetega.

Kirjandus

1. Kask, A., Suuroja, S. ja Talpas, A., 2014. Eesti riiklik keskkonnaseire programm, rannikumere seire allprogramm. 2013 a. mererannikute seire tööd. Eesti Geoloogiakeskus, Geofüüsika, mere- ja keskkonnageoloogia osakond. I ja II köide.
2. Kaptein, H., 2012. Lehtma sadama süvendamiseks kulub igal aastal sadu tuhandeid eurosid. Hiiu Leht Nr. 3 (1458), 10. jaanuar 2012.
3. Kaptein, H., 2017. Tõrvanina rand trügib metsa. Hiiu Leht Nr. 33 (1983), 5. mai 2017.
4. Noormets, R., 2017. Tõrvanina rand trügib metsa: kommentaar artiklile 5. mai Hiiu Lehes. Hiiu Leht Nr. 35 (1985), 12. mai 2017.
5. Roosna, H., 2017. Teadlane: Süvendusmaterjalist Tõrvanina ranna ”remondiks” ei piisa. Hiiu Leht Nr. 41 (2001), 2. juuni 2017.
6. Orviku, K., 2018. Rannad ja rannikud. TLÜ Kirjastus.
7. Sipelgas, L., Raudsepp, U., Kolesova, N., Alari, V., Kõuts, M. ja Lessin, G., 2009. Lehtma sadama süvendustööde keskkonnamõju hindamise aruanne. TTÜ Meresüsteemide Instituut.