



Väikese väina silla alternatiivide mõju uuring

Uuring teostatud projekti KIK-17513 raames

Projekti juht: Taavi Liblik

Version: 30.11.2021

Sisukord

Kokkuvõte	4
Taust	4
Mõõtmistulemused.....	4
Mõju hinnang	6
Väina rollist Väinamere veevahetuses ja pikaajalistest veetaseme muutustest.....	8
Täiendavad uuringud, leevendavad meetmed, seire ja järgnevad tegevused	9
Lõppjärelused	10
Sissejuhatus	11
1. Taust.....	12
1.1. Väina looduskeskkond, tamm ja selle mõju merekeskkonnale varasemate uuringute põhjal.....	12
1.2. Käesoleva uuringu põhjendatus ja eesmärgid	15
1.3. Alternatiivid	16
2. 2020/2021 uuringud	17
2.1. Metoodika	17
2.1.1. Ruumilised füüsikaliste ja biogeokeemiliste parameetrite mõõtmised	17
2.1.2. Aegread poijaamadest.....	19
2.1.3. Ohtlikud ained setetes.....	20
2.1.4. Põhjaelustik.....	21
2.1.5. Füüsikaliste muutujate modelleerimine	21
2.1.6. Biogeokeemiliste muutujate modelleerimine	22
2.1.7. Kalastik	23
2.1.8. Küsitlus.....	27
2.2. Tulemused	28
2.2.1. Ruumilised füüsikaliste ja biogeokeemiliste parameetrite mõõtmised	28
2.2.2. Aegread meteo- ja poijaamadest.....	46
2.2.3. Ohtlikud ained setetes.....	59
2.2.4. Põhjaelustik.....	71
2.2.5. Füüsika mudeli <i>GETM</i> valideerimine	75
2.2.6. Biogeokeemilise mudeli <i>ERGOM</i> valideerimine	81
2.2.7. Kalastik	85
2.2.8. Sotsiaalmajanduslik küsitlus.....	92
3. Avade rajamise mõju	97
3.1. Looduskeskkond.....	97
3.1.1. Veevahetus.....	97
3.1.2. Füüsikalised näitajad.....	100
3.1.3. Vee kvaliteet	113
3.1.4. Põhjaelustik.....	117

3.1.5.	Kalastik	118
3.1.6.	Linnustik ja mereimetajad.....	118
3.1.7.	Natura ala	119
3.2.	Sotsiaalmajanduslik keskkond	121
3.3.	Alternatiivlahenduste võrdlus	123
4.	Täiendavad uuringud, leevendavad meetmed ja seire	126
5.	Järgnevad tegevused	127
	Kasutatud kirjandus	129

Kokkuvõte

Taust

Väike väin on Saaremaa ja Muhu vaheline madal mereala (joonis 1.1.1). 1896. aastal valmis Väinatamm, mille ainuke ava on 4 m laiune Tillunire. Suuremate avade rajamist on käsitletud kahes suuremas uuringus 1999. ja 2009. aastal (MTÜ Eurohouse, 1999; TÜ Eesti Mereinstituut, 2009), kus selget soovitus avade rajamiseks ei antud. Väinatammi avamise teema veelkordseks käsitlemiseks on mitmeid põhjuseid (vt. ptk. 1.2).

Antud töö üleandmise ajal on käimas uue meetmekava koostamine, kus ühe merekeskkonda parandava meetmena on välja pakutud väinatammi avade rajamine. Antud uuringule toetudes on meetmekava koostajatel võimalik meetme tõhususele kinnitust leida (või vastupidi) ning seda vajadusel modifitseerida või detailsemaks muuta.

Käesoleva töö eesmärgiks oli kaardistada praegune olukord ja tammi mõju ning hinnata avade rajamise alternatiivide mõju.

Uuringute käigus tehti kohapealseid veesamba füüsikaliste ja biogeokeemiliste parameetrite ruumilisi mõõtmisi ning registreeriti aegread poiijaamades; koguti põhjaelustiku proovid ja tehti videovaatluseid; tehti katsepüügid kalastiku olukorra kaardistamiseks; rakendati numbrilisi hüdrodünaamika ja ökoloogilisi mudeleid; korraldati küsitlus ning koostati ülevaade järgnevatest tegevustest avade rajamisel. Värsketel uuringutulemustel ja varasemate tööde põhjal koostasime avade rajamise alternatiivide mõju hinnangu.

Mõõtmistulemused

Varasemate tööde kirjeldused viitavad, et tamm eraldab kahte üksteisest selgelt erinevat veemassi: magedam ja kõrgemate üldainete kontsentratsioonidega Liivi lahe vesi ning soolasem ja madalama üldainete sisaldusega Väinamere vesi. Mõõdistusest selgus, et soolsuse jaotus väinas on keerukam, kui varem kirjeldatud. Tammi lähedal olid suvel soolsuse väärtused tunduvalt kõrgemal kui Väinamere ja Liivi lahe avaosas. Ilmselt oli see seotud aurumisega. Sellele viitavad ka tammi lähedal registreeritud kõrged vee temperatuuri väärtused. Kevadel oli olukord vastupidine, st väina siseosas oli vesi magedam ja avamerel soolasem. Võib spekuloida, et kui veevahetus atmosfääriga on merepoolt vaadates negatiivne (domineerib aurumine), siis tekib väina siseosas kõrgema soolsusega veemass võrreldes ümbritseva merealaga. Kui veevahetus on positiivne (domineerivad sademed), siis tekib väina siseosas magedam veemass. Ilmselt on sellise lokaalse, ümbritsevast soolasema/magedama veemassi teke osaliselt seotud tammi olemasoluga, mis piirab lateraalset veevahetust ja segunemist.

Mõõdistused näitasid Tillunire läbivoolu mõju veesamba parameetrite ruumilistele jaotustele. Mõõdistusel registreeriti väina loodeosas, Tillunirest kuni paari kilomeetri kaugusel Liivi lahe omadustega (soolsus, klorofüll *a* ja heljumi sisaldus) veemass.

Soodsa, tugevama tuulega registreeriti kõrged heljumi sisaldused. Liivi lahe poolses väinaosas oli heljumi sisaldus kuni 66 mg/l. Kõrge heljumi sisaldus mõõdeti lõuna-kagutuulega genereeritud lainetusega, mis tekitas setete resuspensiooni. See näitab, et väin on looduslikult kõrge heljumi sisalduse varieeruvusega piirkond.

Ka üldlämmastiku ja üldfosfori jaotustes ei eristu tammist Liivi lahe poole ja Väinamere poole jääv vesi. Mõlema väinaosa keskmine seisundiklass nii üldlämmastiku kui üldfosfori kontsentratsioonide järgi oli 'kesine'. Väina siseses jaotuses on selge tendents, et tammi lähedal on üldainete kontsentratsioonid, eriti lämmastiku puhul, kõrgemad. Kasutades seisundiklasside piirväärtusi oli seal keskkonnaseisund valdavalt

kesine või halb. Võib arvata, et kõrged üldainete (eriti lämmastiku) kontsentratsioonid on tugeva produktsiooni, lagunemise ja vähese veevahetuse tulemus, mis omakorda on tingitud tammi olemasolust.

Poiijaamades mõõtsime temperatuuri, soolsuse, hapniku, hõgususe ja hoovuste aegread. Mõõtmised näitasid, et väina veesamba karakteristikud on ajas varieeruvad ning meteoroloogiliste tingimuste muutustele väga tundlikud. Leidis kinnitust ruumiliste kaardistustega leitu. Väina vee hõgususe tõuseb seoses tuulesündmustega, mis tekitavad lainetust ja tugevat hoovust, mis omakorda põhjustab sette resuspensiooni.

Läbi praeguse ainukese ava (Tillunire) toimub aktiivne voolamine. Samasugune voolamine leiaks aset ka uuttes avades. Voolamine avaldub edasi-tagasi võnkumistena, kuid selle taustal on nn. madalsageduslik hoovus, mis muutub seoses tuuletingimustega. Madalsageduslik hoovus ühes suunas võib kesta päevi ja vahel isegi nädalaid. Tillunire läbiva vee maht on väike, kuid selle mõju oli võimalik soolsuse ruumilistes jaotustes ja ka poiijaamas tuvastada 2,3 km kaugusel olemasolevast avast. Ilmselt on võimalik tammi vastaspoolelt tulevat vett mõlemal pool tammi tuvastada kaugemalgi, nagu simulatsiooni tulemused viitavad. Kahe 28 m ava rajamise oleks tammi läbiv vooluhulga suurusjärgul vaid ligikaudu kaks korda väiksem kui Kasari jõe vooluhulk Matsalu lahte. See on arvestades väinaosade suletust arvestatav vooluhulk ning toetudes Tillunirest läbi voolanud vee vaatlustele, võib selline vooluhulk mängida vee omaduste ühtlustamisel kahe väinaosa vahel arvestatavat rolli.

Väinas toimub võrreldes Väinamere või Liivi lahe avatumate osadega kiirem soojenemine ja jahenemine ning esinevad temperatuuri ja lahustunud hapniku tugevad ööpäevased käigud. Ilmselt on nendes nähtustes oma roll ka tammil, mis piirab lateraalset veevahetust ja segunemist. Sügiseti esinevad perioodid, kui hapniku kontsentratsioonid on alla küllastustaseme. Ka selle nähtuse osaline põhjus võib olla seotud tammiga, mis piirab lateraalset veevahetust ja segunemist.

Ka mõõdetud aegread viitasid, et soolsuse dünaamika ei ole seotud ainult lateraalse vahetusega, vaid ka aurumise ja sademetega. Lähtudes eelnevatest: kuna väina lateraalset veevahetust on tammiga piiratud, siis on vertikaalse vahetuse suhteline osakaal atmosfääriga (aga ka litosfääriga) veesamba omadustele olulisem kui see oleks ilma tammiga. See avaldub kiiremas vee soojenemises ja jahtumises; suuremas vee temperatuuri ja lahustunud hapniku kontsentratsiooni ööpäevases käigus ja madala hapnikutasemega külmal perioodil.

Uuringu käigus koguti setteproove ohtlike ainete ja toitainete määramiseks Muhu poolse ümbersõidu vahetust lähedusest mõlemalt poolt tammi, samuti 500-700 m kauguselt ja 6-7 km kauguselt tammist. Setete ohtlike ainete sisalduse alusel asetub Väike väin suures osas „heasse“ kategooriasse. Vaid tammi vahetus läheduses, kagus ületas antratseni väärtus piirarvu settes, kuigi jäi alla sihtarvu pinnases. Benso(a)pireen kontsentratsioon ületas samas asukohas veidi sihtarvu pinnases, kuid jäi alla piirarvu nii settes kui pinnases. Kuigi ainete sisaldused ei ületa valdavalt sihtarve ja piirnorme, on tammi lähedal näha kõrgendatud raskemetallide, arseni ja polüaromaatsete süsivesinike kontsentratsioone võrreldes tammist eemale jääva merealaga. Kõrgendatud raskemetallide ja naftaproduktide kontsentratsioonide põhjuseks tammi lähedal on ilmselt tammipealne liiklus. Tammi vahetus läheduses kagus on kontsentratsioonid kõrgemad kui loodes. Kagus ulatuvad kõrgeenenud raskemetallide kontsentratsioonid tammist vähemalt 0,5 km kaugusele. Arvestades mahte ja looduslikku varieeruvust ei kujuta avade rajamise käigus setete liigutamise tekkiv heljum merekeskkonnale ohtu. Et saada viimases täielik kindlus, on võimalik teostada täiendav setteprofili(de) uuring.

Tammi lähedal on settes kolm-neli korda kõrgemad üldlämmastiku kontsentratsioonid võrreldes tammist poole kilomeetri kaugusel ja 6-7 km kaugusel võetud proovidega. Ilmselt on see seotud tugeva produktsiooni käigus settinud orgaanilise materjaliga ja vähese hüdrodünaamilise aktiivsusega. Tegemist on tammi mõjuga.

Tammi läheduses pehme põhjaga taimestikuvööndis domineerivad katvusega üle 50% määndvetikad. Määndvetikad on tavaliselt üheaastased taimed, mis kasvuperioodi lõpus koos õistaimedega surevad. Väina põhjaosa oli zoobentose liikide poolest mitmekesisem kui lõunaosa, sh. esines põhjapool tammi kaheksa liiki, mis on iseloomulikud puhastele merealadele. Tammist lõunas esines selliseid liike vaid neli.

Kalade sügispüügi eesmärgiks oli välja selgitada kohaliku siiapopulatsiooni säilinud koelmualade asukohad ning sellest tulenevalt kasutati suuremasilmalistest (38-50 mm) nakkevõrkudest koosnevaid seirejaamu, mistõttu väiksemaid liike võrkudesse ei sattunud. Kokku registreeriti sügispüügiga 8 liiki, kes olid kõik väina Väinamere osas esindatud. Liivi lahe poolel registreeriti viis liiki. Mõlemal pool tamm registreeriti meresii ja siirdesii esinemine. Seega leidis positiivse üllatusena kinnitust liigi tänapäevaste koelmute olemasolu kummalgi pool tamm.

Kevadiste püükide käigus tabati kalu 13 erinevast liigist. Arvukuselt domineeris ahven, viidikas, kiisk ja hõbekoger. Biomassis domineeris hõbekoger, järgnesid ahven, haug ja säinas. Põhja- ja lõunapoolse osa kalastiku üldine koosseis oli kevadpüükides üldjoontes küllalt sarnane. Siiski esines varieeruvusi mõningate liikide kevadises paiknemises eraldi võetuna. Ahvena saagikus tammist lõuna pool paiknevates seirejaamades oli 52 isendit jaama kohta, samas kui põhjapoolsel alal püüti ühe jaamaga keskmiselt 25 isendit. Haug ja säinas olid arvukamad põhjapoolsel alal. Kilu, lesta ja merisiiga tabati vaid põhjapoolselt ja nurgu vaid lõunapoolselt alalt. Võrreldes 2008. aasta kevadel tehtud uuringuga näeme kalastiku üldise liigilise koosseisu olevat suhteliselt sarnase. Olulisi erinevusi saame välja tuua aga kolme liigi puhul. 2008. aastal domineeris Väikese väina tammiäärses kalastikus võimsalt roosärg, kes tänavuses kevadpüükides puudus. Põhjus võib peituda 2021. aprilli madalas veetemperatuuris. Oluliselt on tõusnud ahvena ja hõbekogre arvukuse osakaal. Ahvena osakaalu tõus on kooskõlas liigi arvukuse üldise kasvuga viimasel kümnendil Väinameres. Madal soojaveeline, taimestikurohke ja pehmete põhjadega Väike väin on hõbekogrele väga sobiv biotoop ja piirkonnas võib oodata pigem ka arvukuse edasist suurenemist.

Mõju hinnang

Värskete uuringutulemuste ja varasemate tööde põhjal koostasime avade rajamise alternatiivide mõju hinnangu. Projektis analüüsiti ja modelleeriti põhjalikumalt kolme alternatiivi:

0-alternatiiv: avasid ei rajata,

I-alternatiiv: rajatakse 28 m laiune ava Muhu poolsele ümbersõidule. Ava kõrgusgabariit normaalveetasemel abs +0.20 on 1,37 m.

II-alternatiiv: rajatakse kaks 28 m laiust ava (Muhu poolsele ja Saaremaa poolsele) ümbersõidule. Ava kõrgusgabariit normaalveetasemel abs +0.20 on 1,37 m.

Tammi mõju hindamiseks modelleeriti täiendavalt ka olukorda, kus tammi väinas ei ole. Sotsiaalmajanduslikust aspektist diskuteerime ka silla kõrguse (vajalik tee tõstmine) ja paaditee rajamise üle (alternatiiv II+).

Modelleerimine näitas, et tamm vähendab veevahetust tammi vahetus läheduses 10-12 korda. Tammi mõju veevahetusele väheneb sellest eemaldudes, kuid selle mõju veevahetusele on tuvastatav kogu väinas. Kahe ava rajamine (alternatiiv II) parandaks veevahetust tammi kõige suurema mõjuga alal (tammi läheduses) Väinameres 45%, Liivi lahes 32 %. Avade vahetus läheduses on veevahetuse kiirenemine tõenäoliselt veelgi suurem. Ka ühe ava rajamisel (alternatiiv I) oleks arvestatav mõju, tammi lähedal Liivi lahe pool suureneks veevahetus 13% ja Väinamere pool 24%.

Ilma tammita läbiks väina hoovus, olles eriti tugev madalamates piirkondades, sh. praeguses tammi asukohas. Väinas oleks tunduvalt ühtlasem soolsuse jaotus ja tammi piirkonnas ei tekiks suvisel ajal lokaalset aurumisest tingitud soolsuse maksimumi. Arvatavasti oleksid ka temperatuuri muutused aeglasemad ja mitte nii suure amplituudiga. Tammi puudumisel oleksid väinas ilmselt sarnane vee karakteristikute ja dünaamilisusega gradient nagu Suures väinas.

Tänapäeval leiavad väinas aset kiired temperatuuri muutused. See avaldub nii tugeva ööpäevase käiguna kui ka mitmepäevaste kuuma/külmalainete tagajärjel tekkiva soojenemise/jahatumisena. Ilmselt

avade tegemine siin mingisugust tagasihoidliku mõju avaldab. Temperatuuri muutused ei oleks nii järsud ja muutlikkuse amplituud oleks veidi väiksem. Avade rajamine ühtlustab kahe tammiosa vahelist soolsuse erinevust. See tähendab, et Liivi lahte jääv väinaosa muutub veidi soolasemaks ning Väinamere osa veidi magedamaks. Suvine lokaalne soolsuse maksimum tammi ääres tänu paranenud veevahetusele tõenäoliselt väheneb. Kuna simulatsioon ei suuda täielikult tabada temperatuuri äärmuslikke maksimume ega soolsuse lokaalset maksimumi, siis ei ole võimalik kvantitatiivset hinnangut mõjule anda. II alternatiivi puhul oleks mõju suurem kui I alternatiivi puhul.

Hoovuse kiiruse keskmise mooduli väärtused praeguses olukorras on üldiselt suurusjärgus 5 cm/s, suurenedes tammi lähedal 9 cm/s ja lõunabasseini keskosas (madal mereala) suureneb keskmine kiiruse moodul 10-12 cm/s. Alternatiivide rakendumise korral jääks väina üldine hoovuste struktuur sarnaseks praeguse olukorraga. Oluliselt muutuksid hoovused vaid avade lähistel.

Väike 4 m Tillunire kanali mõju oli mõõtmiste põhjal näha üle 2 km kaugusel. Seda kinnitavad ka tammi vastaspoolelt pärit veemassi leviku analüüs simulatsiooni andmete põhjal. Esimeses ja neljandas kvartalis on selgelt näha Liivi lahe vee levikut Väinameres piki Muhu rannikut. Teises ja kolmandas kvartalis on mõju näha mõlemal pool tammi, st. nii Väinamere veemassi mõju Liivi lahes, aga ka vastupidi.

Et selgitada nii väikese ava mõju jõudmist suhteliselt kaugemale, on oluline on märkida, et iga edasi-tagasi võnkumisega segatakse tammiga omavahel eraldatud väinaosade vett. Selline võnkumine kumulatiivse vee voona ja ainult hoovusandmeid vaadates võib näida ebaoluline (sest toimub vee edasi-tagasi pendeldamine), kuid tuleb silmas pidada, et tammiga tekitatud kunstlikes lahtedes on ka iseseisvad tsirkulatsioonid. See tähendab, et kanalis toimuv edasi-tagasi liikumine haarab iga võnkega erinevate omadustega vett. Teisisõnu, vesi, mis voolas pulsatsioonina Liivi lahest Väinamerre, seguneb Väinamere veega või kantakse avast eemale ning võnke vastasfaasis saabub Väinamerest Liivi lahte segunenud või hoopis teiste omadustega veemass. Seega on läbi väikese ava toimuva veevahetuse olemus hoopis teistsugune võrreldes näiteks Suure väinaga.

Eelkirjeldatu põhjal saab ka selgitada uute avade üllatavalt suurt mõju veemasside jaotustele. Juba ühe ava rajamisel oleks esimeses ja neljandas kvartalis Liivi lahe veemassi osakaal ca pooles väina loodeosas üle 30%. Teises kvartalis oleks arvestatav osa väina kaguosast mõjutatud Väinamerest pärit veemassiga. Kolmandas kvartalis oleks tammi vastaspoolelt pärit veemassi levik mõlemal pool väina tagasihoidlikum, kuid ikkagi arvestatav. Kahe ava rajamisel oleks veemasside osakaal tammi vastaspoolel veelgi suurem. Oluline on märgata tammi vastaspoolelt pärit veemasside leviku sesoonsust. Teises ja kolmandas kvartalis, bioloogiliselt aktiivseimal perioodil suureneb avade rajamisel oluliselt Väinamere veemassi osakaal ja levik Liivi lahes, eriti väina kaguosa tammilähedases pooles. Varasemate uuringute põhjal on just väina seda osa peetud kõige enam tammi poolt mõjutatuks. Ka käesoleva uuringu põhjaelustiku mõõdistus viitab viimasele. Avade rajamisel tekkiv Väinamere veemassi tänasest tunduvalt suurem osakaal ja suurem veevahetus mõjuvad seal merekeskkonna seisundile positiivselt.

Väinatamm mõjutab ka lainetust ja veetaseme jaotuseid, kuid antud töös me neid aspekte ei käsitlenud. Mõju lainetusele on küllalt selge. Kuna tamm on ees, siis laine sealt edasi ei levi. Tillunire on kaarjas kanal, ka sealt läbi tuulelainetus ei levi. Kui teha 28 m ava, siis lokaalne mõju tammist allatuult jäävale väinaosale on olemas, kuid võttes arvesse mereala madalust ja ava suurust võrreldes väina enda gabariitidega, on avade rajamise mõju lainetusele ikkagi tagasihoidlik ja lokaalne.

Tammi ja sellesse avade rajamise mõju veetaseme jaotustele on varasem uuring (MTÜ Eurohouse, 1999) näidanud, et kahe väinaosa vahelised veetasemed harva enam kui 20-30 cm, kuigi nt. 1995. a. oli erinevus enam kui 1 m kümnel korral. Leiti, et kaks 18 m laiust ava veetaseme muutlikkust oluliselt ei mõjuta, sest suured veeseisude vahed taanduvad kiiremini kui avadest läbi voolav vesi jõuaks kahe väinaosa vahel veetasemed ühtlustada. Ka kahe 28 m ava puhul peab see järeldus ilmselt suures osas paika.

Veekvaliteedi näitajatena oleme käesolevas töös kasutanud üldlämmastikku ja üldfosforit. Simulatsioon näitas, et tammi avade tegemine ühe aasta jooksul kogu väinaosade üldainete keskmistele kontsentratsioonidele märgatavat mõju ei avalda. Pikemal perioodil võib positiivne mõju ikkagi

avalduda. Tammi kõige tugevama mõju all olev piirkond on tammilähedane ala, kus üldlammastik oli tunduvalt kõrgem kui tammist eemal. Simulatsioon ei näita sellist lokaalset maksimumi, kuid mudelarvutusega saadud tendentsid (ja ka veevahetuse kiirenemine) viitavad, et avade rajamise korral tammi lähedal, eriti avade läheduses üldlammastiku sisaldused langevad. Tammist loodes paraneb veevahetus 45% ja kagus ligikaudu 32%. Samas ei põhjusta veevahetuse suurenemine olulist üldlammastiku tõusu naaberladel, sest tammiäärse veemaht võrreldes sügavamate kõrvalaladega on väike.

Avade rajamise tulemusel muutub kevad-suvine tugev hapniku ööpäevane käik mõnevõrra väiksemaks. Samuti võib järeldada, et külmemal (pimedamal) perioodil vaadeldud hapnikuvaegus mõnevõrra taandub. Kvantitatiivset hinnangut me sellele positiivsele mõjule käesolevas töös anda ei saa.

Avade rajamine võib tõenäoliselt anda teatud positiivset mõju põhjaelustikule läbi veevahetuse parendamise ja hüdrodünaamilise aktiivsuse osalise taastamise tammi läheduses. Mõju on suurem II alternatiiviga, väiksem I alternatiiviga. Pidades silmas veemasside analüüsi tulemusi (Väinamere veemassi oluline suurenemine Liivi lahes teises ja kolmandas kvartalis), võib eeldada, et positiivne mõju on suurem Liivi lahes. Ehitusaegne mõju põhjaelustikule on tõenäoliselt ajutine ja ebaoluline.

Käesolevale uuringule, samuti kohalikest elanikest ja kalastajatelt pärinevatele andmetele tuginedes saab öelda, et mingil määral toimub kalade liikumine väina põhja- ja lõunapoolse osa vahel Muhu rannikul asuva Tillunire kanali kaudu ka tänapäeval. Kogutud andmed näitavad, et tamm on kaladele siiski liigist sõltuva raskusastmega rändetakistuseks. Suuremad, väina avaosas paiknevad läbivoolud oleksid kindlasti positiivse mõjuga kalade rännetele, aidates leida sobivaimaid toitumis- ja koelmualasid ning vähendada võimaliku geneetilise isoleerituse määra kohalikes kalapopulatsioonides. Väina avaosas paiknevaid tammiavasid läbiks ka sellised mereliigid nagu räim, kilu, tuulehaug ja lest, kes kitsast Tillunirest praegu ilmselt läbi rännata ei suuda. Siikoelmute olukorra halvenemist pärast läbipääsude rajamist ei ole ilmselt põhjust eeldada, kuna koelmute mudastumise ja hapnikuvaeguse tekkimise oht väheneks.

Linnustikule on avade rajamise mõju ebaoluline. Võrreldes tammil toimuva maismaaliiklusega on ajutine ehitismüra ja ka hilisem täiendav paadiliiklus ebaoluline. Hüljestele võib teatud positiivne mõju tekkida läbi kalastiku seisundi paranemise.

Väheldane negatiivne mõju Väikese väina hoiualale võib tekkida läbi mõnevõrra suurenenud väikealuste liikluse piirkonnas. Samas, tammil toimuva tiheda maismaaliikluse foonil ei ole täiendav väikealuste liiklus merel ilmselt oluline. Seda mõju on võimalik veelgi leevendada, kui suunata alused märgistatud paaditeele või rakendada kõige tundlikematele aladele liikumiskiiranguid. Negatiivse mõju kaalub üles avade rajamise positiivne mõju mereliste elupaikadele. Paraneb veevahetus vähendab mudastumist. Lisaks võib kaudne positiivne mõju aset leida Aljava kâpaliste püsielupaiga ja Või merikotka püsielupaikadele. Avade rajamine on vastavalt kaitsekorralduskavale prioriteetne tegevus.

Avade rajamine soodustab kalavarude suurenemist, millest võidavad eelkõige kohalikud kalurid. Samuti avaldub positiivne mõju kohalikele kogukondadele, kelle heaolu, sissetulek ja identiteet sõltub otseselt merealal kavandatavast.

Positiivne tervikmõju looduskeskkonnale on suurim alternatiividel II ja II+, mõnevõrra väiksem on positiivne mõju I-alternatiivi puhul, kuid see oleks ikkagi arvestatav ja merekeskkonnale oluline. Negatiivne on mõju 0-alternatiivi puhul. Sarnane on tervikmõju muster alternatiivide lõikes, kui arvesse võtta ka sotsiaalmajanduslikud mõjud.

Väina rollist Väinamere veevahetuses ja pikaajalistest veetaseme muutustest

Varasemad uuringud on avaldatud muret, et kui tamm avada, siis jõuab Liivi lahe toitainete rikkam vesi Väinamerre. Kuna väin on väga madal, siis on vooluhulk, mis läbiks Väikest väina ilma tammita üle 30 korra väiksem kui Suure väina puhul. Seega isegi kui tammi ei oleks, võib eeldada, et Väinamere

veevahetuses tervikuna ei mängi Väike väin suurt rolli. Liivi lahe vesi jõuab Väinamerre soodsate tuulte korral läbi Suure väina niikuinii ja oluliselt kiiremini kui läbi Väikese väina. Käesolev uuring näitab, et tammi mõju on suurim tammi vahetus läheduses. Suvel on tammi lähedal kõrge soolsus, temperatuur ja üldläämmastik. Need lokaalsed maksimumid on tunduvalt suuremad kui Liivi lahe ja Väinamere veemassi erinevused. Väinatamm on lokaalselt väga suure hüdrodünaamilise mõjuga objekt, mis mõjutab oluliselt nii veevahetust, hoovuseid, lainetust, veetaseme dünaamikat ning see läbi ka ökosüsteemi. Väinades on veevahetus tavaliselt kiire, vesi voolab väinadest läbi. Praeguses seisus on tegemist sisuliselt kahe eraldiseisva lahega, millel on pea sõltumatud tsirkulatsiooni süsteemid.

Maismaa suhtes (st. arvestades maakerget) langes veetase 1915-2014 ligikaudu 1 mm aastas, st 100 aasta jooksul ca 10 cm (Madsen et al., 2019). See võib tunduda väina madalust arvestades märkimisväärne muutus, kuid tuleb silmas pidada, et mere madalamaks muutudes on merepõhja pehmed setted paremini kättesaadavad lainetuse poolt tekitatud resuspensioonile ja hoovustele. Meie modelleerimistulemused näitavad, et kui tammi ei oleks, siis oleks madalas piirkonnas väga tugevad hoovused. Seega võib arvata, et lisaks maakerkele ja veetaseme muutustele mängivad väina sügavuse kujunemisel rolli ka lainetuse ja hoovuste tekitatud settetransport. Seda näitab mõnes mõttes ka väina kui sellise olemasolu. Seega võib arvata, et kui tammi rajamisega suleti mereala väina läbivatele hoovustele ning vähendati laine kõrgust, algas setete kuhjumine. Oma roll oli siin ilmselt ka orgaanilise sette kuhjumisel, mis omakorda on seotud piiratud veevahetusega. Seda kinnitavad meie kogutud setete lõimised. Tammi lähedal on peent materjali tunduvalt rohkem kui tammist eemal.

Viimastel aastakümnetel on veetaseme tõus kiirenenud ning see ületab maakerke ning on hinnatud, et 2090-2099 on absoluutne veetase keskmiselt võrreldes 1990-1999 tasemega väina piirkonnas 60 cm kõrgemal, st. maapinna suhtes oleks veetase keskmiselt ca 30 cm kõrgemal (Grinsted, 2015). Kuigi säärased ennustused sõltuvad eelkõige valitud kliimamuutuste stsenaariumist ja nendes on omajagu määramatust, võib üsna kindlalt väita, et selle sajandi jooksul veetase piirkonnas tõuseb.

Täiendavad uuringud, leevendavad meetmed, seire ja järgnevad tegevused

Ainsa täiendava uuringuna enne ehitustööde algust võiks kaaluda sügavamast setteprofiili(de)st ohtlike ainete määramise. See annaks kindluse, et avade rajamisega liigutatav sete ei ole reostunud. Kui selgub, et sete on reostunud, siis tuleks vältida sette kaadamist merre. Samuti tuleks ehituse ümbrus meres piirata poomidega, mis lokaliseeriks heljumi leviku. Viimast meetet võib kaaluda ka siis kui sete ei ole reostunud. See vähendaks oluliselt heljumi levimist ümbritsevale merealale.

Kuna tegemist on olulise kudealaga, siis tuleks avade rajamist vältida aprillist juuni lõpuni ning alates oktoobri lõpust kuni jääkatte tekkimiseni Väinamerel ja Liivi lahe põhjaosas. Kui kasutatakse tõkkepoomi, siis võiks antud ajalise piirangu ümber vaadata.

Juhul kui rajatakse paaditee, siis on paadiliiklusest tuleva negatiivse mõju vähendamiseks võimalik liiklus koondada faarvaatrile, mis on tähistatud navigatsioonimärgistusega.

Esimese ava rajamise ajal tuleks teha heljumi leviku seiret. Seire peaks andma vajadusel täiendavad suunised leevendavate meetmete osas teise ava rajamisel.

Kui avasid ei rajata üheaegselt samal sesoonil, st. kõigepealt rajatakse üks ava, siis on soovitatav teha veesamba füüsika ja keemia; põhjaelustiku ja kalastiku seiret peale esimese ava rajamist. Seire meetodika ja maht peaks olema analoogne käesoleva tööga. Sellisel juhul on kvantitatiivse mõju hindamine lihtsamini teostatav. Seire tulemuste põhjal tuleb otsustada, kas ka teise ava rajamisel on vaja korraldada seiret ja mis kujul. Kui tehakse kaks ava samal hooajal, siis on soovitatav teha seire peale mõlema ava rajamist.

Antud töös tehtud mõjuanalüüs näitab, et avade rajamise mõju merekeskkonnale ja sotsiaalmajanduslikule keskkonnale on positiivne. Seega ei pea me KMH protseduuri rakendamist avade rajamise tegevusele

otstarbekaks. Keskkonnamõju eksperthinnang, kui see peaks vajalik olema, saab tugineda antud töö tulemustele.

Koostasime järgnevate tegevuste kirjelduse tammiavade rajamiseks (ptk. 5). Kui alustada planeerimisprotsessiga 2022 alguses, võiks sügiseks 2023 teega samas tasapinnas avad (alternatiiv I või II) valmis olla. Teepinna tõstmise korral läheb avade rajamiseks veel üks hooaeg (alternatiiv II+).

Lõppjärelused

Väinatamm on olulise negatiivse keskkonnamõjuga objekt. Tammi rajamisega muudeti oluliselt väina hüdrodünaamilist režiimi. Tammi mõju on suurim selle vahetus läheduses, kus veevahetus on võrreldes vaba läbivooluga vähenenud 10-12 korda. Tammi rajamisega suleti mereala väina läbivatele hoovustele ja ainevahetusele ning vähendati lainetust, mistõttu on tammi lähedal toimunud setete kuhjumine, sh. orgaanilise sette kogunemine. Tamm on läbi lateraalse transpordi ja segunemise piiramise muutnud veesamba omaduste kujunemisel suhteliselt olulisemaks vertikaalsete protsesside rolli (sh. soojus- ja ainevahetus atmosfääriga ja settega). See põhjustab tõenäoliselt vee kiiremat soojenemist ja jahtumist; võimendab vee temperatuuri ja lahustunud hapniku tugevaid ööpäevaseid käike ja küllastusest madalamat hapnikutaset külmal (pimedamal) perioodil. Samuti avaldub see suvisel ajal tammi lähedal kõrge soolsusega vee tekkes. Võib arvata, et kõrged üldläämmastiku kontsentratsioonid tammi lähedal nii vees kui ka settes on tingitud tammi olemasolust. Tamm on kaladele liigist sõltuva raskusastmega rändetakistuseks.

Tammiäärsete setete ohtliku ainete sisalduses on näha maismaatranspordi mõju, kuid kontsentratsioonid on valdavalt alla siht- ja piirarvude. Arvestades mahte ja looduslikku varieeruvust ei kujuta avade rajamise käigus setete liigutamise tekkiv heljum merekeskkonnale ohtu. Et saada viimases täielik kindlus, tuleks teostada täiendav setteprofiili(de) uuring.

Avade rajamine parandaks veevahetust, kahe 28 m ava puhul tammi kõige suurema mõjuga alal (tammi läheduses) paraneks veevahetus Väinameres 45% ja Liivi lahes 32 %. Viimane suurendaks lateraalse transpordi ja segunemise osakaalu vee omaduste kujunemisel ning seetõttu väheneksid tõenäoliselt eelkirjeldatud nähtused temperatuuris, soolsuses ja hapnikus. Veevahetuse suurendamine vähendaks ka tammiäärseid kõrgeid üldläämmastiku kontsentratsioone. Samuti vähendaks see orgaanilise materjali settimist tammi ääres. Uued avad parandaksid oluliselt tammi vastaspoolelt pärit veemassi levikut ning vähendaksid soolsuse erinevust kahe väinaosa vahel. Veevahetuse parendamine ja hüdrodünaamilise aktiivsuse suurendamine võib tõenäoliselt anda teatud positiivset mõju põhjaelustikule. Avad oleksid positiivse mõjuga kalade rännetele, aidates leida sobivaimaid toitumis- ja koelmualasid ning vähendada võimaliku geneetilise isoleerituse määra kohalikes kalapopulatsioonides.

Väheldase potentsiaalse negatiivse mõju Väikese väina hoiualale läbi mõnevõrra suurenenud väikealuste liikluse piirkonnas kaalub üles avade rajamise positiivne mõju merelistele elupaikadele. Avade rajamine avaldab positiivset mõju kohalikule kogukonnale läbi kalavarude eeldatava suurendamise, väina keskkonnaningimuste parendamise ja paadiläbipääsu rajamise.

Positiivne tervikmõju looduskeskkonnale on suurim II-alternatiivil (kaks 28 m ava ilma teepinda tõstmata). Väiksem, kuid ikkagi oluline positiivne mõju on I-alternatiivil (üks 28 m ava). II+ alternatiivil (kaks 28 m ava, teepinna tõstmisega) on mõju looduskeskkonnale sama, mis II-alternatiivil. Teepinna tõstmine teeb projekti kallimaks, kuid potentsiaalselt võiks selline alternatiiv paremini sobida paadiga liiklejatele, eriti kui merd ka veidi süvendada.

Kokkuvõttes, avade rajamine vähendaks tammi negatiivseid mõjusid merekeskkonnale. Soovitame avade rajamist kui rannikumere keskkonnaseisundit parandavat meetet.

Sissejuhatus

Väinatamm valmis 1896. aastal peale kaheaastast ehitust. Tammi kindlustati ja laiendati eelmisel sajandil korduvalt, päevakorral on olnud ka avade ehitus. Viimane suurem laiendamine toimus aastatel 1996-1997. Ainus tammi läbiv ava rajati tammi Muhu poolsesse otsa 1949. aastal. Kitsast kanalit kutsutakse Tillunireks ning see süvendati ja puhastati kohalike entusiastide eestvõttel 2017. märtsi algul. Varasemalt regulaarset kanali puhastamist ei ole toimunud. Täiendavate avade tegemist on kaalutud pikalt ja nende rajamiseks ehitati välja ka kolm ümbersõidu teed, millest tänaseks on alles kaks. 1990 aastatel jäid avad rajamata rahapuuduse ja ministriumide vaheliste lahkarvamuste tõttu.

Diskussioonid tammi negatiivse mõju kohta on kestnud aastakümneid. Avade rajamist on käsitletud kahes suuremas uuringus 1999. ja 2009. aastal (MTÜ Eurohouse, 1999; TÜ Eesti Mereinstituut, 2009), kus selget soovitus avade rajamiseks ei antud. Varasemaid materjale läbi töötades joonistub välja kohalike inimeste arvamus, mille kohaselt muutus peale tammi rajamist keskkonnaseisund kehvemaks ja kalapüügi saagikus vähenes. Samuti on kohalik kogukond näidanud initsiatiivi tammiavade rajamise osas. Väinas toimunud muutuste taga on teisedki asjaolud nagu kogu Läänemere eutrofeerumine, ülepüük, tektooniline maapinnatõus, kliimamuutused, jm; kuid ilmselt on veevahetust blokeerival tammil kohalikele merekeskkonnale arvestatav mõju.

Eesti merestrategie meetmekava keskkonnamõju strateegiline hindamisel leiti, et veevahetuse blokeerimise mõjusid tuleks täiendavalt uurida ning soovitati lisada täiendava uuringuna meetmekavasse tammi avade rajamise keskkonkakaitse otstarbekuse ja majandusliku tasuvuse täiendavaks analüüsimiseks (Tallinna Tehnikaülikool, 2016). Seda soovitus võeti arvesse ning uuring lisati meetmekava dokumenti. Paralleelselt antud projektiga koostatava uue meetmekava ühe merekeskkonda parandava meetmena on välja pakutud väinatammi avade rajamise. Käesoleva töö üleandmise ajal meetmekava menetlemise protsess veel käib. 2019. aasta lõpus koostati avade (sildade) alternatiivide eskiisid ja hinnati ehitusmaksumused (Stricto Project OÜ, 2019).

Käesoleva töö eesmärgiks on kaardistada praegune olukord ja tammi mõju ning hinnata avade rajamise alternatiivide mõju.

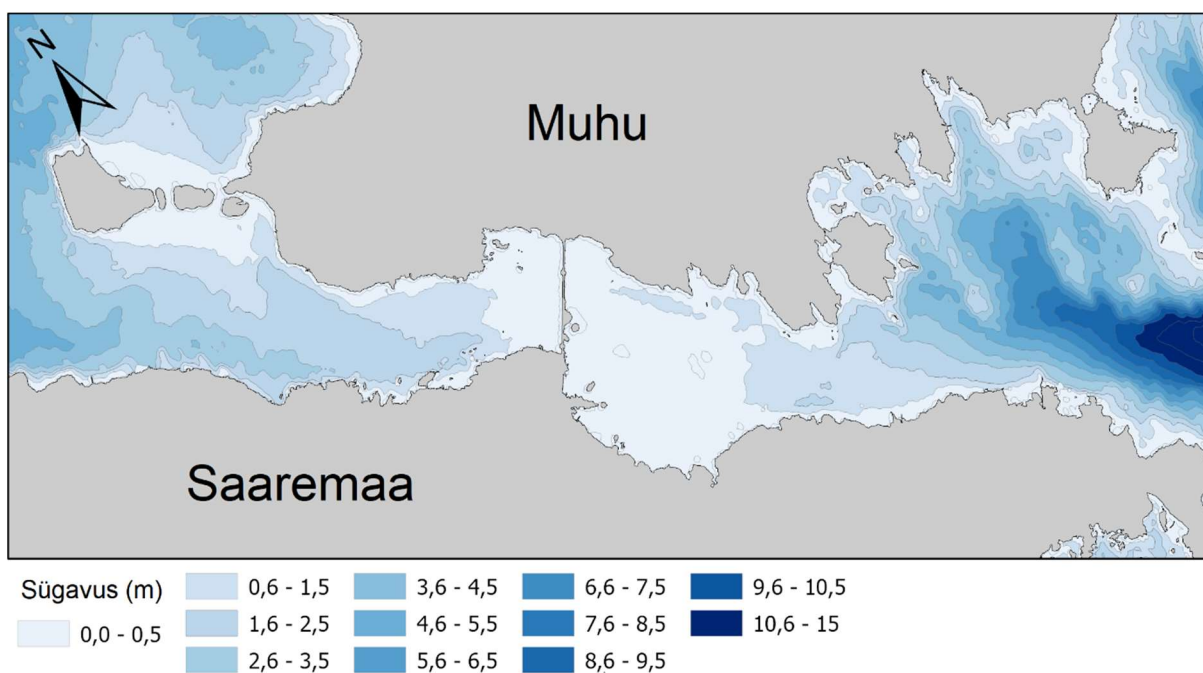
Uuringute käigus tehti kohapealseid ruumilisi mõõtmisi ja registreeriti aegread poijaamades; rakendati numbrilisi hüdrodünaamika ja ökoloogilisi mudeleid; tehti katsepüügid kalastiku olukorra kaardistamiseks; korraldati küsitlus ning koostati ülevaade järgnevatest tegevustest avade rajamisel.

Projekti juht oli Tallinna Tehnikaülikooli vanemteadur Taavi Liblik, töös löid kaasa Tehnikaülikooli teadlased Fred Buschmann, Ivan Kuprijanov, Ants Erm, Germo Väli, Jaan Laanemets, Nelli Rünk, Maarja Lipp ning tudengid Ahto Mets ja Enriko Siht. Kalastiku uuringu ja mõjuhindangu andsid Aare Verliin, Lauri Saks ja Redik Eschbaum Tartu Ülikoolist. Järgnevad tegevused avade rajamiseks, sh. ehitustegevuse detailid kaardistas ja pani kirja Andreas Papp, Stricto Project OÜ.

1. Taust

1.1. Väina looduskeskkond, tamm ja selle mõju merekeskkonnale varasemate uuringute põhjal

Väike väin on Saaremaa ja Muhu vaheline madal mereala (joonis 1.1.1). Ajalooliste allikate põhjal oli väin enne tammi rajamist tugevate hoovustega kitsus. Väikese väina piirkonnas on mitmeid väikeseid karesid, laide, saari ja paljandikke. Väina põhja moodustavad enamjaolt pehmed setted (aleuriit, muda ja liiv). Lainetusele avatud ja madalamates kohtades paljandub ka viirsavi. Samuti leidub alasid, mis on kaetud kividega. Tammi äär ja kõrkjatega kaetud alad on valdavalt mudased. Väinas on Väikese väina hoiuala, mis kehtestati 2006. aastal Vabariigi Valitsuse määrusega nr 176 ("Hoiualade kaitse alla võtmine Saare maakonnas") kaitsmaks erinevaid elupaigatüüpe, taimeliike ja linnuliike. Hoiuala hõlmab nii väina ennast (13 828 ha) kui ka sellega piirnevat maismaad (2815 ha). Samuti kuulub väin rahvusvahelise tähtsusega Natura 2000 võrgustikku. EELIS Keskkonnaregistri andmete järgi paiknevad Väikese väina looduslal merikotka ja käpaliste püsielupaigad. Väike väin on elupaigaks paljudele kalaliikidele, hüljestele ja lindudele. Mitmed veelinnud kasutavad madalat väina, lähedasi rannaniite ja laidusid rändel vahepeatuseks ning toidu otsimiseks.



Joonis 1.1.1. Väikese väina sügavuste jaotus meetrites.

Väikese väina tamm valmis 1896. aasta juuliks, mõned aastad hiljem hakati tammil teostama juba remonttöid ning õige pea ehitati see meetri võrra kõrgemaks (1903-1907 a.). Tammi laiendati 1938-1950 a. ja rajati lõunapoolne kindlustus (1952-1955 a.). Kalade läbipääsuks ehitati tammi Muhu poolsesse osasse kanal, Tillunire (1949 a.). Kaheksakümnendatel rajati avade tegemiseks ümbersõidukaared, milledest kaks on ka tänapäeval alles. Viimased suuremad tööd tammil teostati 1996. ja 1997. aastal, kui korrastati nõlva kindlustused, paigaldati piirded ja ehitati uus tammiosa Muhu poolses otsas. Ka uue tammiosa alla tehti ava, et läbi Tillunire saaks vesi voolata. Tillunire laius maanteealuses truubis on 4 m ning sügavus keskmise veeseisuga ligikaudu 1 m. Tillunire puhastati põhjalikult 2017. aastal, regulaarset kanali puhastamist varem ei ole toimunud.

Tammi avade vajalikkus tõstatati juba 1908. aastal, mil kalamehed hakkasid kalavarude vähesuse üle kurtma. Päevalehes ilmus artikkel, kus kalamehed kurdavad kala vähesuse üle ja teevad ettepaneku rajada avad. Sisuliselt sama mure ja ettepanekuga ilmus kohalikus lehes Meie Maa artikkel 1919. aastal.

Töenäoliselt on Väikese väina looduskeskkond viimase 125 aasta jooksul olnud tugevalt mõjutatud Väinatammi poolt. Tammil on blokeeriv mõju ja see eraldab Liivi lahe ja Väinamere veemassid. Väina kaguosa on mõjutatud Liivi lahe poolt ja loodeosa Väinamerest. Kuna Väinamere keskmine soolsus on veidi suurem Liivi lahe omast, siis ka Väikese väina loodeosa on keskmiselt soolasem kui kaguosa. Ka toitainete sisaldus on mõjutatud kõrgema troofsustasemega Liivi lahe poolt, mistõttu on väina kaguosa suuremate biogeenisaldustega kui loodeosa. Varasemad kirjeldused ja uuringud ongi lähtunud kirjeldatud blokeerivast efektist. On avaldatud ka muret, et kui tamm avada, siis jõuab Liivi lahe toitaineterikkam vesi Väinamerre.

Kahedimensionaalne modelleerimine on näidanud, et kui väin oleks avatud, siis oleksid seal hoovuskiirused samas suurusjärgus teiste Väinamere väinadega (Suursaar et al., 2009). Väinamere väinad on Eesti mereala mõistes tuntud suurte hoovuskiiruste poolest (Otsmann et al., 2001). Tõsi, vooluhulk, mis läbib Väikest väina on tunduvalt väiksem kui suuremates Väinamere väinades. Suure väina ja Hari kurgu ristlõike pindala on ligikaudu 45 000 m² ja Soela väinal 10 000 m². Võttes väina laiuse tammi piirkonnas 2,7 km ja keskmise sügavuse tammi piirkonnas 0,5 m saame ristlõikeks 1350 m². See tähendab, et sarnaste hoovuskiiruste juures oleks Väikest väina läbiv vee maht üle 30 korra väiksem kui Suure väina puhul. Seega võib järeldada, et Väinamere veevahetuses tervikuna ei mängi Väike väin ja tamm väga olulist rolli. Küll aga on väinatamm lokaalselt väga suure hüdrodünaamilise mõjuga objekt, mis mõjutab oluliselt nii veevahetust, hoovuseid, lainetust, veetaseme dünaamikat ning see läbi ka ökosüsteemi. Väinades on veevahetus tavaliselt kiire, vesi voolab väinadest läbi. Praeguses seisus on tegemist sisuliselt kahe eraldiseisva lahega, millel on sõltumatud tsirkulatsiooni süsteemid. Piiratud veevahetusel on ilmselt lokaalsed mõjud nii füüsikalistele kui ka biogeokeemilistele veesamba näitajatele. Tammil võib olla mõju ka lokaalsele orgaanilise aine settimisele. Tavapärasest intensiivsem orgaanilise aine settimine on ilmselt põhjuseks kohalike elanike poolt kirjeldatud väina mudastumisele. Võib ka arvata, et tamm toimib kui settelõks. Avatud väinas toimuksid hüdrodünaamiliselt aktiivsete sündmuste käigus tugev resuspensioon ja ärakanne. Kuna väina läbivaid tugevaid hoovuseid enam ei eksisteeri ja lainetus on piiratud, siis võib arvata, et settetransport on piirkonnas totaalselt muutunud.

1999. a. modelleerimise käigus jõuti järeldusele, et tammiavadel oleks lokaalne positiivne mõju Väikese väina veevahetusele, sest avade tegemine ventileeriks kagulahte ning eutrofeerumine tammist lõunas mõnevõrra aeglustuks (MTÜ Eurohouse, 1999). Tolle projekti tingimustes modelleeriti kahe 18 m ava mõju. Samas töös leiti, et avade suhtelisest väiksusest tingitult ei ulatu nende mõju kuigi kaugemale, nõrgenedes tunduvalt juba umbes 50-500 m kaugusel avadest (MTÜ Eurohouse, 1999). Nenditi, et mõnevõrra ökoloogiline olukord väina kaguosas võiks avade rajamisega paraneda, samuti kalade kudemistingimused. Samas pakuti, et halvema kvaliteediga ja toitainete rikkam Liivi lahe vesi pääseks Orissaare piirkonda mõjutama.

2007 – 2009 viis TÜ Eesti Mereinstituut läbi Väikese väina seisundi parandamise võimaluste uuringu (TÜ Eesti Mereinstituut, 2009). Uuringu kohaselt toimib väinas tõhus veevahetus isegi suletud tammi korral. Selle peapõhjus on mereala madalus, mistõttu veehulk, mis vaja vahetada, ei ole kuigi suur. Selgitati, et isegi avade rajamise korral tuleks suurem osa veevahetusest endiselt basseinisese tsirkulatsiooni arvelt nagu tänasel päeval. Mainiti ka, et vesi pendeldaks sõltuvalt tuule ja veetaseme erinevuste muutuste tõttu väinas edasi-tagasi, aasta lõikes voolaks vett pisut rohkem ikkagi Liivi lahest Väinamerre.

Leiti, et kogu Väikese väinas on fütoplanktoni kvaliteedielementide ja üldlämmastiku alusel veekvaliteet kesine ja üldfosfori põhjal isegi halb. Väina põhjaosa oli fütoplanktoni alusel hea ja toitainete alusel kesise veekvaliteediga, lõunaosa samad kvaliteedielemendid andsid tulemuseks aga vastavalt kesise ja halva kvaliteedi mereveele. Leiti, et tammiavade ehitamine ei avalda olulist mõju rannikumere veekvaliteedile, kuid, avade ehitustöödest ja edaspidisel, avade käigushoidmiseks vajalikul süvendamisel, tulenev keskkonnamõju võib ajutiselt vaesustada või lausa hävitada fütoplanktilised kooslused ja ajutiselt ka põhjaloomastiku ja -taimestikukooslused. Samas leiti, et Väikese väina biomassi

ja chl a kontsentratsioonid on suuresti mõjutatud tuulest ja vete liikumisest ning väina tammi võib vaadelda kui planktoni liikumist takistava tegurina, seda eriti lõunapoolses osas. Suurimad biomassi kontsentratsioonid registreeriti just lõunapoolses osas tammi vahetust lähedusest. Kalaliikide arvukus väinas oli uuringu põhjal väike. Avaldati ka, et koostise poolest sarnaneb Väikese väina kalastik pigem eutrofeerunud järvele kui merele, sarnanedes selles osas Matsalu lahe ja Saunja lahe kõige madalamatele osadele. Arvati ka, et piirkonnas kunagi kudenud merisiia koelmuulad ei ole selle liigi jaoks tänapäeval enam kasutuskõlblikud. Märgitakse, et kalastikule oleksid läbivooluavad väga tõenäoliselt ikkagi positiivse mõjuga (TÜ Eesti Mereinstituut, 2009).

Lõppkokkuvõttes leiti, et avade rajamine töös käsitletud stsenaariumite alusel ei avalda olulist mõju Väikese väina keskkonnaseisundile. Veevahetuse suurenemine erinevate väina osade vahel jääb alla 15% määra praegusest olukorrast ja see ei avalda olulist mõju väina keskkonnaseisundit iseloomustavatele parameetritele. Ainukese võimaliku positiivse mõjuna toodi välja võimaluse tekkimist kalade rändeks erinevate väina osade vahel, mis võib teatud määral soodustada kalavarude taastumist. Eelnevate asjaolude tõttu ei soovitanud uurimisrühm tammiavade rajamist töös käsitletud stsenaariumite kohaselt kui rannikumere seisundit parandavat meetet Väikse väina piirkonnas (TÜ Eesti Mereinstituut, 2009).

2016. aastal korraldas Maanteeamet tammil toimuva transpordi mõjude uurimiseks ohtlike ainete määramise tammi lähedalt veest ja settest. Proovipunktide kaheksa asukohta valiti tammi Muhu-poolses osas ristuva Tillunire mõlemast otsast, ümbersõitute aladele moodustunud veekogudest (basseinid), taimestikuga kaetud alade äärest ja ka merest. Analüüside tulemustest nähtub, et need ei ületata keskkonnaministri 11.08.2010 määrusega nr 38 „Ohtlike ainete sisalduse piirväärtused pinnases“ kehtestatud, millest järeldati, et liiklus Väinatammil merd ei reosta. Registreeriti ka kõrge lämmastiku- ja fosforisisaldus setetes, mis viitab piirkonna orgaanilisele reostusele, eutrofeerumisele.

2019. aastal TTÜ Meresüsteemide instituudis läbi viidud projektis selgus, et olenevalt avade suurusest on veevahetuse mõju ulatus lokaalne (juhul kui avad on kuni 50 m) või peaaegu kogu Väikest väina haarav (sild pikkusega 1250 m) (Tallinna Tehnikaülikool, 2019).

Varasemad uuringud (MTÜ Eurohouse, 1999; Suursaar et al., 2009; TÜ Eesti Mereinstituut, 2009) on tõdenud, et avade rajamine või isegi tammi eemaldamine ei pööraks tagasi üle-eelmise sajandi lõpus tammi rajamisega ja hilisemate laiendamistega tekitatud mõju. Samuti on uuringutes toodud välja, et muud mõjud, eriti eutrofeerumisest tulenev (sh. orgaanilise aine settimine) ja maapinna tektoonilisest kerkest tulenevad muutused on olulisemad kui tammi mõju.

Tõepoolest, avade rajamisel ei õnnestu ilmselt väina viia sellesse olekusse, mil see oli 19. sajandi alguses. Samuti tuleb nõustuda väitega, et eutrofeerumisel on väina seisundi halvenemises oma roll. Teisalt tuleb tõdeda, et eutrofeerimise mõjud koos lokaalse veevahetuse piiramisega võivad väinas anda kumulatiivse negatiivse efekti. Seoses puhastusseadmete kasutuselevõtu ja muude meetmetega on mitmete indikaatorite järgi Läänemere üldine seisundi allakäik viimastel aastakümnetel peatunud, mõnede parameetrite järgi isegi paranenud.

On hinnatud, et kuigi absoluutne veetase tõusis ajavahemikul 1915-2014 väina piirkonnas ca 2 mm aastas, siis maismaa suhtes (st. arvestades maakerget) langes veetase samal perioodil ligikaudu 1 mm aastas, st 100 aasta jooksul ca 10 cm (Madsen et al., 2019). See võib tunduda väina madalust arvestades märkimisväärne muutus, kuid tuleb silmas pidada, et mere madalamaks muutudes on merepõhja pehmed setted paremini kättesaadavad lainetuse poolt tekitatud resuspensioonile ja hoovustele. Võib arvata, et lisaks maakerkele ja veetaseme muutustele mängivad väina sügavuse kujunemisel rolli ka lainetuse ja hoovuste tekitatud settetransport. Seda näitab mõnes mõttes ka väina kui sellise olemasolu.

Seega võib arvata, et kui tammi rajamisega suleti mereala väina läbivatele hoovustele ning vähendati laine kõrgust, algas setete kuhjumine. Käesolev töö ei ürita tammi 125 aasta mõju väina sügavusjaotusele kvantifitseerida. Kuid rõhutame, et tammi mõju väina madaldumisel ei tohiks võrreldes looduslike faktoritega alahinnata.

Viimastel aastakümnetel on veetaseme tõus kiirenenud ning see ületab maakerke. 1993-2015 on olnud absoluutse veetaseme trend väina piirkonnas ca 4 mm aastas (Madsen et al., 2019), mis annab maismaa suhtes veetaseme tõusuks ca 1 mm aastas. Veetaseme tõus kiireneb tulevikus veelgi. On hinnatud, et 2090-2099 on absoluutne veetase keskmiselt võrreldes 1990-1999 tasemega väina piirkonnas 60 cm kõrgemal, st. maapinna suhtes oleks veetase keskmiselt ca 30 cm kõrgemal (Grinsted, 2015). Kuigi säärased ennustused sõltuvad eelkõige valitud kliimamuutuste stsenaariumist, võib üsna kindlalt väita, et selle sajandi jooksul veetase piirkonnas tõuseb.

1.2. Käesoleva uuringu põhjendatus ja eesmärgid

Kuigi Väikest väina ja sinna avade rajamist on varem uuritud, pidasime vajalikuks teha käesoleva uuringu. Allpool on toodud käesoleva uuringu teostamise põhjendused.

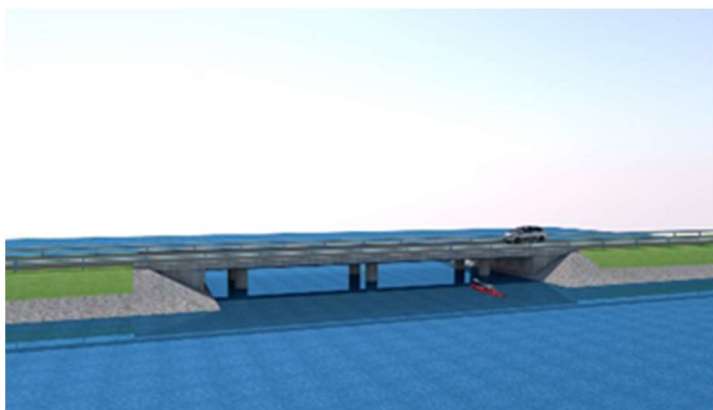
- Tammi negatiivne mõju on kohalikule kogukonnale olnud pinnuks silmas juba selle rajamisest peale. Juba üle sajandi on kurdetud, et tamm on muutnud väina keskkonnaseisundit kesisemaks ja on soovitud avade rajamist. Ka täna on olemas aktiivne entusiastide grupp, Väikese Väina Selts, kes peab tammi mõju vähendamist avade rajamise abil vajalikuks.
- Kehtiva Eesti merestrategia meetmekava keskkonnamõju strateegilisel hindamisel leiti, et veevahetuse blokeerimise mõjusid tuleks täiendavalt uurida ning soovitati lisada täiendava uuringuna meetmekavasse vastav uuring (Tallinna Tehnikaülikool, 2016). Seda soovitusi võeti arvesse. Lisaks, paralleelselt antud projektiga jooksva uue meetmekava koostamisel on ühe merekeskkonda parandava meetmena välja pakutud väinatammi avade rajamine. Käesoleva töö üleandmise ajal meetmekava menetlemise protsess veel käib. Antud uuringule toetudes on meetmekava koostajatel võimalik meetme tõhususele kinnitust leida (või vastupidi) ning seda vajadusel modifitseerida või detailsemaks muuta.
- Tammi ning võimalike avade mõju hoovustele, veevahetusele on korduvalt modelleeritud numbriliste mudelitega, kuid väinast puudusid instrumentaalsed hoovusmõõtmised. Käesolevas uuringus korraldasime hoovusmõõtmised.
- Tamm on muutnud väina hüdrodünaamilist režiimi, millel omakorda on mõju veesamba parameetritele, mis ei ole olnud varasemate uuringute fookuses. Käesolevas töös pöörame rohkem tähelepanu veesamba karakteristikutele.
- Tammi mõju on tõenäoliselt suurim tammi vahetus läheduses. Uuringu mõõtmisjaamade võrgu ja modelleerimisülesande disainisime vastavalt eeltoodud hüpoteesile.
- Võimalike uute avade mõju on varasemates töödes püütud modelleerida ja hinnata, kuid olemasoleva Tillunire mõju ei ole looduses mõõdetud ja seda ei ole ka modelleeritud. Olemasoleva ava mõju registreerimine peaks andma selgust uute võimalike avade mõju osas. Käesolevas töös teostasime Tillunires ja selle lähi piirkonnas mõõtmised.
- Ohtlike ainete osas on varem võetud proove tammi vahetust lähedusest. Et hinnata tammi ja seal toimuva liikluse mõju tuleks võrdluseks võtta proove ka tammist eemalt, et hinnangu andmisel oleks taustana saada tammist vähem mõjutatud piirkonna andmed. Käesoleva uuringu käigus võtsime setteproove tammi vahetust lähedusest, aga ka tammist kaugemalt.
- Varasemad tööd on tammi mõju osas peaaesjalikult keskendunud asjaolule, et Väinamere ja Liivi lahe veed ei saa omavahel seguneda ning keskendunud lateraalse veevahetuse probleemile. Antud uuringu üks hüpoteese on, et kui lateraalset vee ja -ainevahetust piiratakse, peab veesamba omaduste kujunemisel olema suhteliselt suurem roll vertikaalsel vahetusel atmosfääri ja settega. Seega võib tammi mõju olla seotud oluliselt ka vertikaalse vahetuse suhteliselt suurema osakaaluga. Disainisime mõõtmised ja modelleerimise antud vaatenurgast lähtudes ja käsitlesime seda küsimust aruandes.
- Varasemates töödes on leitud, et avade rajamine, süvendamine ning selle käigus tekkiv heljum võiks põhjustada arvestatavat negatiivset kahju. Käesoleva uuringu üks hüpoteese on, et väin on tänu madalusele väga varieeruva heljumi sisaldusega piirkond, siin esineb looduslikult aeg-ajalt

väga kõrge heljumi kontsentratsioon. Arvestasime hüpoteesi ka mõõtmiste planeerimisel ja mõõtsime vee hägusust erinevates olukordades.

- Väina kalastikku ei ole viimastel aastatel uuritud. Korraldasime uued püügid.
- Viimastes uuringutes on puudunud konkreetsete avade rajamise eskiisid, nende maksumused, ehitusaeg ja muud detailid. Käesolevas töös keskendume sillaeskiisidele, mille realiseeritavuse osas on konsulteeritud Transpordiameti spetsialistidega. Samuti kirjeldame enda töös sildade rajamisega kaasnevat ehitusaegseid praktilisi küsimusi.
- Varasemates uuringutes ei ole käsitletud sotsiaalmajanduslikke aspekte. Antud töös on seda tehtud.
- Puudu on kompleksne mõju hinnang, mille oleme praeguses töös koostanud.

1.3. Alternatiivid

Väljapakutud sillaeskiisi alternatiividest on Transpordiametile kõige vastuvõetavam olnud 28 m kaheavaline konsoolidega raamsild teepinnaga samas tasapinnas, mille maksumuseks on 2019. a. sügisel hinnatud ligikaudu 900 000 €. Tänapäevaks on ehitushinnad mõnevõrra tõusnud. Tõstetud 28 m laiuse avaga sild (mille alt saaksid läbi kõrgemad alused) maksumus on ca kolm korda kõrgem. Veevahetuse ja otsese mõju seisukohast merekeskkonnas ei oma ava kõrgus tähtsust. Seega modelleerime alternatiividena 28 m ava(de) rajamist.



Joonis 1.2.1. 28 m kaheavaline konsoolidega raamsilla eskiis (Stricto Project OÜ, 2019).

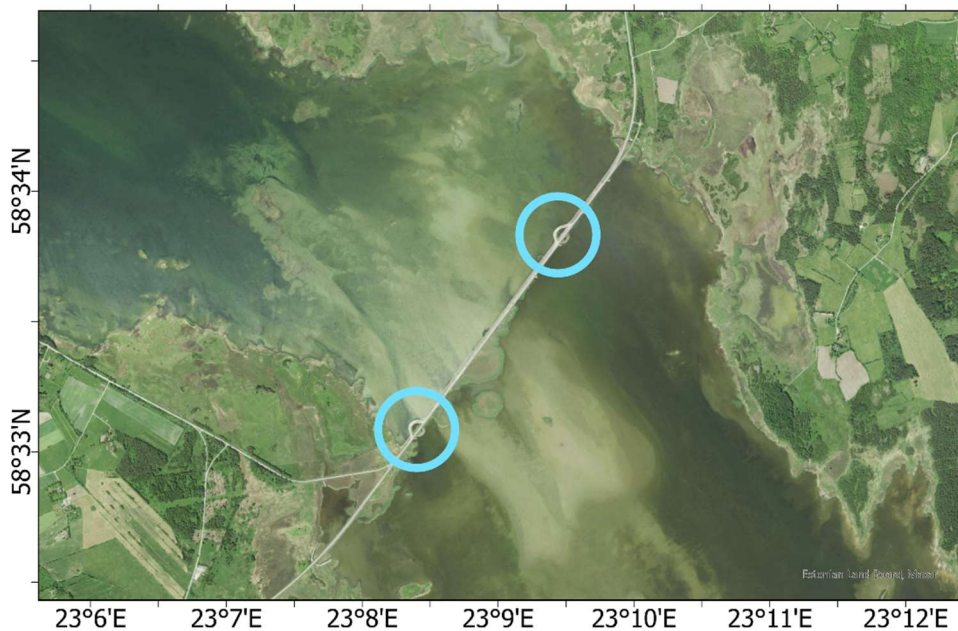
Projekti analüüsitakse ja modelleeritakse põhjalikumalt kolme alternatiivi:

0-alternatiiv: avasid ei rajata,

I-alternatiiv: rajatakse ava Muhu poolsele ümbersõidule. Ava kõrgusgabariit normaalveetasemel abs +0.20 on 1,37 m.

II-alternatiiv: rajatakse kaks ava (Muhu poolsele ja Saaremaa poolsele) ümbersõidule. Ava kõrgusgabariit normaalveetasemel abs +0.20 on 1,37 m.

Tammi mõju hindamiseks modelleeritakse täiendavalt ka olukorda, kus tammi väinas ei ole. Sotsiaalmajanduslikust aspektist diskuteerime ka silla kõrguse (vajalik tee tõstmine) ja paaditee rajamise üle.



Joonis 1.2.2. Avade potentsiaalsed asukohad Maaameti ortofotol.

2. 2020/2021 uuringud

Käesolevas töös kaardistati veesamba füüsikalised ja biogeokeemilised parameetrid kuue ruumilise mõõdistuse käigus. Teostati veesamba parameetrite aegriade mõõtmised poijaamades. Võeti setteproovid ohtlike ainete ja toitainete määramiseks. Koguti põhjaelustiku proovid ja tehti põhjaelustiku videovaatluseid. Tehti katsepüügid kalastiku hetkeolukorra kaardistamiseks. Korraldati küsitlus tammi teemal huvitatud inimeste seas.

Numbriliselt modelleeriti veevahetust, veesamba füüsikalisi ja biogeokeemilisi parameetreid erinevate alternatiivide rakendumise korral.

2.1. Metoodika

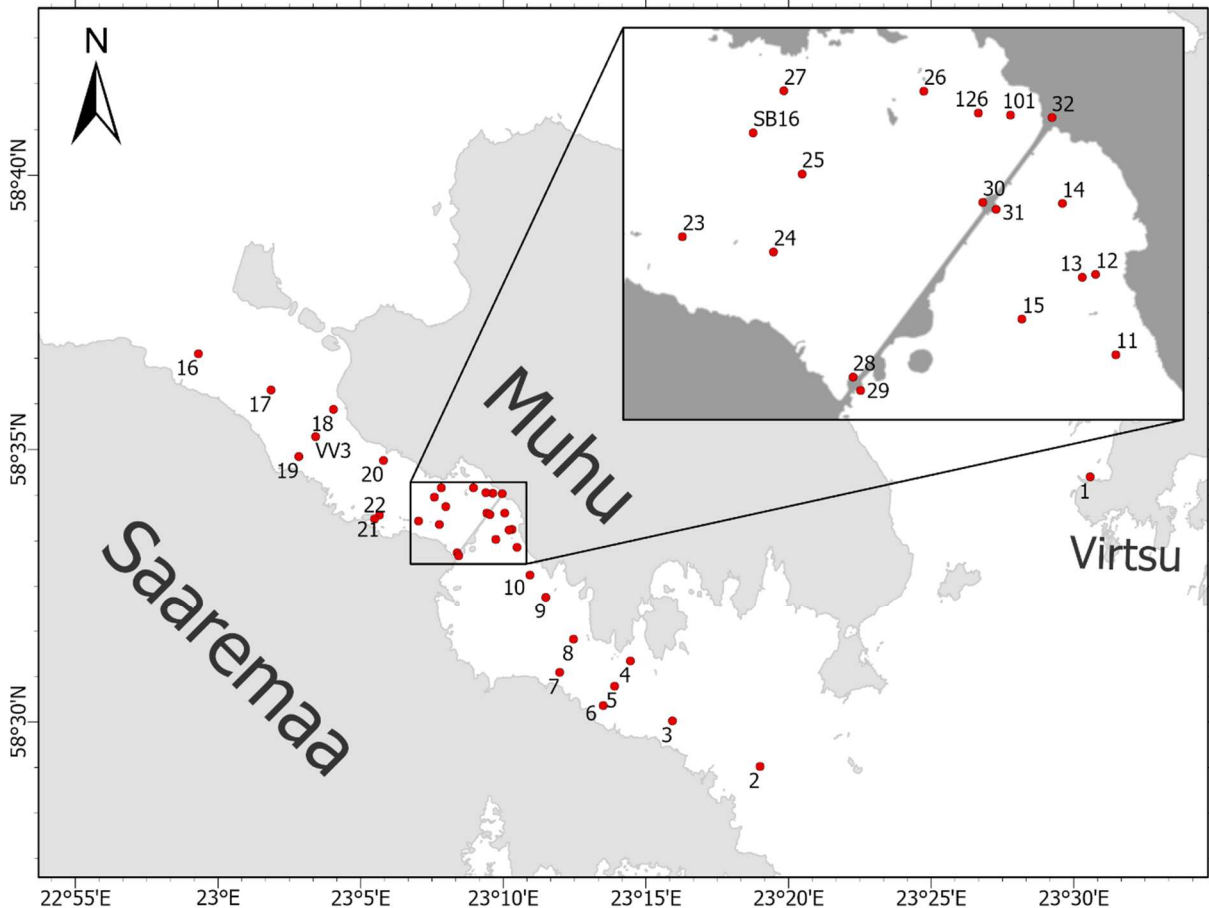
2.1.1. Ruumilised füüsikaliste ja biogeokeemiliste parameetrite mõõtmised

Füüsikaliste näitajate mõõtmised toimusid samaaegselt veeproovide kogumisega biogeokeemiliste näitajate määramiseks. Kokku toimus kuus mõõdistust (kuupäevadel 27.06.2020, 28.08.2020, 29.09.2020, 27.10.2020, 10.12.2020, 12.05.2021), mille käigus teostati kokku 186 sondeerimist; registreeriti hägususe, temperatuuri, soolsuse ja klorofüll-a fluorestsentsi vertikaalsed profiilid (joonis 2.1.1.1). Sondeerimiseks kasutati CTD sondi SBE 19 plus V2 SeaCAT Profiler (viimane kalibreerimine 22.01.2020), mille mõõtesagedus oli neli mõõtmist sekundis.

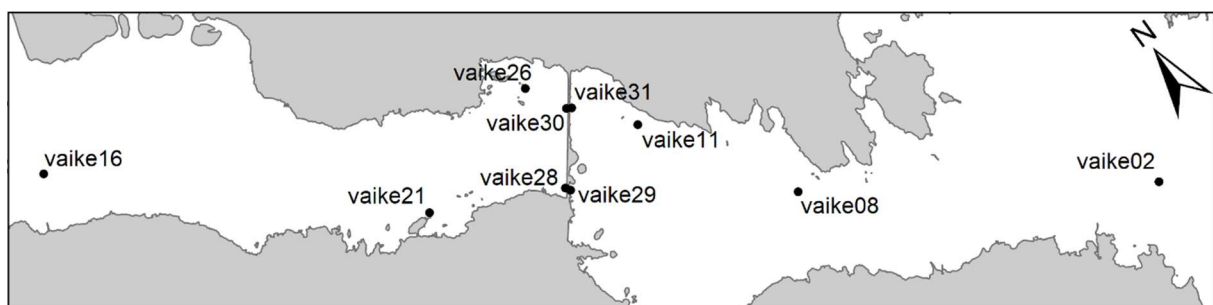
Sondi poolt mõõdetud hägususe kalibreerimiseks heljumi kontsentratsiooniks leiti regressiooniseos samaaegselt kogutud veeproovidest määratud heljumi kontsentratsiooni ja hägususe vahel (determinatsioonikordaja $r^2=0,67$).

Sarnaselt hädususe kalibreerimisele, teisendati sondiga registreeritud klorofüll-a fluorestsentsi väärtused klorofüll-a kontsentratsiooniks kasutades veeproovidest laboratoorsete analüüside põhjal määratud klorofüll-a kontsentratsiooni ja fluorestsentsi regressiooniseost ($r^2=0,76$). Laboratoorsete analüüside jaoks käesoleva projekti raames veeproove ei kogutud vaid kasutati sarnasest piirkonnast (madal laht) saadud klorofüll-i fluorestsentsi ja proovidest määratud klorofüll-a kontsentratsiooni vahelist seost.

Toitainete määramiseks koguti pinnakihist veeproove 10-s jaamas (joonis 2.1.1.2), kokku 59 veeproovi. Veeproovidest määrati anorgaaniliste toitainete (NO_2+NO_3 , NH_4 , PO_4), silikaatide ning üldlämmastiku ja üldfosfori kontsentratsioonid.



Joonis 2.1.1.1. Saaremaa ja Muhu saare vaheline uringuala. Punased täpid tähistavad asukohti, kus teostati mõõtmisi. Üks mõõtmisjaam oli ka Virtsus.



Joonis 2.1.1.2. Väikese väina toitainete analüüsiks veeproovide kogumise jaamad.

Veeproovidest määrati fosfaatide, nitritite+nitraatide ning üldlämmastiku kontsentratsioonid laboris voogsisestus analüsaatoril Lachat QuickChem® 8500.

Fosfaatide määramisel detekteeritakse spektrofotomeetriliselt värvikompleksi, mis tekib ammoniummolübdadi ja askorbiinhappega reageerides (EVS-EN ISO 15681-1:2005) ning meetoodika laiendmõõtemääramatuseks on väiksemate kontsentratsioonide (<5 µg P/l) korral 19%, suuremate kontsentratsioonide korral 15%.

NO₂+NO₃ määramisel toimub nitraatide taandamine nitrititeks ning diasooniumioonist moodustuva kompleksi detekteerimine (EVS-EN ISO 13395:1999), laiendmõõtemääramatuseks on väiksemate kontsentratsioonide (<4 µg N/l) korral 15% ja suuremate kontsentratsioonide korral 13%.

Üldlämmastiku määramiseks oksüdeeritakse erinevad lämmastikuühendid nitraatideks, mis taandatakse samuti nitrititeks (EVS-EN ISO 11905-1:2003). Meetoodika laiendmõõtemääramatus on väiksemate kontsentratsioonide (<100 µg N/l) korral 14%, keskmiste kontsentratsioonide korral 11% ning suuremate kontsentratsioonide (>400 µg N/l) korral 9%.

Ammooniumi, silikaatide ning üldfosfori sisaldused määrati spektrofotomeetrilisi manuaalmeetodeid kasutades. Ammooniumlämmastiku määramisel detekteeritakse indofenoolsinise kompleksi teket (Grasshoff et al., 1999). Ammooniumi laiendmõõtemääramatuseks on väikeste kontsentratsioonide (<60 µg N/l) korral 30% ja suuremate kontsentratsioonide korral 24%. Silikaatide ning üldfosfori määramisel detekteeritakse samuti molübdadi-värvikompleksi (Grasshoff et al., 1999) (EVS-EN ISO 6878:2004), üldfosfori puhul toimub eelnevalt fosforiühendite oksüdeerimine fosfaatideks. Meetoodika laiendmõõtemääramatus on silikaatide väikeste kontsentratsioonide (<100 µg SiO₄/l) korral 8% ja suuremate kontsentratsioonide korral 7% ning üldfosforil madalate kontsentratsioonide (<20 µg P/l) juures 19%, suuremate kontsentratsioonide korral 11%.

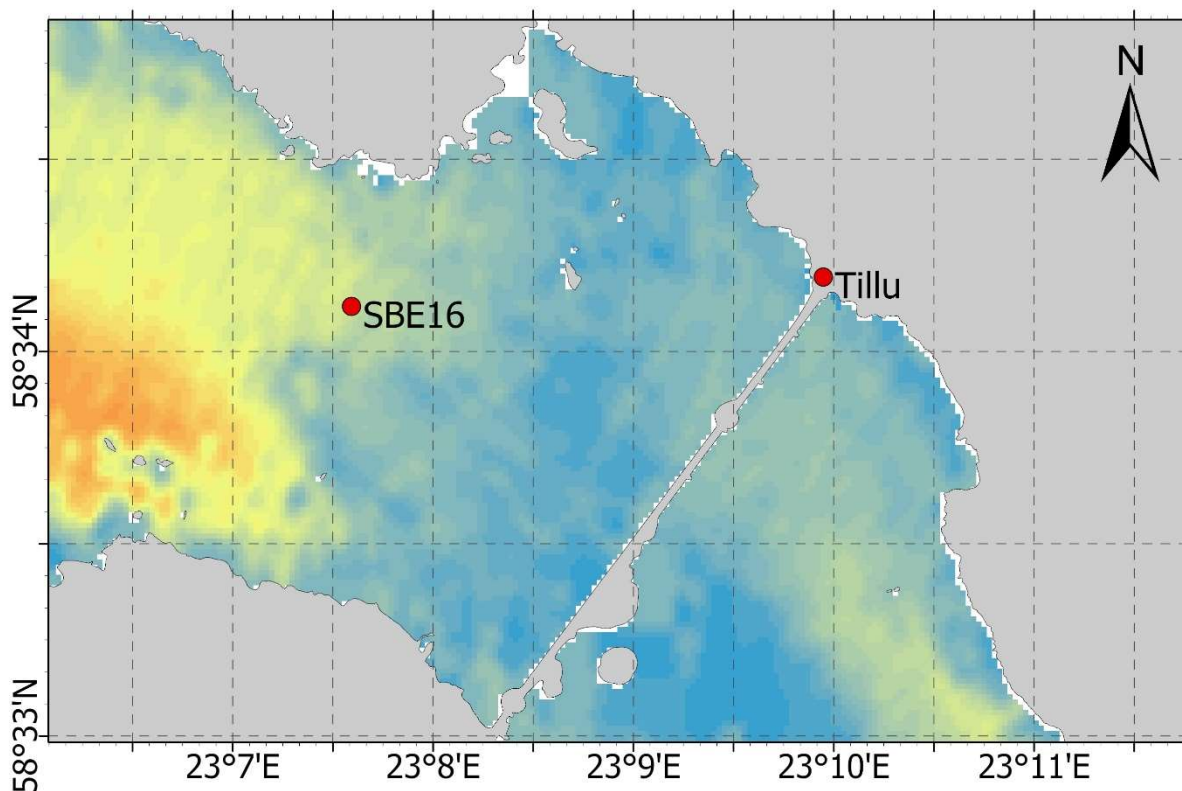
2.1.2. Aegread poiijaamadest

Lisaks ruumilistele mõõdistustele viidi läbi mõõtmised poiijaamades. Enamus mõõtmisi viidi läbi Tillunires, üks poiijaam (SBE16) paigaldati ka Tillunirest läände (vt. joonis 2.1.2.1). Kuna väin on madal ja seal on liikvel mitmesugust orgaanilist materjali, siis esines mõõtmistes, eriti hoovuste aegridades mitmeid probleeme. Vaatamata sellele koguti piisavalt andmeid kirjeldamiseks parameetrite ajalist varieeruvust. Töös mõõdeti järgmised aegread:

- Temperatuur ja hapnik Tillunires juunis – juulis 2020;
- Temperatuur, soolsus, hägusus ja hapnik jaamas SBE16 oktoobris 2020;
- Hoovus Tillunires augustist oktoobrini 2020.
- Hoovus, temperatuur, soolsus ja hägusus Tillunires mais – juunis 2021;
- Temperatuur ja hapnik Tillunires septembris – oktoobris 2021.

Hoovuseid mõõdeti Valeport Model 106 mõõtjaga; temperatuuri, soolsust, hapnikku ja hägusust SBE 16 plus V2 SeaCAT CTD ja PME miniDOT logeriga.

Täiendavalt on töös kasutatud vee ja õhu temperatuuri ja sademete mõõtmisandmeid Virtsu ning tuuleandmeid Ruhnu meteojaamast.



Joonis 2.1.2.1. Pidevmõõtmiste asukohad (punased ringid) Väikeses väinas.

2.1.3. Ohtlikud ained setetes

Koos veeproovidega koguti Väikesest väinast ka setteproove raskemetallide ja ohtlike ainete määramiseks. Setete analüüsid telliti ALS Ltd. Tšehhi laborist (ALS Czech Republic), originaalandmed on toodud Lisas 3. Määrati HELCOM-i kohustuslikud metallid (Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Zn), lisaks As, üldfosfor, üldlämmastik ja üldorgaaniline süsinik, tinaorgaanilised ühendid, sh. tributüültina, PCB-d (7 ühendit, WHO nimekiri), naftaproduktide fraktsioonid C10-C40, kuivaine osakaal ja fraktsioonid (12 fraktsiooni), PAH-d (16 ühendit).

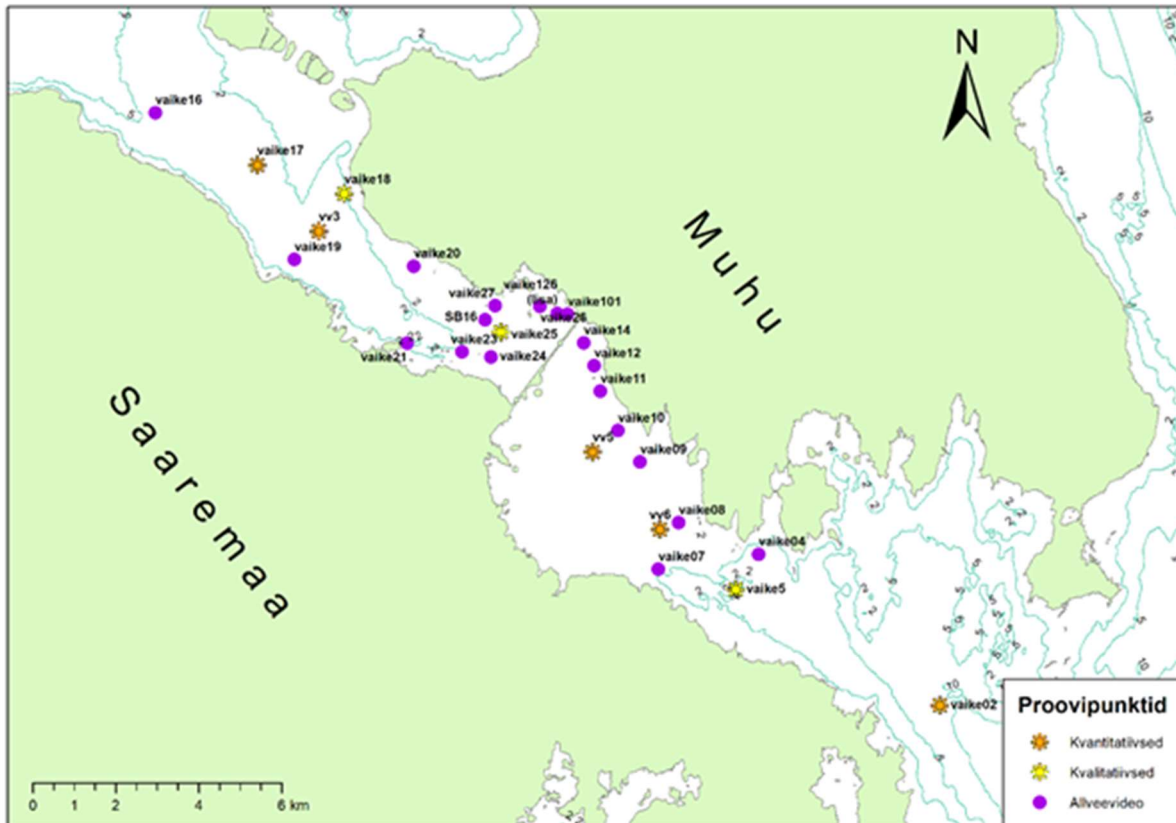
Setteproove koguti mõlemalt poolt tammi kokku kuuest punktist (vaike05, vaike14, vaike18, vaike30, vaike31, vaike126). Väinatammi vahetust lähedusest võetud proovidest (punktid vaike30 ja vaike31, Joonis 2.1.1.2) eraldati alumine ja ülemine kiht. Ülejäänud punktidest koguti ainult pinnakihi proove.

Proovide võtmiseks kasutati Van Veeni proovivõtjat ning profiilide võtmiseks vahetult tammi äärest (jaamad vaike30 ja vaike31) väikest proovivõtutoru.

Raskemetallid satuvad vesikeskkonda peamiselt inimtegevuse tagajärjel (näiteks põllumajandusest, põletamisest, tööstusest, heitveest ja ka transpordi tõttu). Raskemetalle on seostatud negatiivse mõjuga elusorganismidele - vähki tekitavad, käitumishäired, arenguhäired, neeruprobleemid ja reproduktiivsuse häired (Alomary & Belhadj, 2007). Raskemetallid on vees raskesti lahustuvad ja enamasti seonduvad vees hõljuvate osakeste külge, mis hiljem settivad põhja (Yang et al., 2014). Seetõttu on vees raskemetallide kontsentratsioonid enamasti väiksemad kui setteproovis. Veis olevad raskemetallid võivad sattuda ka inimeste toidulauale eelkõige läbi kalade. Suurte merelainete ja hoovustega võivad settinud raskemetallid resuspensiooni käigus sattuda uuesti veesambasse, põhjustades sealset raskemetallide sisalduse kasvu. Seda eriti madalas rannikuvees.

2.1.4. Põhjaelustik

Põhjaelustiku vaatlused uuringualal teostati 29.09.2020 ja 27.10.2020 sügavusvahemikus 0,4-9,5 m (Joonis 2.1.4.1). Välitööde käigus koguti põhjaproove Ekman-Birge tüüpi põhjaammutajaga (haardepind 0,0225 m²). Kvantitatiivseid proove kolmes korduses koguti viies proovivõtu punktis, kus registreeriti põhjakoosluste liikide biomass ja arvukus. Lisaks koguti kolmes proovivõtu punktis kvalitatiivsed proovid, et registreerida põhjataimestiku ja loomastiku liikide/taksonite esinemist. Allveevideo abil registreeriti 27 proovivõtu punktis substraaditüüp, kinnitunud taimestiku üldkatvus, taimestiku taksonite esinemine ja katvus.



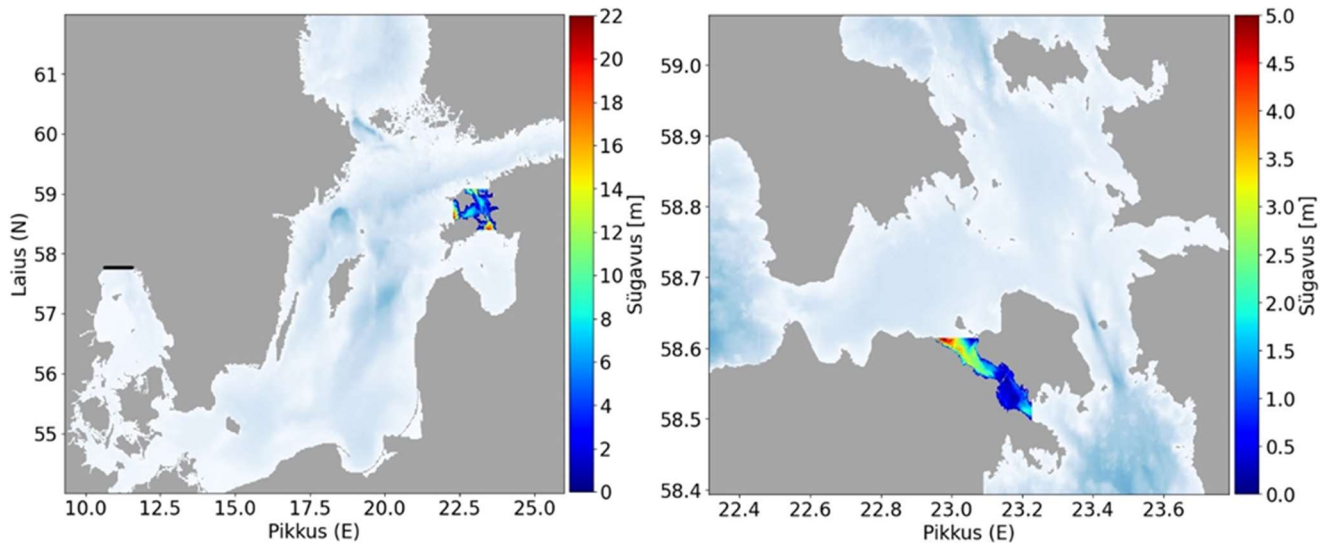
Joonis 2.1.4.1. Põhjaelustiku proovivõtu punktide paiknemine uuringualal.

Võrdlemiseks põhjaelustiku liigilise koosseisu muutusi asukohtade vahel kasutati mittemeetrilise mitmemõõtmelise ordineerimise tehnikat ehk NMDS koos Bray-Curtis erinevusindeksi arvutusega. Tulemuste visualiseerimiseks ja tõlgendamiseks kasutati statistilise programmi R funktsiooni 'metaMDS' (programmi pakett VEGAN, <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>).

2.1.5. Füüsikaliste muutujate modelleerimine

Käesolevas töös on rakendatud numbrilist, lihtsustamata võrranditel põhinevat kolmemõõtmelist hüdrodünaamika mudelit GETM (General Estuarine Transport Model) (Burchard & Bolding, 2002), mis lahendab lihtsustamata võrrandeid sisseehitatud vertikaalselt adaptiivsete koordinaatide skeemiga (Hofmeister et al., 2010). Viimane vähendab oluliselt numbrilist segunemist arvutustes (Gräwe et al., 2015). Vertikaalse segunemise arvutamiseks kasutab GETM üldist ookeani turbulentsi mudelit GOTM (General Ocean Turbulence Model) (Umlauf & Burchard, 2005) ning k- ϵ skeemi (Canuto, 2001).

Horisontaalne võrgusisene segunemine on arvatud kasutades Smagorinsky parametriseerimist (Smagorinsky, 1963). Mudeliga arvutatakse hüdrodünaamilised tingimused (temperatuur, soolsus, veetase, hoovuse kiirused) nii Väikeses väinas kui ka Väinameres tervikuna.



Joonis 2.1.5.1. Modelleerimisel kasutatud seotud arvutusvõrkude skeem. Vasakul: Kogu Läänemere mudel lahutusega 1 meremiil koos Väinamere mudeli arvutusvõrgu lahutusega 100 m (värvitud piirkond). Jäme must joon märgib avatud rada Kattegatis. Paremal: Väinamere mudeli arvutusvõrk koos Väikeses väina arvutusvõrgu lahutusega 25 m (värvitud piirkond).

Uuritava piirkonna modelleerimiseks on kasutusel seotud võrkude süsteem – terve Läänemeri modelleeritakse horisontaalse võrgusammuga 1 meremiil (1852 m) ning Väinameri koos Väikeses väinaga muutuva horisontaalse sammuga 100 meetrit (Väikesest väinast väljaspool) ja 25 meetrit (Väikeses väina sees) (vt. joonis 2.1.5.1). Läänemere mudel kasutab avatud radadel Põhjamere ja Läänemere vahelise barotroopse veevahetuse arvutamiseks mõõdetud veetaseme andmeid Göteborgi automaatjaamast ning klimatoloogilisi temperatuuri ja soolsuse profiile Kattegatis (Janssen et al., 1999). Kõrglahutusega piirkonnas kasutatakse rajatingimustena interpoleeritud tulemusi 1-miilise mudelist tunnise ajasammuga.

Kogu Läänemere tiheduse (soolsuse ja temperatuuri) algtingimustena kasutatakse Copernicuse mereteenuse re-analüüsi andmeid kuupäevale 1.04.2010 ning arvutatakse 10 aastat kuupäevani 30.10.2019, misjärel kasutatakse saadud tihedusvälja kõrglahutusega mudeli sisendiks. Atmosfääri rajatingimustena (tuule kiirus ja soojavood) on kasutusel ERA5 re-analüüs (Herschbach et al., 2020). Läänemere jõgede sissevoolude andmed koos toitainete voogudega pärinevad HELCOM andmebaasist (Svendsen & Gustaffson, 2021).

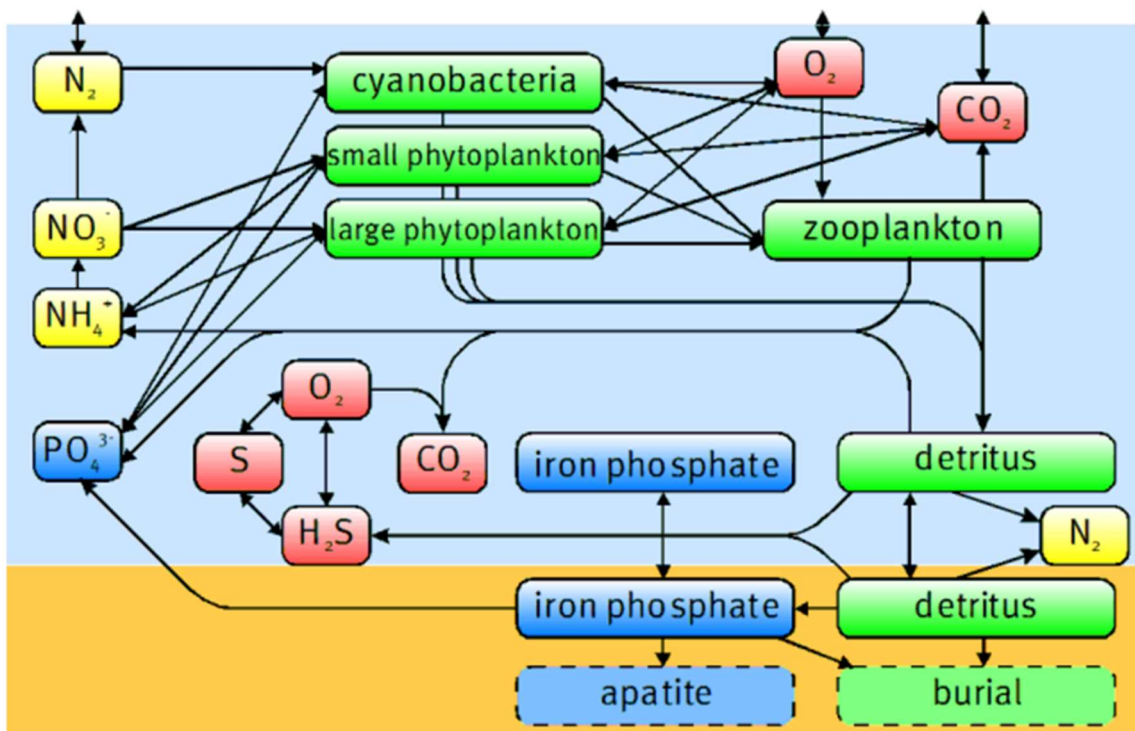
Kõrglahutusega mudeliga arvutati nii füüsikalised kui ka biogeokeemilised parameetrid perioodil 30.10.2019 kuni 31.12.2020, salvestades 3D andmed ööpäevase intervalliga ning tammi lähedastes asukohtades Tillu N, Tillu S, A1N, A2N, A1S ja A2S (vt. joonis 2.2.5.1) ühe tunnise intervalliga.

2.1.6. Biogeokeemiliste muutujate modelleerimine

Käesolevas töös kasutame biogeokeemiliste väljade modelleerimiseks mudelit ERGOM (Neumann et al., 2002; Neumann & Schernecki, 2008), mis on GETMis läbi FABM (Brüggemann & Bolding, 2014) liidese.

ERGOM on lämmastikuringel põhinev NPZD-tüüpi mudel, mis võimaldab hinnata lahustunud anorgaaniliste toitainete ja fütoplanktoni muutlikkust meres. Mudelis on 12 olekumuutujat, millest 3 (ammoonium, nitraadid ja fosfaadid) kirjeldavad toitaineid ja 3 fütoplanktonit (ränivetikad, flagellaadid ja sinivetikad). Fütoplanktonit tarbib mudelis zooplankton ning surnud bioloogiat kirjeldab detriit. Lisaks on mudelisse parameetritena kaasatud hapnik ja väävelvesinik ning raud-fosfaadid ja põhja settinud bioloogiline materjal (vt. Joonis 2.1.6.1).

Biogeokeemia algväljadena on kasutatud Läänemere Uurimisinstituudi (IOW) modelleerimistulemusi perioodist 1948–2012 kasutades kuu keskmisi tulemusi jaanuaris 2010, mida on pikendatud 1-meremiilise GETM mudeliga aastani 2020.



Joonis 2.1.6.1. ERGOM mudeli skeem koos muutujate ja protsessidega. Käesolevas töös kasutatud versioonis ei ole CO₂ ringet. Allikas: www.ergom.net.

2.1.7. Kalastik

Läänemere rannikualade kalastiku rahvusvahelisele seiremetoodikale (Thoreson, 1996) tuginedes koostatud nakkevõrkude jaamadega teostati püüke sügisperioodil – 2020. aasta novembri lõpul (28. – 29. 11.) ja kevadperioodil – 2021. aasta aprilli algul (07. – 08.04.).

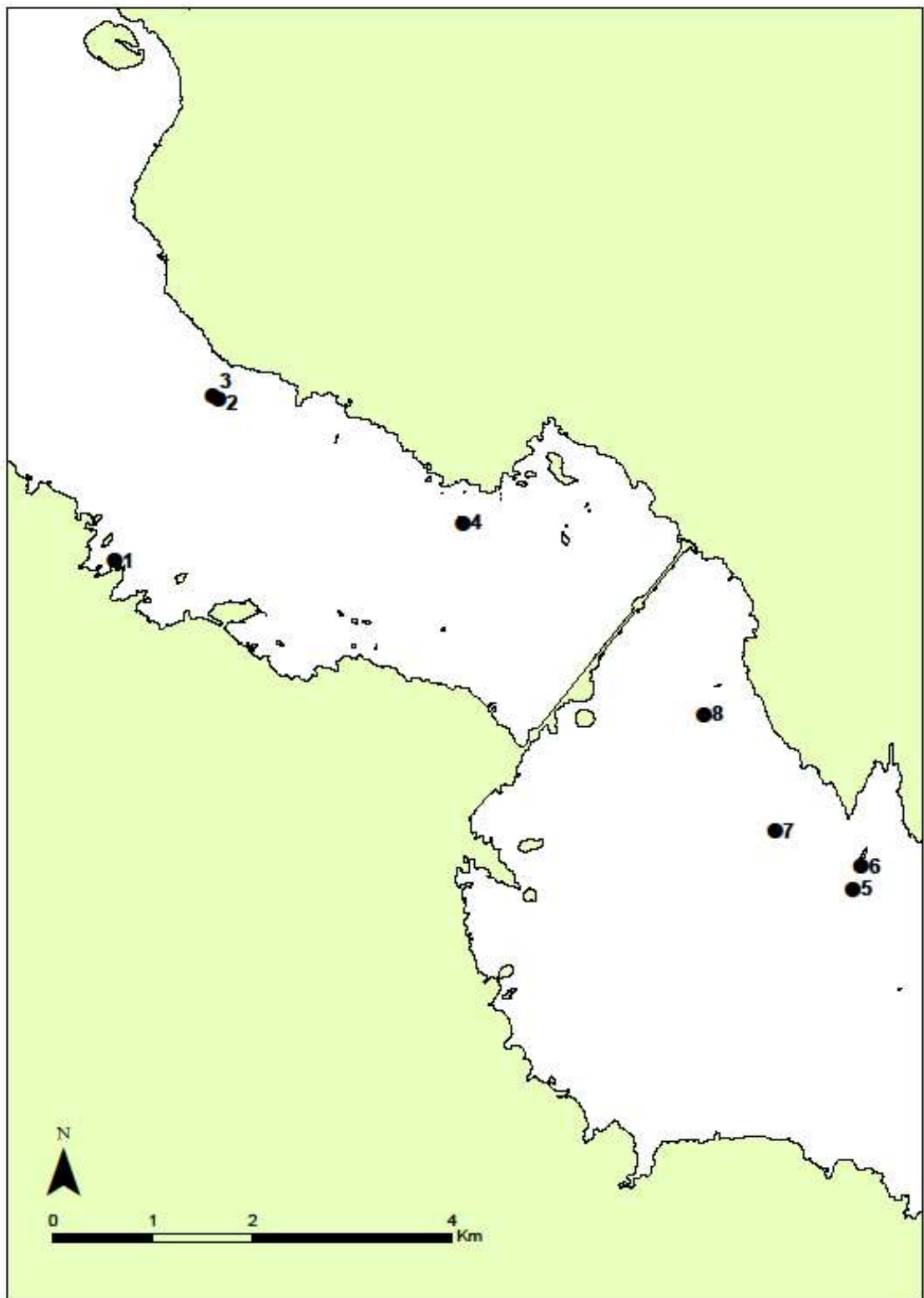
Sügiseseid püügid toimusid laiemas piirkonnas – põhjapoolsel alal Orissaare-Koguva küla joonest kuni Väinatammini ja lõunapoolsel alal tammist kuni Muhu lõunarannikul paikneva Lahekülani (Joon. 2.1.7.1).

Kevadised püügid viidi läbi kitsamas piirkonnas – maksimaalselt 1 km ulatuses kummalgi pool Muhu edelarannikul paikneva tammialuse läbivoolu („Tillunire“) suudmeid (Joon. 2.1.7.2). Kasutatud seiremetoodika on akrediteeritud Eesti Akrediteerimiskeskuse poolt (registreerimisnumber L179) ja on

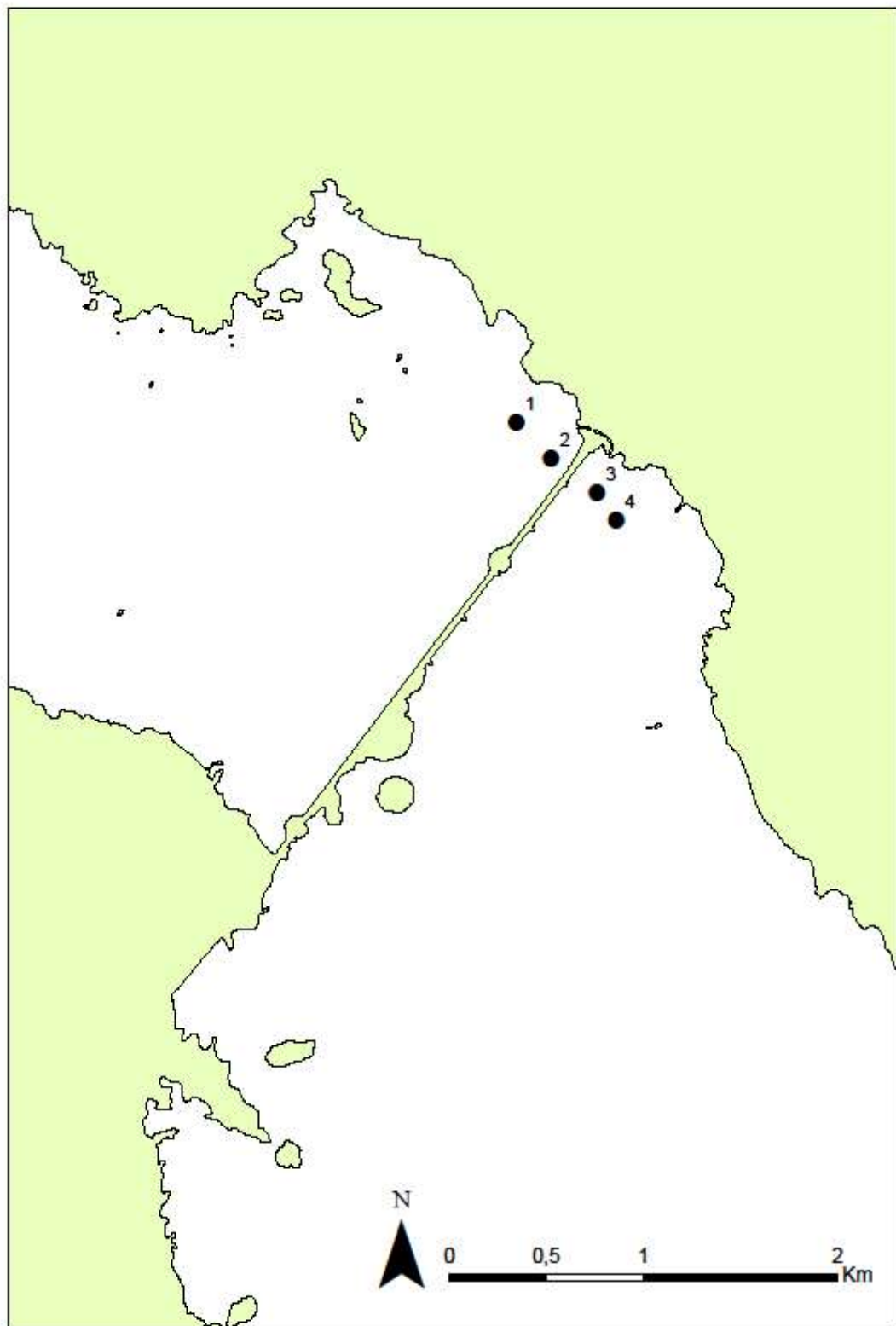
ette nähtud kalastiku liigilise koosseisu, arvukuse ja biomassi määramiseks Eesti merealadel. Püütud kalade analüüs toimus vastavalt HELCOMi reeglitele (HELCOM, 2015) ja vastas veekvaliteedi hindamise standardi EVS-NE 14757:2015 nõuetele.

Kalakoosluste lähemaks iseloomustamiseks kasutati käesolevas uuringus CPUE ja WPUE väärtusi. CPUE ehk püütud kalade arv püügiühiku kohta (Catch per unit effort) näitab ühe püügikorra (antud juhul ühe püügi öö) jooksul tabatud kalade isendite arvu ühe (mitmest võrgust koosneva) seirejaama kohta. WPUE ehk püütud kalade biomass püügiühiku kohta (Weight/biomass per unit effort) näitab vastavalt ühe püügikorra vältel ühe seirejaamaga püütud kalade biomassi.

Hindamaks, kas kalakoosluste struktuur (kasutades Bray-Curtis-e sarnasusindeksit) erineb Väikese väina tammiga lahutatud Tillunire suudmealade vahetus läheduses kasutati analüüsi ANOSIM (merekoosluste analüüsi statistiline tarkvarapakett PRIMER v7; Clarke & Gorley, 2015). Vaatlemaks erinevate kalaliikide mõju kalakoosluste struktuuri varieeruvusele, muutujate erinevate tasemete vahel kasutati analüüsi SIMPER (kasutati mudelit, kus aastaajapõhise muutujate analüüsi juures võeti arvesse ka jaama asukoha mõju). Tulemuste illustreerimiseks koostati MDS (mitmemõõtmeline ordineerimine e. MDS – Multi Dimensional Scaling) graafik, millel jaamu kirjeldavate punktide vaheline kaugus iseloomustab nendes jaamades vaadeldud kalakoosluste vahelist erisust (graafikul lähestikku asuvate jaamade kalakoosluste struktuur on omavahel suhteliselt sarnasem, võrreldes jaamadega, mis asuvad graafikul üksteisest kaugemal).



Joonis 2.1.7.1. Seirejaamade paiknemine Väikeses väinas sügisestel seirepüükiel 28.– 29.11.2020.



Joonis 2.1.7.2. Seirejaamade paiknemine Väikeses väinas kevadistel seirepüükel 07.–08.04.2021.

Sügiseseid püügid Väikese väina tammist põhja ja lõuna pool toimusid spetsiaalselt siiapüügiks koostatud standardsetest 30 meetri pikkustest ja 1,8 meetri kõrgustest erineva võrgusilmade suurustega (sõlmest sõlmeni 38, 40, 42, 45, 50 mm) nakkevõrkudest koosnevate seirejaamadega. Viiest erinevast võrgust koosnevad jaamad asetati püügile õhtul enne päikeseloojangut ja võeti veest välja hommikul pärast päikesetõusu. Kuna maksimaalne meresügavus püügipiirkonnas ei ületanud 1,5 meetrit, katsid võrgud kogu veekihi põhjast pinnani. Püütud kaheksa seirejaama keskpunktide koordinaadid on toodud Tabelis 1 ja asukohad kaardil on toodud Joonisel 2.1.7.1.

Tabel 2.1.7.1. Väikese väina põhja- ja lõunapoolsel uurimisalal 2020. aasta sügisese püügi seirejaamade koordinaadid, sügavused (H), veetemperatuur (VT) ja Secchi sügavus (SH).

Aasta	Asukoht	Aeg	Jaam	Laius (N)	Pikkus (E)	H (m)	VT (°C)	SH (m)
2020	Põhjapool	28.-29.11.	1	58.567	23.066	1,5	3,5	>1,5
2020	Põhjapool	28.-29.11.	2	58.582	23.084	1,2	3,5	>1,2
2020	Põhjapool	28.-29.11.	3	58.582	23.083	1,5	3,5	>1,5
2020	Põhjapool	28.-29.11.	4	58.571	23.126	1,3	3,5	>1,3
2020	Lõunapool	28.-29.11.	5	58.537	23.194	1,1	3,0	>1,1
2020	Lõunapool	28.-29.11.	6	58.323	23.117	1,0	3,2	>1,0
2020	Lõunapool	28.-29.11.	7	58.325	23.108	1,1	3,2	>1,1
2020	Lõunapool	28.-29.11.	8	58.553	23.168	1,2	3,1	>1,2

Kevadpüükide metoodika

Kevadised püügid Väikese väina tammist põhja ja lõuna pool toimusid rannikumere põhjalähedase kalastiku seireks Läänemere piirkonnas kasutatavate standartsete 30 meetri pikkuste ja 1,8 meetri kõrguste erineva võrgusilma suurusega nakkevõrkudega. Kuuest erinevast võrgust (viiest nakkevõrgust võrgusilmade suurusega sõlmest sõlmeni 42, 45, 50, 55, 60 mm ja ühest 45 meetri pikkusest ja 1,8 meetri kõrgusest „Nordic“ – tüüpi sektsioonvõrgust, mis koosnes üheksast viiemeetrise erinevate silmasuurustega sektsioonist järjestuses 30, 15, 38, 10, 48, 12, 24, 60, 19 mm) koosnevad jaamad asetati püügile õhtul enne päikeseloojangut ja võeti veest välja hommikul pärast päikesetõusu. Maksimaalne meresügavus püügipiirkonnas ei ületanud 0,7 meetrit ja seega katsid võrgud kogu veesamba põhjast pinnani. Püütud nelja seirejaama keskpunktide koordinaadid on ära toodud tabelis 2.1.7.1 ja asukohad kaardil on ära toodud joonisel 2.1.7.2.

Tabel 2.1.7.2. Väikese väina põhja- ja lõunapoolsel uurimisalal 2021. aasta kevadise püügi seirejaamade koordinaadid, sügavused (H), veetemperatuur (VT) ja Secchi sügavus (SH).

Aasta	Asukoht	Aeg	Jaam	Laius (N)	Pikkus (E)	H (m)	VT (°C)	SH (m)
2021	Põhjapool	07.-08.04.	1	58.570	23.158	0,7	4,8	>0,7
2021	Põhjapool	07.-08.04.	2	58.568	23.161	0,7	4,8	>0,7
2020	Lõunapool	07.-08.04.	3	58.567	23.165	0,7	4,6	>0,7
2020	Lõunapool	07.-08.04.	4	58.565	23.167	0,7	4,6	>0,7

2.1.8. Küsitlus

Lisaks merekeskkonna võimalikele probleemidele, on seoses tammiga tõstatatud ka kalameeste ja mereturismi harrastajate jaoks läbipääsu puudumine ühelt väina poolelt teisele. Projekti käigus läbiviidud küsitluse eesmärgiks oli välja selgitada põhiliselt just selle piirkonna peamiste kasutajate seisukoht ja arvamus, kas tammile oleks vaja rajada avasid ning millised võimalikud sotsiaalsed ning majanduslikud mõjud võiksid sellega kaasneda.

Küsitluse esimeses osas tutvustati vastajatele uuringu eesmärki. Küsiti, mis piirkondade inimesed külastavad Väikest väina ja tammi võimalikke avasid; kas Väikese väina mereala hakataks külastama enam, kui seal oleks praegusest Tillunirest suurem ja paremini läbitav ava. Küsiti ka, kas praegused ja tulevased kasutajad näevad piirkonnas võimalikke muutusi seoses uute arengutega tammil.

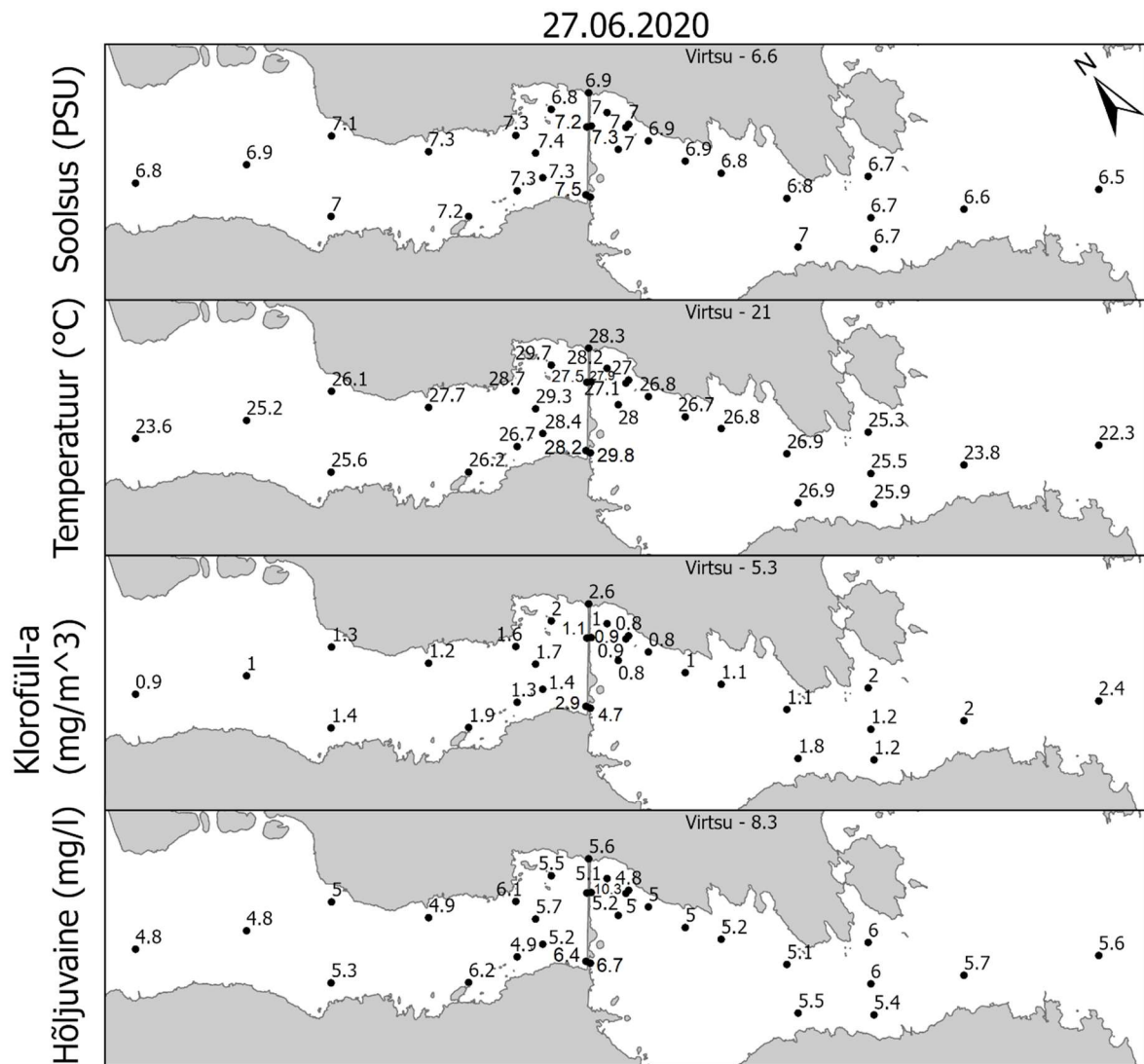
Küsimustik koostati virtuaalselt online versioonina, kasutades selleks *Google forms* programmi. Küsitluse virtuaalset ankeeti jagati peamiste sihtrühmade seas läbi sotsiaalmeedia kanalite (Väikese Väina seltsi ja Saaremaa valla Facebooki lehel).

2.2. Tulemused

2.2.1. Ruumilised füüsikaliste ja biogeokeemiliste parameetrite mõõtmised

Füüsikaliste parameetrite ja klorofüll a mõõtmised

Järgnevalt on esitatud füüsikaliste parameetrite mõõdistustulemused Väikeses väinas. Lisaks väina mõõdistuste andmetele on võrdluseks esitatud ka Virtsu sadamas mõõdetud tulemused, mis on toodud eraldi iga joonise ülaosas. Väikese väina kaguosa (Liivi laht) asub joonistel tammist paremal, loodeosa (Väinameri) vasakul.



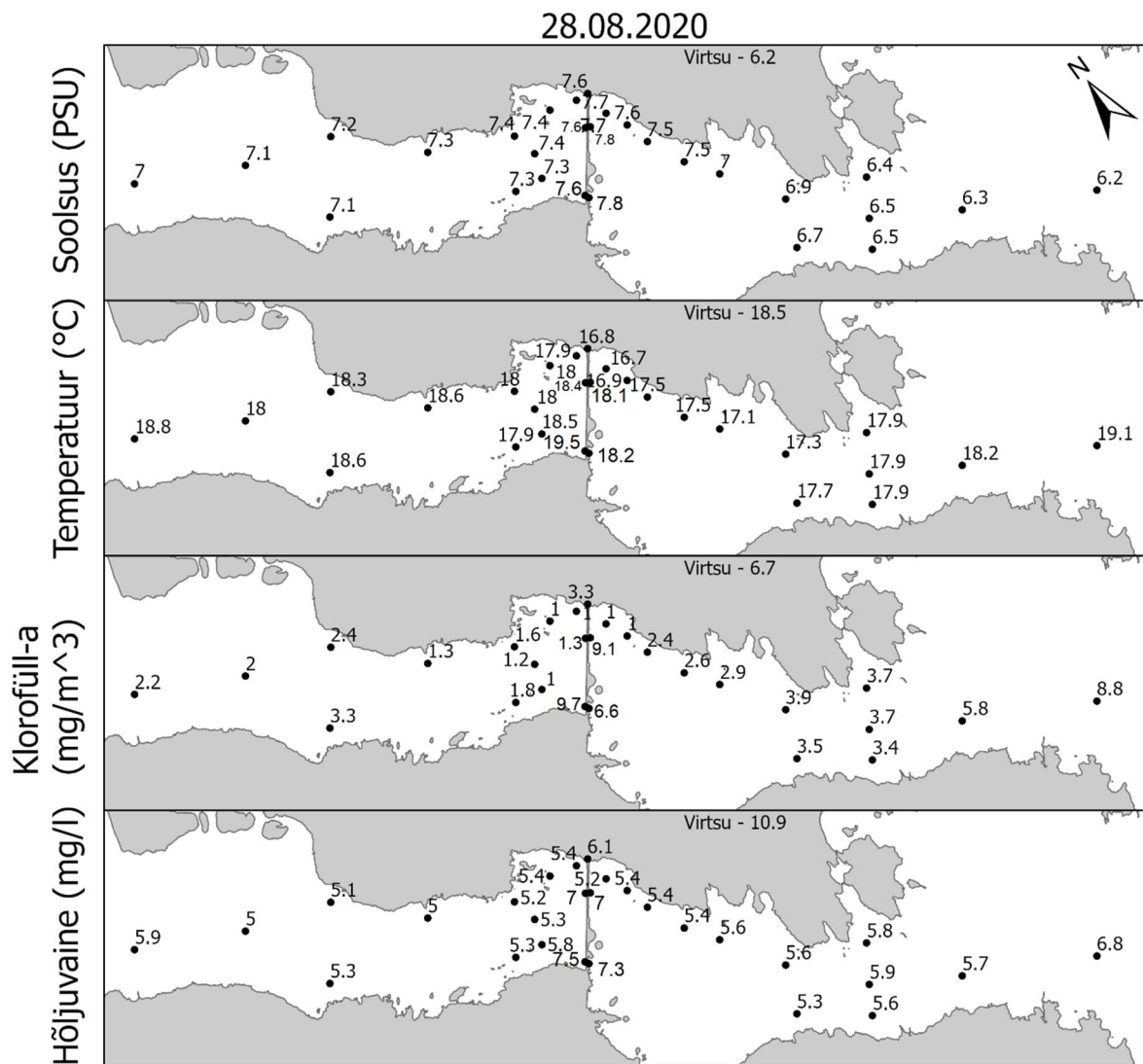
Joonis 2.2.1.1. Soolsuse, temperatuuri, klorofüll-a ja heljumi jaotused Väikese väina pinnakihis 27. juunil 2020 toimunud möödistuse andmetel.

Väikeses väinas 27.06.2020 toimunud möödistusel (joonis 2.2.1.1) jäi pinnakihi soolsus vahemikku 6,5–7,5 PSU. Liivi lahe veemass oli soolsusega 6,5–6,6 PSU ja Väinamere veemass 6,8–6,9 PSU. Virtsus oli soolsus sarnane väina kaguosale, st. Liivi lahe soolsusele, jäädes 6,6 PSU juurde. Liivi lahe avaosas on pinnakihi soolsus tavaliselt tunduvalt madalam kui 6,5–6,6 PSU (Skudra & Lips, 2017). Väina siseosa soolsuse jaotust on varasemates töödes kirjeldatud kui kahte eraldisseisvat veemassi: magedam Liivi lahe veemass ning soolasem Väinamere veemass, mida eraldab tamm. Möödistusest selgus, et soolsuse jaotus on keerukam. Tammi lähedal olid soolsuse maksimaalsed väärtused. Väina kaguosas oli soolsuse gradient, soolsus muutus avamerepoolse osast 6,5 kuni 6,9–7,0 PSU Tillunire juures. Loodeosas olin sarnane gradient, soolsus muutus avamerepoolse 6,8–6,9 kuni 7,3–7,4 PSU väina siseosas. Nii kõrged soolsuse väärtused ülemises kihis Läänemere idaosas saavad esineda seoses süvaveekeerkega või aurumisega. Esimese saame väinas välistada, läheduses puuduvad sügavamad alad, kust kõrge soolsusega vesi oleks saanud tulla. Aurumise nii tugev mõju soolsusele on Läänemere tingimustes ebatavaline. Mõõdetud kõrged soolsuse väärtused näitavad, et selline erandlik nähtus võib tänu piiratud veevahetusele ja ala madalusele väina siseosas aset leida. Temperatuuri aegrida Virtsus näitas juuni teises pooles kiiret vee temperatuuri tõusu (joonis 2.2.2.1). Soojalainega kaasnes peale temperatuuri tõusu ka aurumise suurenemine. Ilmselt on oma roll soolsuse tõusul ka tammil. Kuna veevahetus on piiratud

(st horisontaalne segunemine väike), siis on vertikaalsel segunemisel veesambas ja soojusvahetusel atmosfääriga suhteliselt suurem mõju vee temperatuurile ja soolsusele.

Veetemperatuur madalamas piirkonnas (tammi ääres) oli 28–29 °C, avamerepoolseimates jaamades 22–24 °C. Oluline on siin märkida, et temperatuuri ruumilises jaotuses avaldub ka ööpäevane käik, mille amplituud Tillunires möödistusepäeval võis olla ca 4–5 °C. Möödistust alustati hommikul kagupoolseimatest punktidest ja lõpetati väina loodeosas. Sellegipoolest võib öelda, et väina siseosas on temperatuuri ööpäevane käik oluliselt suurem kui avamerepoolsetel aladel. Samuti võib eeldada, et ilmastiku sünoptiliste sündmuste tagajärjel soojeneb/jahtub väina siseosa kiiremini kui väina avamerepoolsed piirkonnad. Ka temperatuuri puhul võib arvata, et kiirem soojenemine/jahtumine ja tugevam ööpäevane tsükkel väina siseosas on osaliselt tingitud tammi olemasolust.

Klorofüll-a kontsentratsioonide (suures osas 1–3 mg/m³) ja heljumi kontsentratsioonide (suures osas 4–6 mg/l) jaotused Väikeses väinas olid suhteliselt ühtlased. Vaid tammi vahetus läheduses esinesid mõned kõrgemad näidud.



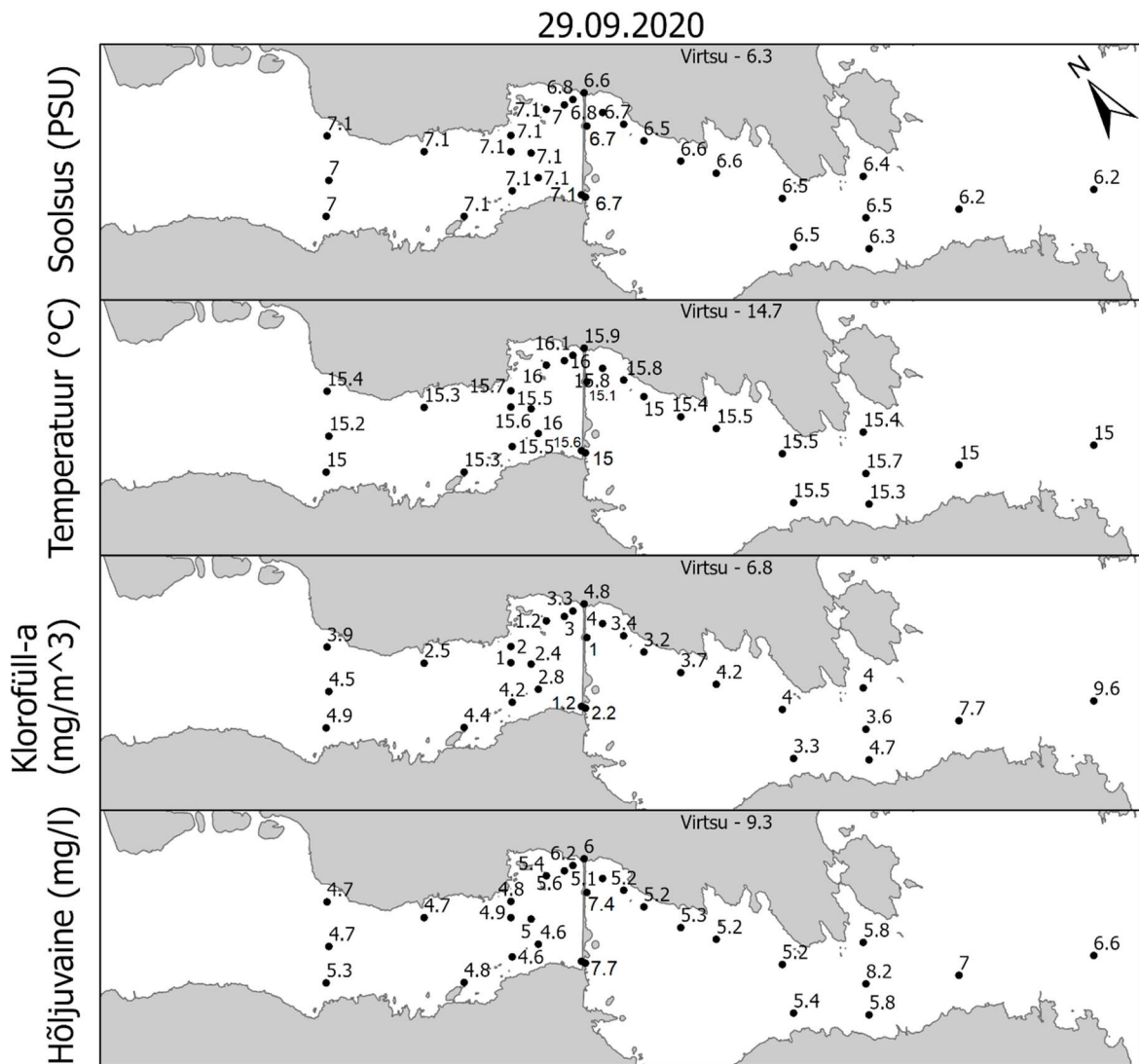
Joonis 2.2.1.2. Soolsuse, temperatuuri, klorofüll-a ja heljumi jaotused Väikeses väinas pinnakihis 28. augustil 2020 toimunud möödistuse andmetel.

Väikeses väinas 28.08.2020 toimunud möödistuse (joonis 2.2.1.2) andmetel avalduvad soolsuse ruumilises jaotuses sarnased tendentsid nagu juuni lõpus tehtud mõõtmistel. Liivi lahe veemass oli võrreldes juuni lõpus tehtud möödistusega magedam. Väina kagupoolseimas jaamas ja Virtsus mõõdeti soolsuseks 6,2 PSU. Väinameres, loodepoolseimates jaamades oli soolsus veidi kasvanud ning see oli augusti lõpus 7,0–7,1 PSU. Sarnaselt juuni lõpuga, esinesid soolsuse gradiendid avamereosadest väina siseosasse, kus soolsus küündis 7,4–7,6 PSU; kohati isegi 7,8 PSU. Võib eeldada, et kui välja arvata suuremate tormide mõju, mis põhjustaks väinas osades intensiivset veevahetust, siis on selline soolsuse jaotus suvisel ajal prevaleeriv ning selline nähtus on vähemalt osaliselt tingitud tammi olemasust.

28.08.2020 möödistusele eelnes piirkonnas vee jahtumine, mis kajastus ka vee temperatuuri ruumilises jaotuses. Avamerepoolsetes jaamades on temperatuur 19 °C, väina siseosas kohati alla 17 °C. Väina loodeosa ja kaguosa väike temperatuuri erinevus (viimases on temperatuur madalam) tuleb ilmselt osaliselt sellest, et möödistust alustati kagust ja päeva jooksul toimus teatud soojenemine.

Klorofüll-a kontsentratsioonid olid võrreldes juuniga mõnevõrra kõrgemad. Kagupoolseimas jaamas ja Virtsu sadamas olid sisaldused vastavalt 8,8 ja 6,7 mg/m³. Liivi lahe osas esines avamerepoolse väinaosa ja väina siseosa vahel klorofüll-a gradient. Siseosas olid väärtused 1–2 mg/m³. Väinamere pool sellist gradienti ei olnud, sisaldused olid 1–3 mg/m³ vahemikus.

Tammi vahetus läheduses olid mõlemal pool tammi kõrgemad heljumi kontsentratsioonid. Heljumi kontsentratsiooni jaotus ja suurusjärg olid sarnased juuni lõpus tehtud möödistusele. Enamasti olid heljumi kontsentratsioonid vahemikus 5–7 mg/m³ ja selgelt eristuvaid gradiente väina siseosa ja avamere vahel ei esinenud. Kõrgeim heljumi kontsentratsioon (11 mg/l) fikseeriti Virtsu sadamas. Viimane võib olla seotud Virtsu sadamas toimuva laevade sõukruvide poolt tekitatud resuspensiooniga.



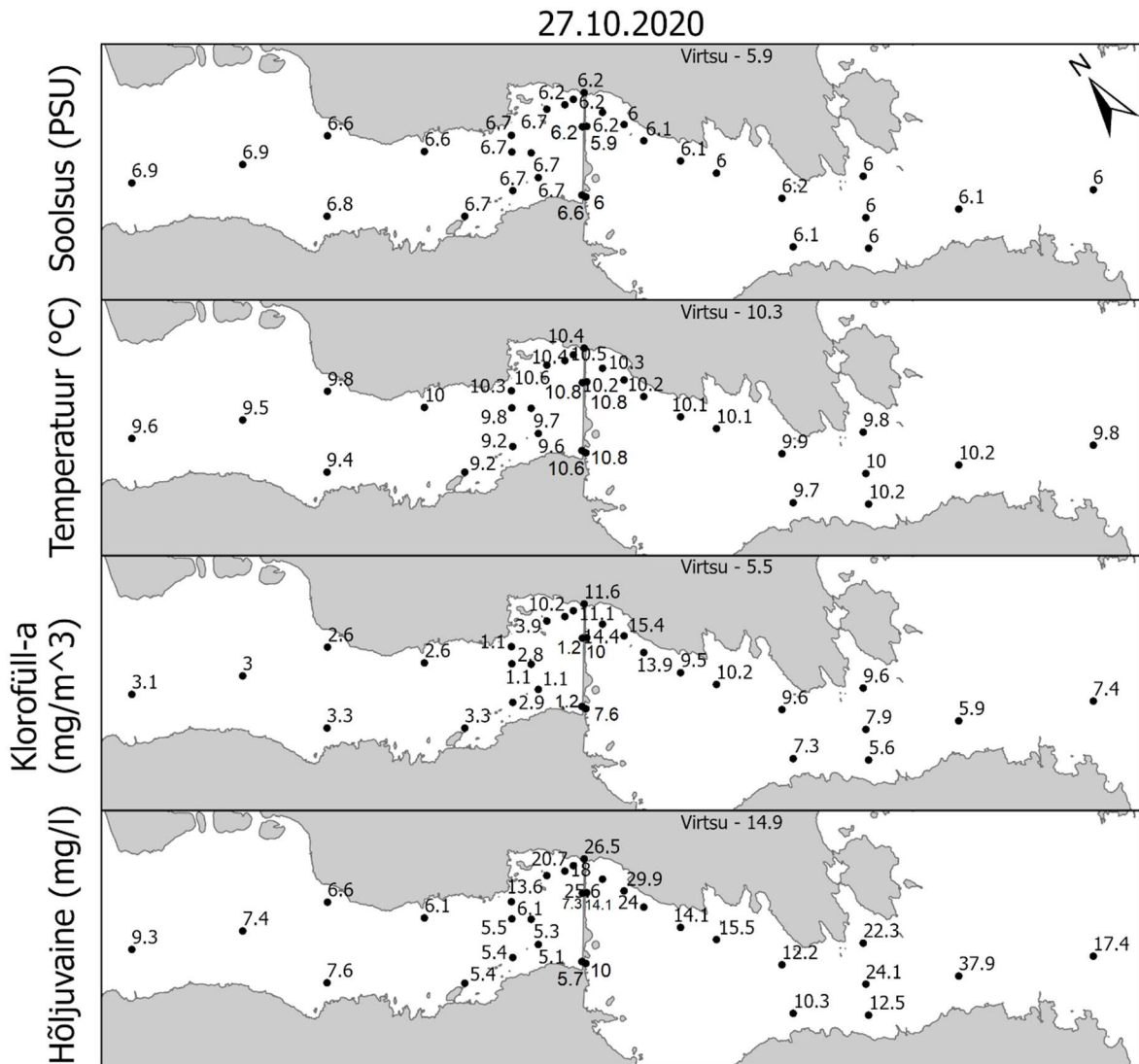
Joonis 2.2.1.3. Soolsuse, temperatuuri, klorofüll-a ja heljumi jaotused Väikese väina pinnakihis 29. septembril 2020 toimunud mõõdistuse andmetel.

Septembri lõpus oli Liivi lahe ja Väinamere veemassi soolsus sama, mis mõõdeti augusti lõpus, vastavalt 6,2 ja 7,0 PSU (joonis 2.2.1.3). Sellegipoolest ei jaota tamm kahte väinaosa soolsuse järgi kaheks selgelt üksteisest eristuvaks merealaks. Liivi lahe poolses väina osas esines ühtlane gradient: avamerepoolses otsas oli soolsus 6,2 PSU; Suurlaiu traaversil 6,3–6,5 PSU, ja tammil lähistel 6,6–6,8 PSU. Osaliselt võib kõrgema soolsuse põhjuseks tammil lähedal olla ka ajutised läbivoolud Tillunirest. Soodsaid tuuli selleks oli septembris napilt. Peamine põhjus on ilmselt seotud suvel toimunud aurumisega seotud soolsuse kasvus. Väinamere osas esines tammile lähemal veidi kõrge soolsus (7,1 PSU), Tillunire lähistel oli soolsus 6,8 PSU. Viimane on ilmselt seotud Liivi lahest pärit veega, mis oli Tillunirest läbi voolanud.

Vee temperatuur oli kogu väina ulatuses 15–16 °C vahel.

Klorofüll-a kontsentratsioonid oli valdavalt vahemikus 1–5 mg/m³. Kõrgemad väärtused olid väina Liivi lahe poolses osas (kuni 7–10 mg/m³).

Heljumi kontsentratsioon oli valdavalt 5–6 mg/l, kaguosas veidi suurem (kuni 8 mg/l). Virtsu sadamas oli taaskord heljumi kontsentratsioon (9.3 mg/l) kõrgem kui kogu Väikeses väinas.



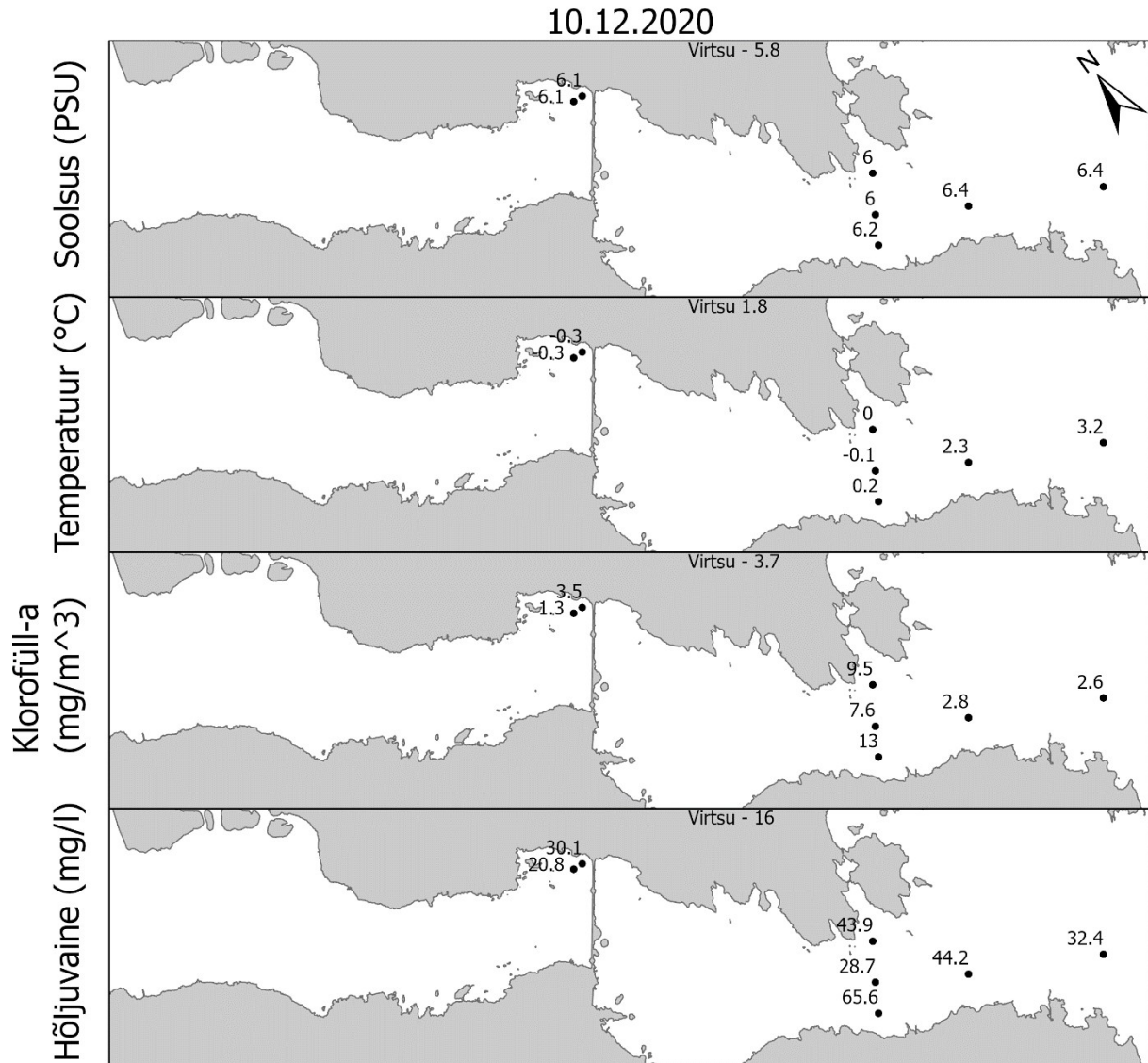
Joonis 2.2.1.4. Soolsuse, temperatuuri, klorofüll-a ja heljumi jaotused Väikese väina pinnakihis 27. oktoobril 2020 toimunud mõõdistuse andmetel.

Oktoobri lõpus (27.10.2020) toimunud mõõdistuse andmetel oli sooluse jaotus (joonis 2.2.1.4) sarnane senistes uuringutes kirjeldatud: tamm eraldab üksteisest selgelt erineva soolusega veemassid ning väina siseosa ja avamerepoolsete alade vaheline sooluse gradient on tagasihoidlik. Väinamere väinaosa soolus oli vahemikus 6,7–6,9 PSU ja kaguosas 5,9–6,2 PSU. Erandiks Väinamere osas oli taaskord Tillunire lähedal asuv piirkond, kus leidis ka magedamat (6,2 PSU) vett, mis oli pärit Liivi lahe osast. Viimast väidet toetavad nii tuuleandmed kui ka hoovusmõõtmised Tillunires.

Veetemperatuur oli kogu Väikese väina ulatuses suhteliselt ühtlane, muutudes vahemikus 9,2–10,8 °C.

Klorofüll-a kontsentratsioon oli kõrgem (8–16 mg/m³) Liivi lahe poolses osas, eriti tammi lähedal. Enamuses Väinamere poolse osa jaamades jäid klorofüll-a kontsentratsioonid alla 4 mg/m³. Kõrgemad väärtused (10–11 mg/m³) esinesid tammi lähedal, mis olid ilmselt tingitud läbi Tillunire transporditud klorofüll-i rikkast veest. Heljumi sisaldus oli Liivi lahe poolses osas kõrgem, kontsentratsioonid muutusid vahemikus 10–38 mg/l kui Väinamere poolses osas, kus kontsentratsioonid muutusid vahemikus 5–9 mg/l. Enne mõõdistust ja mõõdistuse ajal puhus tugev lõuna-kagutuul, millega kaasnev lainetus tekitas väina Liivi lahe poolses osas resuspensiooni, mis segas osa merepõhja settest veesambasse. Ka heljumi jaotuse

puhul sai selgelt eristada läbi Tillunire Väinamere poole voolanud veemassi, kus olid ümbritsevast veest tunduvalt kõrgemad heljumi kontsentratsioonid (13–21 mg/l). Virtsu sadamas oli heljumi kontsentratsioon 15 mg/l.



Joonis 2.2.1.5. Soolsuse, temperatuuri, klorofüll-a ja heljumi jaotused Väikese väina pinnakihis 10. detsembril 2020 toimunud mõõdistuse andmetel.

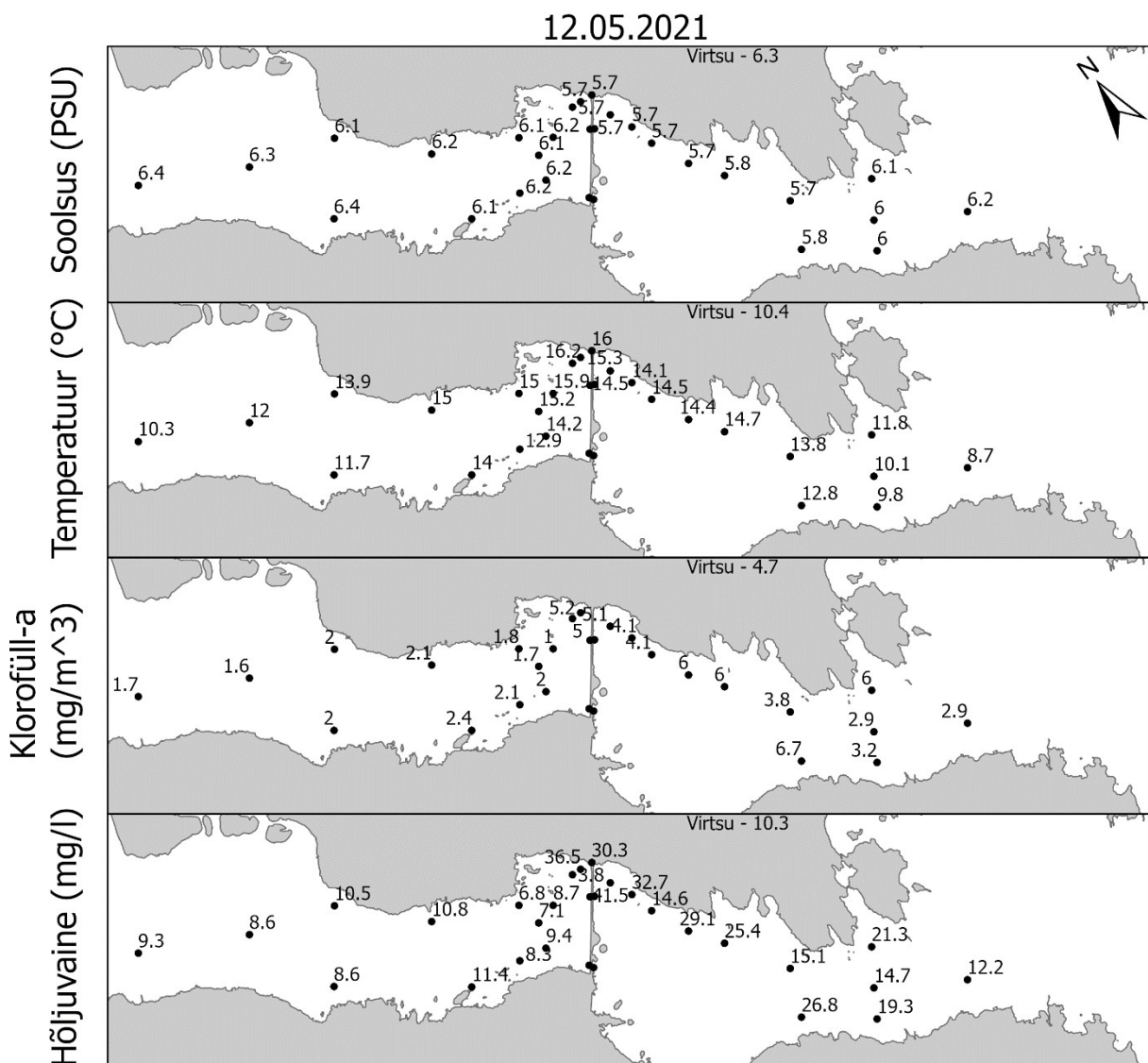
Hilissügisel (10.12.2020) toimunud mõõdistuse teostamisel kattis väina suures osas jää ja rüsi jää ning valitsesid miinuskraadid, mistõttu oli mõõdistuse teostamine paadist keeruline. Füüsikaliste parameetrite mõõtmine Väinameres ja mõnedes Liivi lahe jaamades ebaõnnestus (andurid jäätusid). Veeproovid toitaivate määramiseks koguti plaanipäraselt.

Mõõdistustulemused (joonis 2.2.1.5) viitavad, et väina Liivi lahe avamerepoolsetes jaamades oli kõrgem soolsus (6,4 PSU) võrreldes Väinamere poole osa tammilähedase piirkonnaga soolsusega (6,1 PSU) ja Virtsus mõõdetud soolsusega (5.8 PSU). See on küllaltki üllatav tulemus, sest nii kõrget soolsust Liivi lahes tavapäraselt ei esine (Liblik et al., 2017; Skudra & Lips, 2017). 11. novembri mõõtmistulemused Liivi lahest näitavad, et lahe keskosas ei esine nii kõrget soolsust, isegi mitte põhjakihis. Seega ei saa kõrget

soolsust selgitada vertikaalse segunemise või süvaveekerkega. Novembris ja detsembris olid valdavalt tugevad edela-, lõuna- ja kagutuuled. Iseäranis tugev ja püsiv oli lõunakaarte tuul detsembris. Need tuuled põhjustavad soolasema Läänemere avaosa vee transporti Liivi lahte läbi Irbe väina. Seega spekulereime, et soolasem veemass jõudis väina Liivi lahe poolsesse suudmesse piki Saaremaa rannikut toimunud transpordi abil. Avamere veemass oli tunduvalt soojem (3,2 °C) kui Virtsus (1,8 °C) ja väina siseosas (<0 °C).

Klorofüll-a kontsentratsioon oli väinas vahemikus (1-3 mg/m³) ning kõrgemad kontsentratsioonid olid Suurlaiu traaversil (7–13 mg/m³).

Heljumi sisaldus oli kõigis mõõdetud jaamades kõrge, mida saab selgitada tugevate lõunakaarte tuulte poolt tekitatud lainetuse ja resuspensiooniga. Heljumi ruumiline jaotus väinas oli sarnane klorofüll-i jaotusele. Madalamad heljumi kontsentratsiooni väärtused esinesid tammi lähedal ja Liivi lahe poolses osas (21–32 mg/l) ning kõrgemad Suurlaiu traaversis (29–66 mg/l). Madalamaid heljumi kontsentratsiooni väärtuseid Liivi lahe poolses osas saab selgitada suurema sügavusega. Sügavamas meres ei ole lainete poolt tekitatud resuspensioon nii intensiivne kui madalamas meres. Tammilähedasi madalamaid heljumi kontsentratsiooni väärtuseid saab selgitada jääkattega, mis kaitsesid väina siseosa lainetuse eest.



Joonis 2.2.1.6. Soolsuse, temperatuuri, klorofüll-a ja heljumi jaotused Väikese väina pinnakihi 12. mail 2021 toimunud mõõdistuse andmetel.

Kevadel (12.05.2021) mõõdetud soolsuse jaotuses avaldus avamere ja väina siseosa vaheline gradient mõlemas väina osas (joonis 2.2.1.6). Väinamere veemassi soolsus oli 6,4 PSU; Liivi lahe pinnakihi soolsus oli 6,2 PSU. Liivi lahe poolses väina siseosas oli soolsus 5,7 PSU ja Väinamere poolses väina siseosas 6,1 PSU. Seega oli gradient mõlemas väina osas vastupidine sellele, mida vaatlusime 2020. juunis, augustis ja septembris. Tõenäoliselt on selline soolsuse jaotus seotud kevadise suurvee mõju ja/või mai esimeses pooles toimunud vihasadudega. Piiratud veevahetus ei luba väina siseosa magedamal veemassil avamere veega piisavalt seguneda. Teostatud mõõdistuste andmete põhjal võib spekuloida, et kui veevahetus atmosfääriga on merepoolt vaadates negatiivne (domineerib aurumine), siis tekib väina siseosas kõrgema soolsusega veemass võrreldes ümbritseva merealaga. Kui veevahetus on positiivne (domineerivad sademed), siis tekib väina siseosas magedam veemass. Ilmselt on sellise lokaalse ümbritsevast soolasema/magedama veemassi teke osaliselt seotud tammi olemasoluga.

Väinamere poolses osas, Tillunire lähedal eristub selgelt madalama soolsusega Liivi lahe veemass, mis oli enne mõõdistust läbi Tillunire voolanud. Viimast kinnitavad ka mõõdetud hoovusandmed Tillunires.

Pinnakihi vee temperatuuri jaotusest on näha tugevad temperatuuri gradiendid. Avamere veemasside temperatuur oli 9–10 °C, väina siseosas mõõdetud temperatuurid olid vahemikus 13–16 °C. Veetemperatuur oli tammi vahetus läheduses kuni 16,2 °C. Virtsu sadamas oli vee temperatuur 10,4 °C.

Klorofüll-a kontsentratsioon Väinamere poolses väinaosas oli valdavalt <2,5 mg/m³. Erandiks oli läbi Tillunire voolanud veemass, kus klorofüll-a kontsentratsiooni väärtused olid 5 mg/m³ lähedal. Väina Liivi lahe poolses osas olid klorofüll-a kontsentratsioonid enamasti vahemikus 3–7 mg/m³.

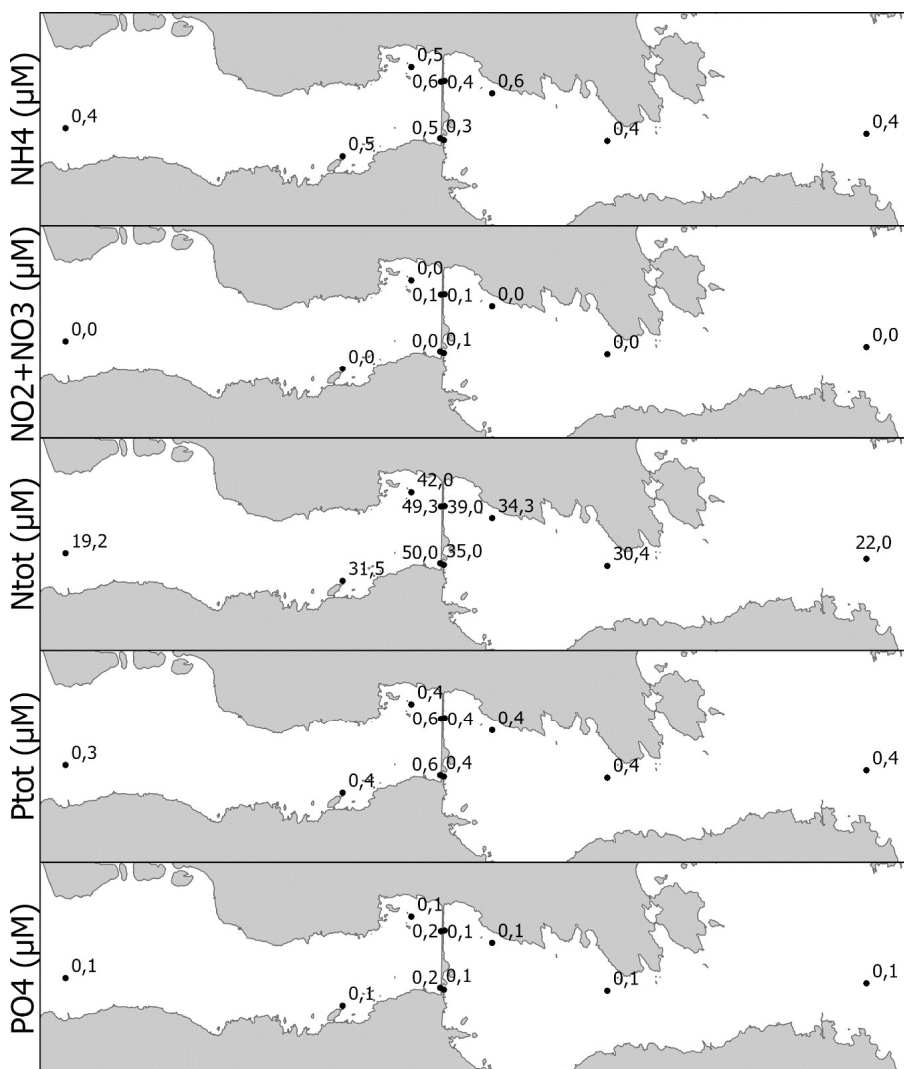
Heljumi kontsentratsioonid olid kõrgemad väina Liivi lahe poolses osas (15–42 mg/l) ja madalamad Väinamere poolses osas (7–11 mg/l). Erandiks oli Väinamere poolse osa tammilähedane piirkond kuhu voolas läbi Tillunire tulnud Liivi lahe poolse osa veemass, kus kontsentratsioonid olid vahemikus 30–37 mg/l.

Kokkuvõttes selgub meie mõõdistusest, et soolsuse jaotus väinas on keerukam, kui varem kirjeldatud. Tammi lähedal olid suvel soolsuse väärtused tunduvalt kõrgemal kui Väinamere ja Liivi lahe avaosas. Ilmselt oli see seotud aurumisega. Sellele viitavad ka tammi lähedal registreeritud kõrged vee temperatuuri väärtused. Kevadel oli olukord vastupidine, st väina siseosas oli magedam vesi ja avamerel soolasem. Võib spekuloida, et kui veevahetus atmosfääriga on merepoolt vaadates negatiivne (domineerib aurumine), siis tekib väina siseosas kõrgema soolsusega veemass võrreldes ümbritseva merealaga. Kui veevahetus on positiivne (domineerivad sademed), siis tekib väina siseosas magedam veemass. Ilmselt on sellise lokaalse ümbritsevast soolasema/magedama veemassi teke osaliselt seotud tammi olemasoluga, mis piirab lateraalset veevahetust ja segunemist.

Mõõdistused näitasid Tillunire mõju jaotustele. Mitmel kaardistusel registreeriti väina loodeosas, Tillunire lähedal Liivi lahe omadustega (soolsus, klorofüll a ja heljumi sisaldus) veemass.

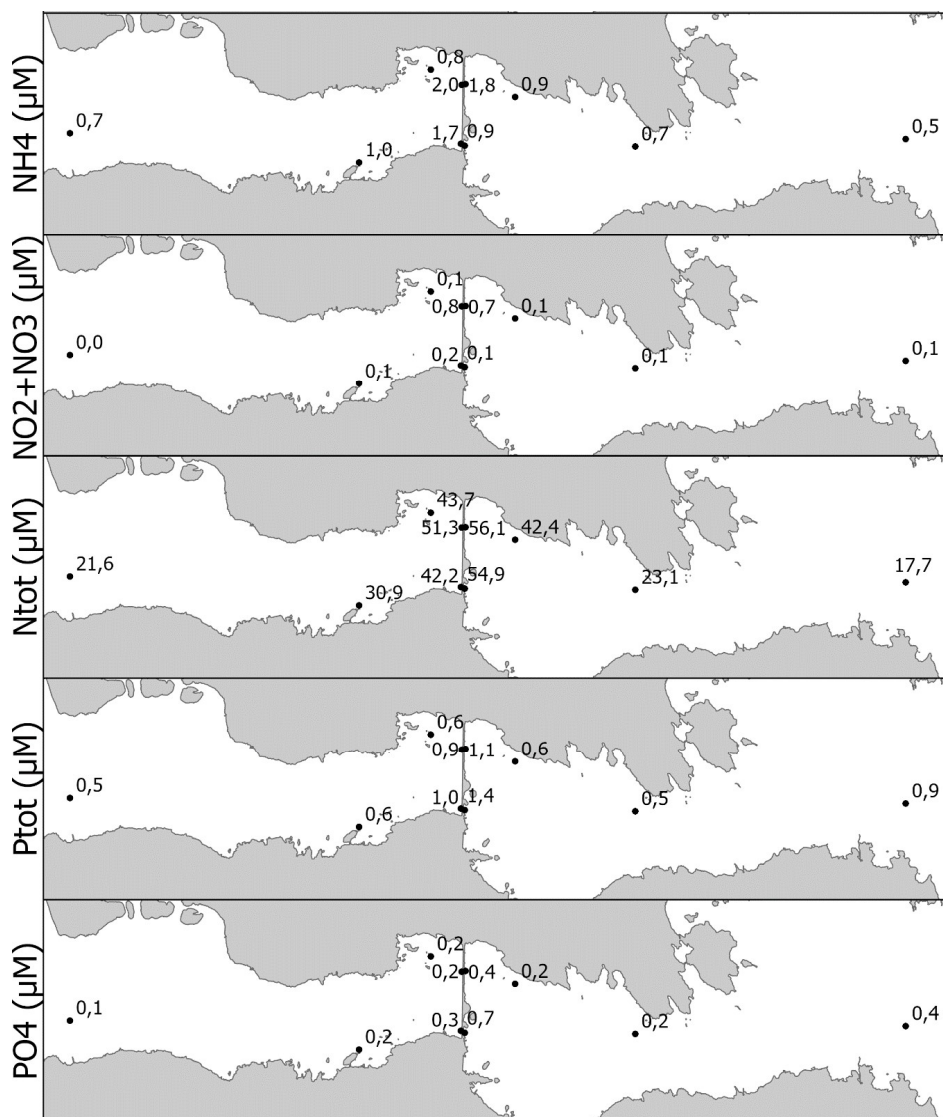
Soodsa, tugevama tuulega registreeriti kõrged heljumi sisaldused. Liivi lahe poolses osas oli heljumi sisaldus kuni 66 mg/l, mis oli põhjustatud lõuna-kagutuulega genereeritud lainetusega, mis tekitas väina Liivi lahe poolses osas resuspensiooni, mis segas osa merepõhja settest veesambasse. Vaatlused näitavad, et väin on looduslikult tugeva heljumi varieeruvusega piirkond.

Käesolevas töös määrati veeproovidest anorgaaniliste toitainete (NO_2+NO_3 , NH_4 , PO_4) ning üldlämmastiku ja üldfosfori kontsentratsioonid. Järgnevalt on esitatud anorgaaniliste toitainete ja üldainete mõõdistustulemused Väikeses väinas. Väikese väina kaguosa (Liivi laht) asub joonistel tammist paremal, loodeosa (Väinameri) vasakul. Joonisel 2.2.1.7 on toodud ammooniumi (NH_4), nitritite+nitraatide (NO_2+NO_3) fosfaatide (PO_4), üldlämmastiku ja üldfosfori jaotused Väikese väina pinnakihis 27. juunil 2020 toimunud mõõdistuse andmetel. Iseloomulikult suvele on anorgaaniliste toitainete kontsentratsioonid madalad. Üldlämmastiku kontsentratsioonid on oluliselt kõrgemad tammi lähedal, eriti Väinamere poolses osas, võrreldes Liivi lahe ja Väinamerega külgnevate piirkondadega. Maksimaalne üldlämmastiku kontsentratsioon oli $50 \mu\text{M}$ Väinamere pool tammi lähedal. Üldfosfori kontsentratsioonid on samuti tammi lähedal kõrgemad ($0,6 \mu\text{M}$) Väinamere poolses osas. Väina Liivi lahe poolses osas on jaotus ühtlane ja ei ole suurenemise tendentsi tammi lähedal.



Joonis 2.2.1.7. Ammooniumi (NH_4), nitritite+nitraatide (NO_2+NO_3), fosfaatide (PO_4), üldlämmastiku ja üldfosfori jaotused Väikese väina pinnakihis 27. juunil 2020 toimunud mõõdistuse andmetel.

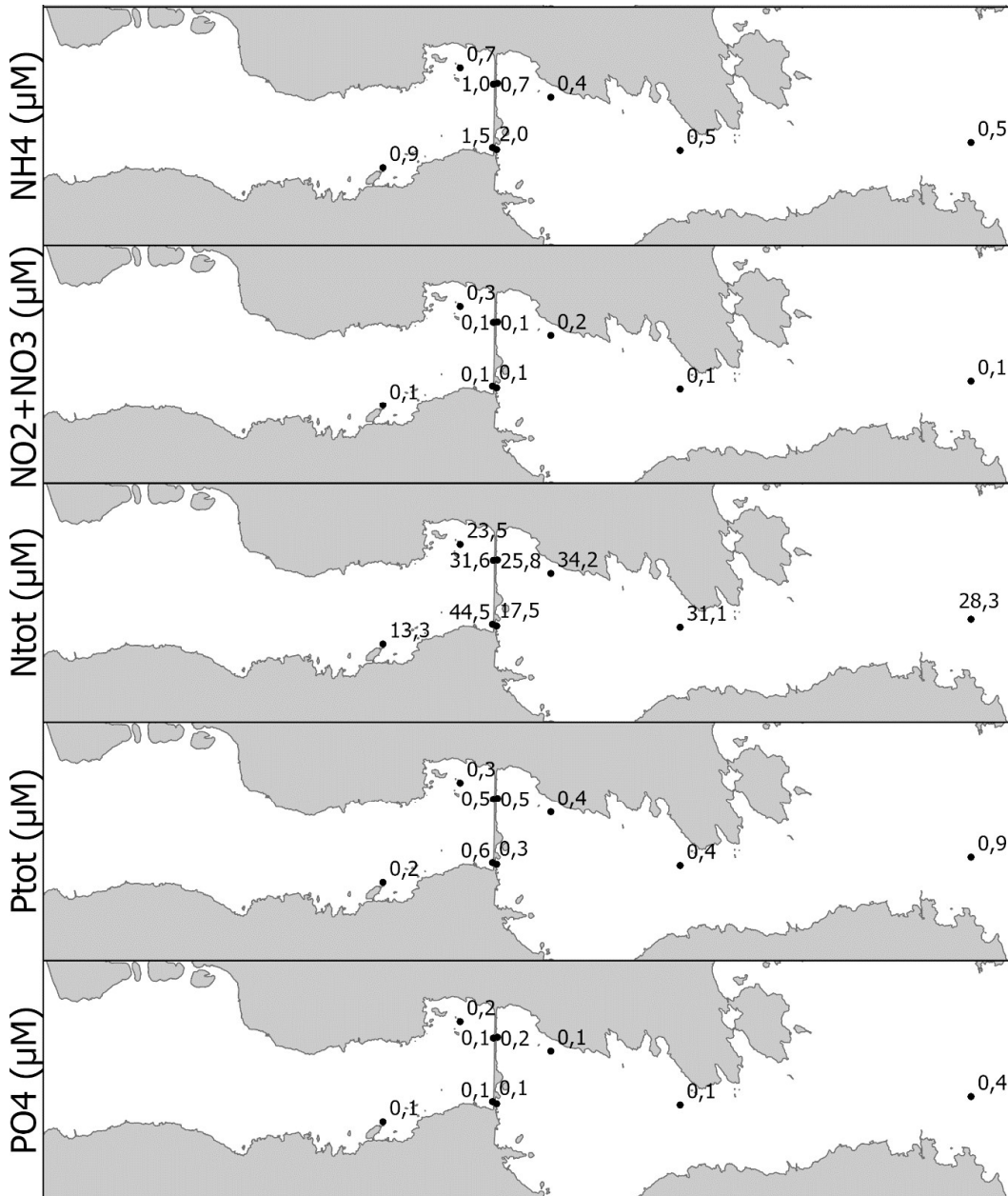
Joonisel 2.2.1.8 on toodud ammooniumi (NH₄), nitritite+nitraatide (NO₂+NO₃) fosfaatide (PO₄), üldlämmastiku ja üldfosfori jaotused Väikese väina pinnakihis 28. augustil 2020 toimunud mõõdistuse andmetel. Anorgaaniliste toitainete kontsentratsioonid on suurenenud võrreldes juuni kuu mõõtmistega. Tammi lähedases piirkonnas on suurenenud ammooniumi ja nitritite+nitraatide kontsentratsioonid mõlemal pool tammi, ulatudes vastavalt 2,0 ja 0,8 µM. Fosfaatide kontsentratsioon on suurenenud väina Liivi lahe poolses osas, tammi lähedal 0,7 µM. Üldlämmastiku kontsentratsioonid on suurenenud tammi lähedal, mõlemal pool tammi, kusjuures kõrgemad kontsentratsioonid (56,1 µM) on Väikese väina Liivi lahe poolses osas. Ka üldfosfori kontsentratsioonid on väina Liivi lahe poolses osas suurenenud, kõrgemad kontsentratsioonid (0,7 µM) on tammi lähedal.



Joonis 2.2.1.8. Ammooniumi (NH₄), nitritite+nitraatide (NO₂+NO₃) fosfaatide (PO₄), üldlämmastiku ja üldfosfori jaotused Väikese väina pinnakihis 28. augustil 2020 toimunud mõõdistuse andmetel.

Joonisel 2.2.1.9 on toodud ammooniumi (NH₄), nitritite+nitraatide (NO₂+NO₃) fosfaatide (PO₄), üldlämmastiku ja üldfosfori jaotused Väikese väina pinnakihis 29. septembril 2020 toimunud mõõdistuse andmetel. Ammooniumi kontsentratsioonide väärtused ja jaotus on sarnane augustis mõõdetud väärtustele. Tammi lähedases piirkonnas on nitritite+nitraatide kontsentratsioonid vähenenud mõlemal pool tammi ja jaotus on ühtlane. Samuti on vähenenud fosfaatide kontsentratsioonid. Üldlämmastiku

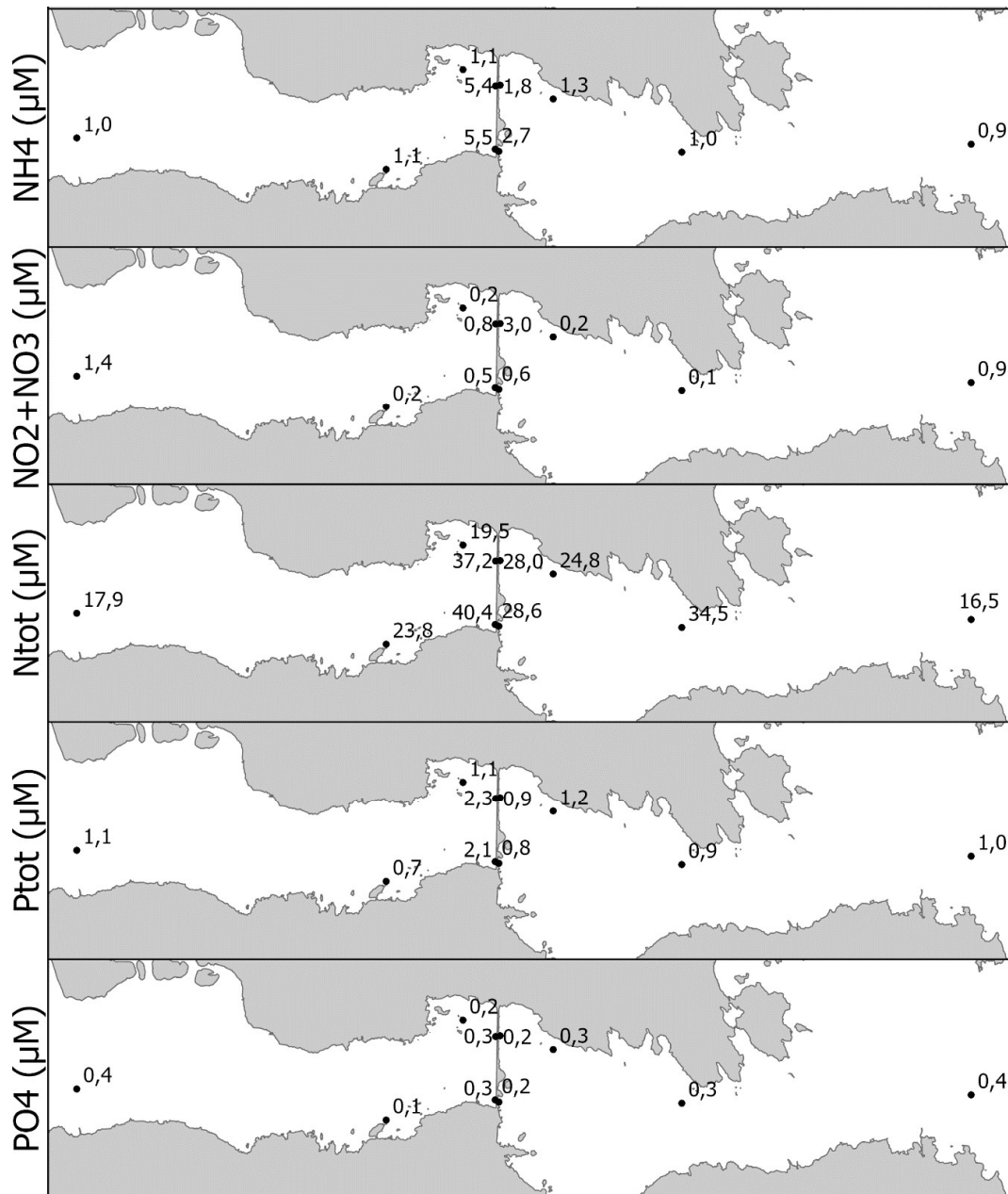
konsentratsioonid on endiselt kõrgemad tammi lähedase piirkonna Väinamere poolses osas (44,5 μM) kuid on oluliselt vähenenud Liivi lahe poolses osas, kus maksimaalne väärtus oli 34,2 μM . Liivi lahega külgnevas piirkonnas on üldlämmastiku kontsentratsioonid suurenenud. Üldfosfori kontsentratsioonid on väinas oluliselt vähenenud, võrreldes augustikuu mõõtmistega.



Joonis 2.2.1.9. Ammooniumi (NH₄), nitritite+nitraatide (NO₂+NO₃), fosfaatide (PO₄), üldlämmastiku ja üldfosfori jaotused Väikese väina pinnakihis 29. septembril 2020 toimunud mõõdistuse andmetel.

Joonisel 2.2.1.10 on toodud ammooniumi (NH₄), nitritite+nitraatide (NO₂+NO₃) fosfaatide (PO₄), üldlämmastiku ja üldfosfori jaotused Väikese väina pinnakihis 27. oktoobril 2020 toimunud mõõdistuse andmetel. Ammooniumi kontsentratsioonid on oluliselt suurenenud, eriti tammi lähedal Väinamere poolses osas võrreldes septembri kuu mõõtmistega. Maksimaalne ammooniumi kontsentratsioon oli 5,5 μM . Nitritite+nitraatide kontsentratsioonid on väinas oluliselt suurenenud. Tammi lähedal Väinamere poolses osas oli maksimaalne kontsentratsioon 3 μM . Ka fosfaatide kontsentratsioonid on väinas suurenenud

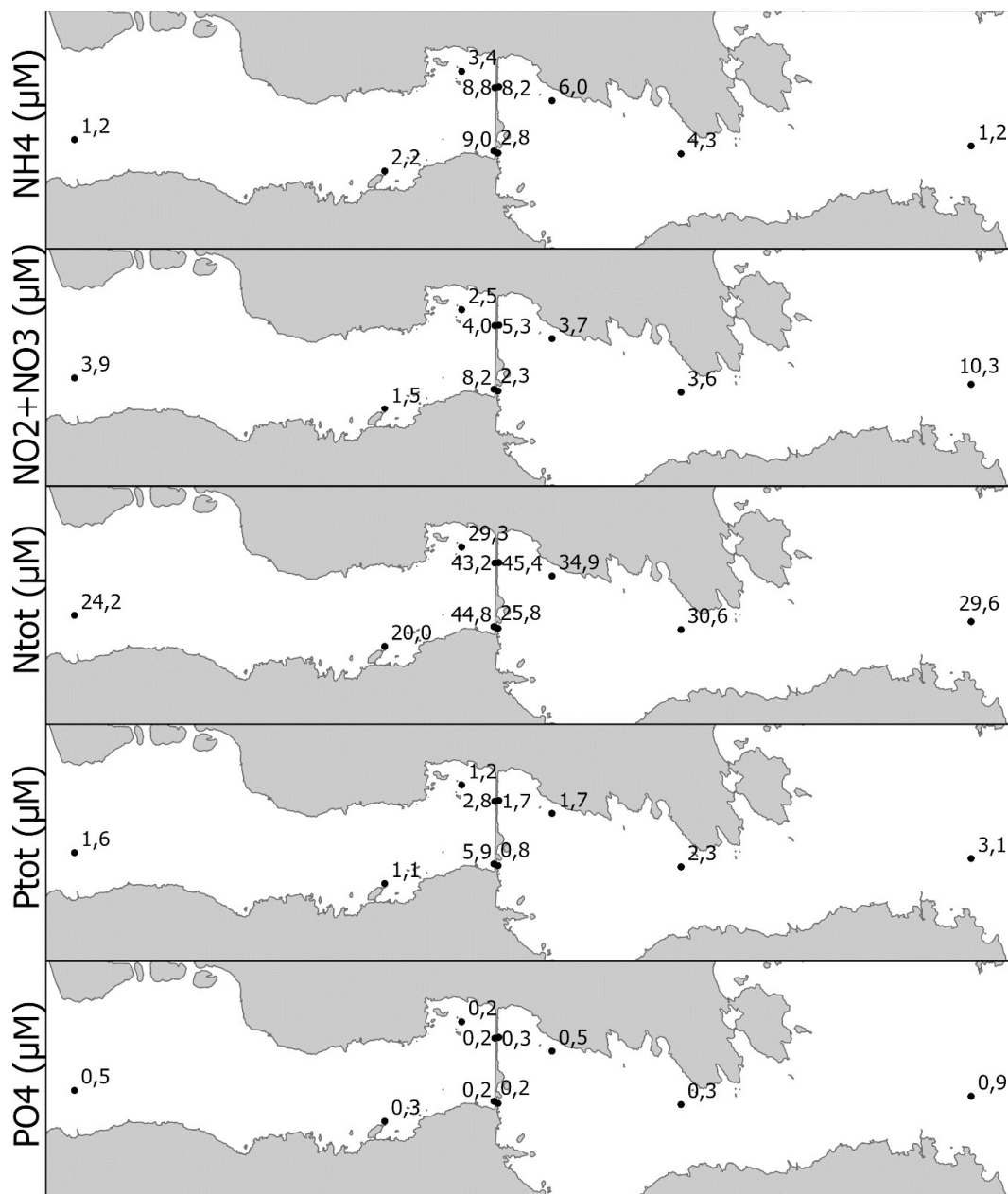
võrreldes septembrikuu mõõtmistega. Üldlämmastiku kontsentratsioonide jaotus on sarnane septembrikuu jaotusele, kuid kontsentratsioonid on veidi vähenenud. Üldfosfori kontsentratsioonid on väinas suurenenud, eriti Väinamere poolses osas tammi lähedal (2,3 μM) võrreldes septembri kuu mõõtmistega.



Joonis 2.2.1.10. Ammooniumi (NH₄), nitritite+nitratide (NO₂+NO₃), fosfaatide (PO₄), üldlämmastiku ja üldfosfori jaotused Väikese väina pinnakihis 27. oktoobril 2020 toimunud mõõdistuse andmetel.

Joonisel 2.2.1.11 on toodud ammooniumi (NH₄), nitritite+nitratide (NO₂+NO₃) fosfaatide (PO₄), üldlämmastiku ja üldfosfori jaotused Väikese väina pinnakihis 10. detsembril 2020 toimunud mõõdistuse andmetel. Ammooniumi kontsentratsioonid on oluliselt suurenenud, eriti tammi lähedal Väinamere poolses osas võrreldes oktoobrikuu mõõtmistega. Maksimaalne ammooniumi kontsentratsioon oli 9 μM . Nitritite+nitratide kontsentratsioonid on väinas samuti oluliselt suurenenud. Tammi lähedal Väinamere poolses osas oli maksimaalne kontsentratsioon 8,2 μM . Liivi lahe poolses osas olid kontsentratsioonid väiksemad, maksimaalselt 5,3 μM . Fosfaatide kontsentratsioonides olulist muutust väinas tammi lähedases

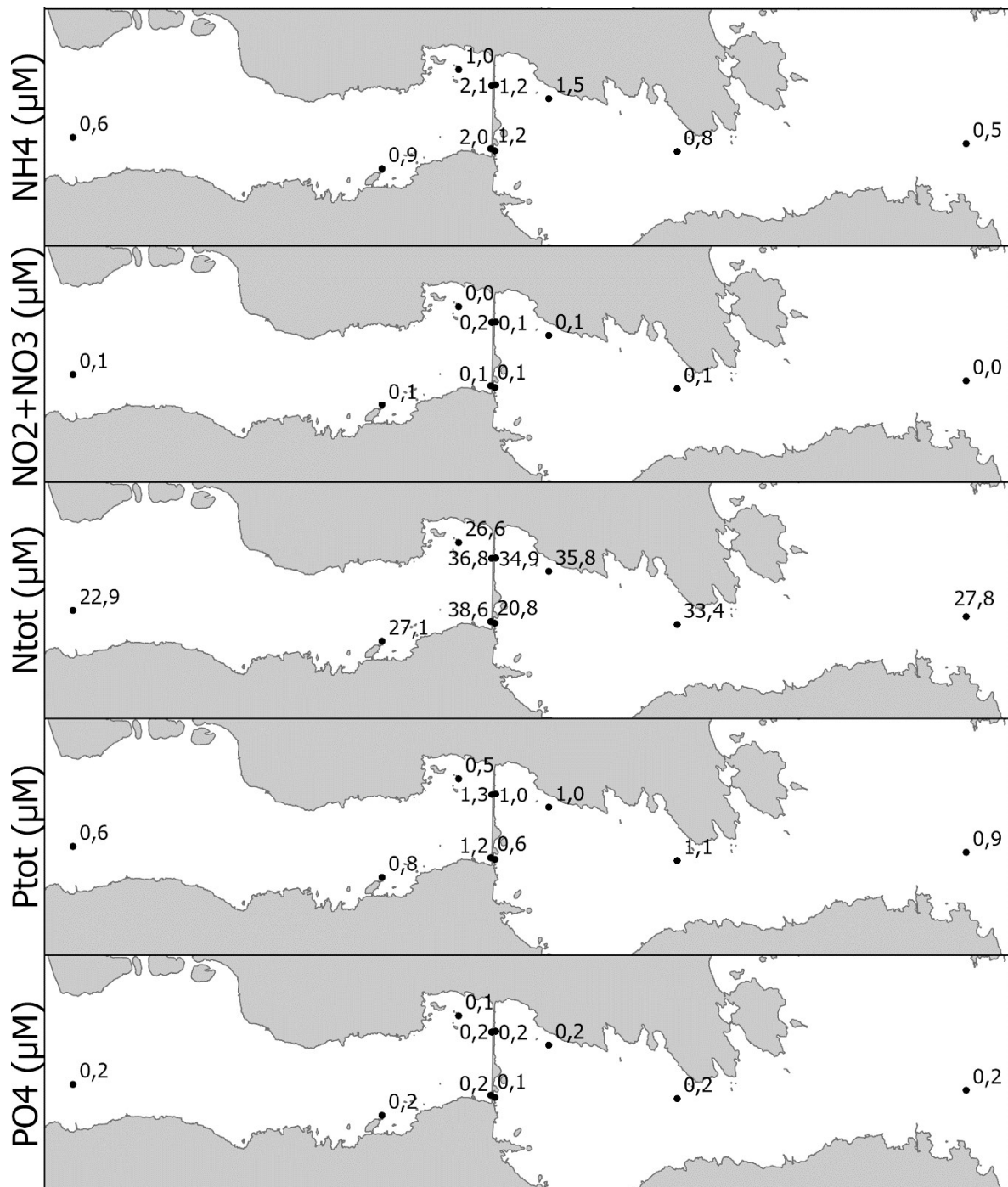
piirkonnas ei olnud võrreldes oktoobri kuu mõõtmistega. Üldlämmastiku kontsentratsioonide jaotus on sarnane oktoobri kuu jaotusele, suuremad kontsentratsioonid (44,8 μM) on tammi lähedal Väinamere poolses osas. Üldlämmastiku kontsentratsioonid väinas on suurenenud võrreldes oktoobri kuu mõõtmistega. Üldfosfori kontsentratsioonid on väinas suurenenud, eriti Väinamere poolses osas tammi lähedal (2,3 μM) võrreldes septembri kuu mõõtmistega.



Joonis 2.2.1.11. Ammooniumi (NH₄), nitritite+nitratide (NO₂+NO₃), fosfaatide (PO₄), üldlämmastiku ja üldfosfori jaotused Väikese väina pinnakihis 10. detsembril 2020 toimunud mõõdistuse andmetel.

Joonisel 2.2.1.12 on toodud ammooniumi (NH₄), nitritite+nitratide (NO₂+NO₃) fosfaatide (PO₄), üldlämmastiku ja üldfosfori jaotused Väikese väina pinnakihis 12. mail 2021 toimunud mõõdistuse andmetel. Mõõdistuse andmed peegeldavad anorgaaniliste toitainete ja üldainete kontsentratsioone peale kevadist õitsengut. Ammooniumi kontsentratsioonid on suhteliselt suured, eriti tammi lähedal (2,1 μM) Väinamere poolses osas. Nitritite+nitratide ja fosfaatide kontsentratsioonid on kogu väinas

madalad. Üldlämmastiku kontsentratsioonide jaotus väinas on suhteliselt ühtlane, kõrgemad kontsentratsioonid on tammi lähedases piirkonnas. Üldfosfori kontsentratsioonide jaotus väinas on samuti suhteliselt ühtlane.



Joonis 2.2.1.12. Ammooniumi (NH₄), nitritite+nitraatide (NO₂+NO₃), fosfaatide (PO₄), üldlämmastiku ja üldfosfori jaotused Väikese väina pinnakihis 12. mail 2021 toimunud mõõdistuse andmetel.

Kokkuvõtteks võib öelda, et nii anorgaaniliste toitainete kui ka üldainete kontsentratsioonid muutusid sesoonselt suurtes piirides (Tabel 2.2.1.1). Ruumilises jaotuses oli selge tendents, kontsentratsioonid olid suuremad tammi lähedases piirkonnas. Samuti tuleb märkida ammooniumi kõrgeid kontsentratsioone

oktoobri ja detsembri kuu möödumise ajal. Nitritite+nitraatide (NO₂+NO₃) ja fosfaatide (PO₄) osas olid suurimad väärtused Liivi lahes, väiksemad Väinameres.

Tabel 2.2.1.1. Toitainete keskmised (juuni-september) ja detsembrikused väärtused neljas tammiäärses jaamas (v28 - v31) ning kaugeimates punktides (v02 ja v16) mõlemal pool tammi.

Toitained	Keskmitatud jaamad	Juuni-september	Detsember
N _{tot} (µmol/l)	Tammi ääres (v28-v31)	41.44	39.80
	Liivi laht (v02)	22.69	29.57
	Väinameri (v16)	20.44	24.19
P _{tot} (µmol/l)	Tammi ääres (v28-v31)	0.69	2.80
	Liivi laht (v02)	0.72	3.09
	Väinameri (v16)	0.43	1.59
NO ₂ +NO ₃ (µmol/l)	Tammi ääres (v28-v31)	0.20	4.96
	Liivi laht (v02)	0.07	10.29
	Väinameri (v16)	0.03	3.91
PO ₄ (µmol/l)	Tammi ääres (v28-v31)	0.23	0.22
	Liivi laht (v02)	0.28	0.86
	Väinameri (v16)	0.11	0.48
NH ₄ (µmol/l)	Tammi ääres (v28-v31)	1.11	7.21
	Liivi laht (v02)	0.47	1.15
	Väinameri (v16)	0.55	1.15

Väikese väina rannikeveekogum on keskkonnaministri 16.04.2020. a määrusega nr 19 (RT I, 21.04.2020, 61) jaotatud kaheks – väinatammist loodepoolne osa kuulub Kassari–Õunaku lahe rannikevee alla (veekogu kood: EE_14, veekogutüüp: R5 – Väinameri) ja väinatammist kagupoolne osa kuulub Liivi lahe kirdeosa rannikevee alla (veekogu kood: EE_18, veekogutüüp: R6 – Liivi laht).

Sellest tulenevalt võrreldakse mõõdetud üldainete kontsentratsioone kahele erinevale veekogutübile kehtestatud seisundiklasside piiridega, mis on toodud keskkonnaministri 16.04.2020. a määruses nr 19 esitatud lisas nr 6. Tabelis 2.2.1.2 on toodud rannikevee pinnaveekogumite ökoloogilise seisundiklasside piirid üldlämmastiku ja üldfosfori keskmistele kontsentratsioonidele. Keskmised kontsentratsioonid leitakse perioodi juuni– september jaoks.

Tabel 2.2.1.2. Rannikevee pinnaveekogumite ökoloogiliste seisundiklasside piirid keemiliste kvaliteedinäitajate väärtuste järgi.

Veekogutüüp R5: Väinameri	Ühik	Väga hea klass	Hea klass	Kesine klass	Halb klass	Väga halb klass
Üldlämmastik (Nüld)	mg/l	≤ 0.24	0.25-0.29	0.30-0.60	0.61-0.90	> 0.90
Üldfosfor (Püld)	mg/l	≤ 0.007	0.008-0.009	0.010-0.019	0.020-0.028	> 0.028

Veekogutüüp R6: Liivi laht	Ühik	Väga hea klass	Hea klass	Kesine klass	Halb klass	Väga halb klass
Üldlämmastik (Nüld)	mg/l	≤ 0.27	0.26–0.33	0.34–0.67	0.68–1.01	> 1.01
Üldfosfor (Püld)	mg/l	≤ 0.012	0.013–0.016	0.017–0.031	0.032–0.047	> 0.047

Tabelis 2.2.1.3-4 on toodud üldlämmastiku ja üldfosfori kontsentratsioonid Väikese väina seirejaamades, kus koguti veeproove (vt Joonis 2.1.1.2). Tabelitest on näha, et kontsentratsioonid muutuvad suurtes piirides nii ruumis kui ka ajas.

Juuni, augusti ja septembri keskmine üldlämmastiku kontsentratsioon väina Liivi lahe jaamades oli 0,50 mg/l, mis vastab klassile 'kesine'. Väinamere poolses osas oli samade kuude keskmine 0,45 mg/l, mis samuti vastab klassile 'kesine'.

Juuni, augusti ja septembri keskmine üldfosfori kontsentratsioon väina Liivi lahe jaamades oli 0,018 mg/l, mis vastab klassile 'kesine'. Väinamere poolses osas oli 0,017 mg/l, mis vastab samuti klassile 'kesine'.

Seega on väina mõlemas osas jaamade keskmiste põhjal vee kvaliteet 'kesine'. Tammist kaugeimates jaamades mõlemas väinaosas olid lämmastiku kontsentratsioonid samas suurusjärgus ning tunduvalt madalamad kui tammi lähedal. Seisund nendes jaamades oli valdavalt 'kesine' või 'hea', aga mitte ühelgi juhul 'halb'. Tammi lähedal olid juunis ja augustis üldlämmastiku sisaldused ca kaks korda kõrgemad kui tammist eemal. Septembris oli vahe väiksem, kuid ikkagi tuvastatav. Väina loodeosas olid tammi lähedal kõrgemad väärtused tuvastatavad ka üldfosfori jaotustes. Gradient Väinamere avaosas ja tammi vahel oli eriti tugev augustis. Liivi lahe osas oli gradient näha juunis. Augustis ja septembris oli väina Liivi lahe osas kaks lateraalset maksimumi: tammi ääres ja Liivi lahe avamerepoolseimas osas (jaam vaike02). Madalamad väärtused esinesid tammi ja väina suudme vahel.

Kokkuvõttes võib öelda, et varasemalt kirjeldatud kahte erineva toitainet sisaldusega üksteisest selgelt eristuvat veemassi (kõrgemad sisaldused Liivi lahe, madalamad Väinameres) väinas ei esinenud. Mõlema väinaosa suve keskmine seisundiklass nii üldlämmastiku kui üldfosfori järgi oli 'kesine'. Väina jaotustes on selge tendents, et tammi lähedal on üldainete väärtused kõrgemad. Seisundiklass oli seal valdavalt kesine või halb. Võib arvata, et kõrged kontsentratsioonid on tugeva produktsiooni ja vähese veevahetuse tulemus, mis omakorda on tingitud tammi olemasolust. Nitritite+nitraatide (NO₂+NO₃), fosfaatide (PO₄) osas eristub talvel kõrgemate väärtustega Liivi lahe veemass.

Tabel 2.2.1.3. Üldlämmastiku (N_{tot}, mg/l) kontsentratsioonid seirejaamades, kus koguti veeproove. Värvid tähistavad ökoloogilise seisundiklasse vastavalt Tabelile 2.2.1.2.

N _{tot} (mg/l)	Väinamere poolsed jaamad					Liivi lahe poolsed jaamad				
	vaike16	vaike21	vaike26	vaike28	vaike30	vaike29	vaike31	vaike11	vaike08	vaike02
27.06.20	0.27	0.44	0.59	0.49	0.55	0.70	0.69	0.48	0.43	0.31
28.08.20	0.30	0.43	0.61	0.77	0.79	0.59	0.72	0.59	0.32	0.25
29.09.20	x	0.19	0.33	0.25	0.36	0.62	0.44	0.48	0.44	0.40

Tabel 2.2.1.4. Üldfosfori (P_{tot}, mg/l) kontsentratsioonid seirejaamades, kus koguti veeproove. Värvid tähistavad ökoloogilise seisundiklasse vastavalt Tabelile 2.2.1.1.

	Väinamere poolsed jaamad					Liivi lahe poolsed jaamad				
Ptot (mg/l)	vaike16	vaike21	vaike26	vaike28	vaike30	vaike29	vaike31	vaike11	vaike08	vaike02
27.06.20	0.010	0.014	0.012	0.013	0.014	0.018	0.018	0.011	0.011	0.012
28.08.20	0.016	0.020	0.018	0.043	0.035	0.032	0.028	0.019	0.016	0.028
29.09.20	x	0.007	0.009	0.010	0.015	0.018	0.015	0.011	0.012	0.028

2.2.2. Aegread meteo- ja poijaamadest

Varasemad uuringud on näidanud, et Väike väin ja ka Väinamere väinade süsteem üldiselt on väga tundlik tuulele. Tuul põhjustab hoovuseid läbi otsese pinge merepinnal ja läbi basseinide vahelise veetaseme erinevuste tekke. Lisaks kaasneb tuule poolt tekitatud lainetusega Stokesi triiv, veesamba pindmise kihi liikumine. Tuul tekitab basseinides pikki laineid, mis on veetaseme ja hoovusandmetes näha võnkumistena. Põhjalikud mõõtmised Suures väinas on näidanud võnkumisi perioodiga 13 h ja 24 h domineerimist hoovusandmetes (Otsmann et al., 2001). Hoovused omakorda põhjustavad ulatuslikke gradientide liikumisi väinades. Nii võib soodsate tuultega Liivi lahe toitainete rikkam vesi tungida Väinamerre (Astok et al., 1999). Võimalike avade kontekstis on peale basseinide vaheliste veetaseme erinevuste oluline ka lokaalne veetaseme gradient kahes väina osas. Loodetuuled tekitavad kõrgemat veetaset väina Väinamere osas ja kagutuuled Liivi lahe osas (MTÜ Eurohouse, 1999 ja TÜ Eesti Mereinstituut, 2009). Veetaseme erinevused tammi juures võivad ekstreemsetel juhtudel ulatuda ligi kahe meetrini. Lisaks tekitab tuul lainetust, mis põhjustab setete resuspensiooni. Kuna Väike väin on väga madal, siis piisab juba väikesest lainetusest, et setted veesambasse tõuseks. TÜ Mereinstituut (2009) on hinnanud, et olenemata tuule suunast toimub väinas 10 m/s tuule kiiruse juures resuspensioon. Resuspensioon kaasneb ka tugevamate hoovustega. Lisaks tuleb meres, eriti madalmeres silmas pidada mere-atmosfääri vahelisi protsesse (nt. soojusvahetus). Kokkuvõttes, varieeruvad meteoroloogilised tingimused on piirkonna dünaamika seisukohast äärmiselt olulised. Need põhjustavad nii veemasseide lateraalseid liikumisi, kui vertikaalseid protsesse, sh. interaktsioon atmosfääri ja litosfääriga.

Joonisel 2.2.2.1-3. on toodud meteoroloogiliste karakteristikute ja vee temperatuuri aegread Ruhnus ja Virtsus 2020. juunist 2021. juunini. Tugevamad tuuled olid sagedasemad talvekuudel, mistõttu võib eeldada, et jäävabades merepiirkondades oli just see periood dünaamilisim. Jääkate hakkas väinale tekkima 9. detsembri 2021 öösel. 10. detsembri kaardistuse ajal oli väin osaliselt õhukese jääga kaetud. Jääst vabanemine toimus märtsi lõpus. Sademeid tuli perioodil enamasti vähem kui 1991-2020 klimatoloogilise keskmise põhjal. Iseäranis kuivad olid 2020. august, 2020. detsember, 2020. veebruar ja 2020. juuni. Vaid jaanuaris ja mais 2021 ületas sademete kuusumma pikaajalise keskmise.

Varasemad uuringud (Tartu Ülikool, 1999, 2009) on modelleerimise abil hinnanud, et kui väinas oleksid avad, siis vesi seal paigal ei püsiks. Seda näitavad ka meie hoovusmõõtmised tammi ainsas läbivoolus, Tillunires. Hoovusandmetes on näha tugevad edasi-tagasi võnkumised (joonised 2.2.2.4-5), nagu on varem kirjeldatud ka teistes Väinamere väinades (Otsmann et al., 2001). Suurimad registreeritud hoovuskiiruse väärtused ulatusid 90 cm/s, kuid tegelikult ületas hoovuskiirus mõõtmisperioodil üle 1 m/s. Näiteks 17. septembri 2020 loode- ja põhjatuuleimpulss tekitas tugeva voolamise Liivi lahe suunas. Paraku esines hoovusmõõtjal just sel ajal tehniline probleem, mistõttu andmeid ei salvestatud.

Võnkumiste taustal on võimalik eristada madalsageduslikku voolamise dünaamikat. See on tingitud prevaleerivate meteoroloogiliste tingimuste muutusest. Et viimast näidata, oleme kõrgsagedusliku signaali maha summutanud 36 h filtriga (joonised 2.2.2.4-5). 36-h filtreeritud hoovuse kiirus ulatub kohati kuni 40 cm/s ja ühte suunda voolamise kestus ulatus kuni 10 päevani. Kuigi tuule poolt tekitatud efekt on voolamisele mitmesugune (vt. üleval), on korrelatsioon madalsageduslike NNW-SSE tuule komponendi ja hoovuse vahel Tillunires küllalt kõrge: $r_2 = 0.72$. Keskmise hoovuse kiirus esimesel perioodil (augustist

kuni oktoobrini 2020) oli 18 cm/s ja teisel perioodil (mais ja juunis 2021) 29 cm/s. Keskmine piki-kanalit hoovuskomponent oli mõlemal perioodil 8 cm/s Väinamere suunas. Esimese perioodi tuulte roos (tuulte jaotumine erisuundadesse) oli sarnane pikaajalise (2003-2020) tuulteroosiga, kuid tugevaid tuuli (> 10 m/s) esines esimesel perioodil vähem võrreldes 2003-2020 statistikaga. Teise perioodi tuule jaotustes domineerisid võrreldes pikaajalise keskmisega enam lõuna-kagu ja loodetuuled, st. soodsad tuulesuunad lokaalse veetaseme gradiendi ja hoovuste tekkeks avades. Tugevaid tuuli (> 10 m/s) praktiliselt ei esinenud. Arvestades NNW-SSE tuule komponendi ja mõõdetud hoovuse vahelist seost Tillunires saab tuule pikaajalisest aegreast (1979-2020) robustselt hinnata, et keskmine hoovuse komponent on Väinamere suunas 4 cm/s. See on väga sarnane TÕ Mereinstituudi (1999) töös saadud modelleerimise tulemusel: 5 cm/s. Kevadel on Väinamerre ja Liivi lahte voolamine ligikaudu tasakaalus, tugevam on voolamine Väinamere suunas sügisel ja jäävabal perioodil talvel.

Võttes arvesse Tillunire läbivoolu ristlõike pindala 4 m² (ava laius on 4 m ja sügavus keskmise veetasemega ca 1 m) saame ligikaudselt hinnata mõõtmisperioodil läbi ava voolanud vee mahtu. Esimesel perioodil oli keskmine vooluhulk avas 0,7 m³/s (august kuni oktoober 2020), teisel perioodil (mais ja juunis 2021) 1,1 m³/s. Seega päevaga voolas Tillunirest läbi vastavalt ligikaudu 6,2 104 m³ ja 9,6 104 m³, ja ühe kuuga 1,9 106 m³ ja 2,9 106 m³. Isegi kui eeldada, et voolamine on ühes suunas, on ava läbiv maht võrreldes ümbritseva mereala ruumalaga väga tagasihoidlik. Joonisel 2.2.2.6 toodud punased sõõrid näitavad mõlemal pool tammi Tillunire lähistel oleva mereala mahtu, mis on võrdeline avast läbi jooksva 1.1 m³/s kumulatiivse mahuga vastavalt ühe päeva ja ühe kuu jooksul. Kuna sisuliselt on kaks väinaosa eraldiseisvad lahed, siis toimub siin ilmselt ka lahesisene tsirkulatsioon. Kui avas toimub hoovuste edasi-tagasi võnkumine, siis veemassi omadused muutuvad, sest avast läbi voolanud vesi transporditakse avast eemale ja see seguneb. Kui eeldada avast läbi voolava vee segunemist suhtega 1:10, siis on mõjutatava ala oluliselt suurem (mustad sõõrid joonisel 2.2.2.6 näitavad avast läbi voolanud mahtu merealadel ühe päeva ja ühe kuu jooksul). Joonisel toodud sõõrid näitavad vastavaid mahte Tillunirele lähimal alal, et näitlikustada avast voolavat mahtu ümbritseva mere kontekstis. Tegelikult sellist ühtlast jaotumist looduses aset ei leia. Pigem moodustub avast läbi voolanud vesi keele (nagu jõgede suudmetes), sest on ümbritsevast veest erineva tihedusega. Kui rajada olemasolevast Tillunirest suuremad avad, 28 m või kaks 28 m ava, oleks avadest läbivoolava vee mahud juba arvestatavad. Viimasel juhul oleks avade kogulaius 60 m. Ilmselt ei ole avade mõju veetasemete gradiendile väga suur, nii et võime eeldada, et hoovuskiirused avades oleksid samas suurusjärgus nagu on täna Tillunires. Võttes arvesse avade kogumõõtmed, voolanuks avadest augustist kuni oktoobrini 2020 läbi 10,5 m³/s ja maist juunini 2021 16,5 m³/s. Võrdluseks, Väinamerre voolava suurima jõe Kasari keskmine vooluhulk on 25 m³/s. Kasari jõel on madalale Matsalu lahele, eriti selle siseosale, oluline mõju (Vetemaa et al., 2006). Matsalu lahe konfiguratsioon on suhteliselt sarnane Väikese väina lahtedele. Võib eeldada, et tammiäärsetele, madalatele ja praegu suletud alade veevahetusele oleks avadel arvestatav mõju. Täpsemalt käsitleme küsimust allpool, kui interpreteerime modelleerimise tulemusi.

Järgnevalt vaatame vee omaduste aegridu. Juuni lõpust juuli teise pooleni 2020. mõõtsime Tillunires temperatuuri, lahustunud hapniku kontsentratsiooni (joonis 2.2.2.7). Mõõteseade paigaldati merre kuumalaine ajal. Veetemperatuur ületas esimesel kahel päeval 28 °C, kuid langes järgnevatel päevadel alla 20°C. Jahtumine oli tõenäoliselt peamiselt seotud soojusvahetusega atmosfääri ja mere vahel, õhutemperatuur ei ületanud sel perioodil 20°C. Oma roll oli ilmselt ka veevahetusel avamerega.

Võrdluses vee temperatuuriga Virtsus on Väikese väina temperatuuri reas hästi näha viimase tundlikkus soojusvahetusele atmosfääriga. Kui väinas oli vee temperatuur kuumalaine ajal tõusnud üle 28 °C, siis Virtsus oli temperatuur 5 °C madalam. Jahtumine väinas oli tunduvalt kiirem, nagu ka hilisem taassoijenemine alates 12. juulist. Väina vee tundlikkus mere-atmosfääri vahetusele on suur tänu selle madalusele, aga ka seoses piiratud, aeglasele veevahetusega. Kui lateraalne veevahetus on piiratud, on vertikaalse vahetuse suhteline osakaal atmosfääriga (aga ka litosfääriga) veesamba omadustele olulisem. Viimane avaldub ka tugevas temperatuuri ööpäevases käigus, mille amplituud Väikese väinas ulatub kohati 4 °C. Tugev ööpäevane käik esineb ka lahustunud hapniku aegridades. Päeval kui meres toimub produktioon, ulatub hapnik küllastustasemest tunduvalt ülespoole. Öösel kui fotosünteesi ei toimu, aga hingamiseks kasutatakse endiselt hapnikku, langeb hapnikutase alla küllastustaseme. Hapniku päevased maksimumid olid madalamad külmemal ja pilvisemal perioodil. Ilmselt see seotud

päikesepaiste ja produktsiooni tugeva korrelatsiooniga, nagu on näidatud näiteks madalates estuaarides Waquoit lahes (D'Avanzo et al., 1996).

Järgmise aegrea mõõtsime jaamas SBE16, väinatammist loodes, Tillunirest 2,3 km kaugusel. Lisaks temperatuurile ja hapnikule mõõtsime ka soolsuse ja hõgususe aegread (joonis 2.2.2.8). Sarnased ööpäevased käigid temperatuuris ja hapnikus, kuid väiksema amplituudiga, leidsid aset ka oktoobris. Vee temperatuur langes 15 °C septembri lõpust 20. oktoobriks alla 6 °C. Hapnikutase oli valdavalt alla 100% küllastuse. See näitab, et mere sisemiste protsesside (fotosüntees, hingamine, orgaanilise materjali lagunemine) käigus tekkinud hapniku bilanss on negatiivne ning hapnikuvahetus atmosfääriga ei kompenseeri viimast piisavalt, st. hapnikutase meres jääb alla küllastustaseme.

Registreeriti mitu arvestatavat hõgususe tõusu. Oktoobri esimeses pooles kuni 10 NTU ja teises pooles korra ka üle 30 NTU.

Soolsus kahanes septembri lõpust kuni 19. oktoobrini, kuid oli suhteliselt stabiilne ja jäi 7 PSU lähedale. 19 oktoobril langes soolsus alla 6 PSU. Kuni oktoobri lõpuni kõigub soolsus 6 ja 6,6 PSU vahel, ulatudes kohati ligi 5,6 PSU lähedale. Võimalikud sellise soolsuse languse ja varieerumise põhjused on: Liivi lahe vee läbivool Tillunirest ja/või sademed.

29. septembril ja 27. oktoobril tehtud kaardistus näitas kahe väinaosa vahel selget soolsuse erinevust: septembri lõpus oli soolsus väina kaguosas vahemikus 6,2-6,6 PSU ja loodeosas valdavalt üle 7 PSU ning oktoobri lõpus vastavalt 6,0-6,2 ja 6,7-6,9 PSU. Väina Väinamere osas, Tillunire lähedal registreeriti oktoobri lõpus Liivi lahe veega sarnased soolsuse väärtused, ca 6,2 PSU. Seejuures veidi eemal, SBE16 asukohas juba 6,7 PSU. Märkimisväärne on, et Liivi lahe omadustega vee ruumiline ulatus on ligikaudu sama, mida hindasime ühe kuu jooksul Tillunirest läbi voolanud mahu abil (joonis 2.2.2.6). Võib järeldada, et Tillunire läbivool oli toonud Väinamerre Liivi lahe arvestatava koguse madalama soolsusega vett. Teiseks, Liivi lahest pärit veemassi ja Väinamere veemassi vahel oli tugev gradient. Seega soolsuse suurt ajalist muutlikkust SBE16 asukohas saab selgitada gradiendi liikumisega.

Transporti Liivi lahest Väinamerre kinnitavad ka oktoobri esimese poole hoovusandmed Tillunirest (mõõtmised on saadaval oktoobri keskpaigani, joonis 2.2.2.4). Voolamise Väinamerre põhjustasid lõunakaarte tuuled, mis olid oktoobris valdavad. Väinameresuunalise transpordi domineerimist soodustavate tuulte prevaleerimine jätkus ka novembris ja detsembris. Soolsuse ajutine langemine 5.6 PSU on ilmselt osaliselt seotud ka sademetega, sest ruumilised kaardistamised septembri ja oktoobri lõpus nii madalat soolsust väinas ei tuvastanud. Nädala jooksul enne soolsuse ajalist miinimumi sadas Virtsu meteojaama andmetel ca 30 mm sademeid. Võttes arvesse, et lõunakaarte tuuled tekitasid lisaks läbivoolule tammist loodesse ka ilmselt väga madala veetaseme (veesamba), siis võib eeldada, et sademete ajutine mõju soolsusele võis tõe poolest avalduda.

2021 maist juunini Tillunires korraldatud pidevmõõtmistel said mitmed eelkirjeldatud nähtused kinnitust: Esines tugev temperatuuri ööpäevane käik, mille amplituud ületas kohati 5 °C; Väike väin soojenes tunduvalt kiiremini kui Suur väin; Esines tugev hapniku ööpäevane käik, mis oli tugevam kui temperatuur tõusis (päikesepaistelised, soojad päevad).

Keskmine ööpäevase käigu amplituud temperatuuril ja hapnikul oli vastavalt 3,1 °C (vahemikus 1,9,2 °C ja 16,1 °C) ning 3,3 mg/l (vahemikus 10,2 mg/l ja 6,9 mg/l) ja 44 % küllastusprotsendi järgi (vahemikus 74% ja 118%). Küllastusprotsendi sedavõrd suur amplituud on osaliselt tingitud sellest, et päeval kui kõrgema veetemperatuuri juures vastab hapnikuküllastusele väiksem lahustunud hapniku kontsentratsioon, öösel-hommikul, madalama temperatuuri juures suurem. St. isegi kui hapniku kontsentratsioonis ööpäevast käiku ei oleks, oleks hapniku % küllastuse suhtes päeval suurem ja öösel väiksem.

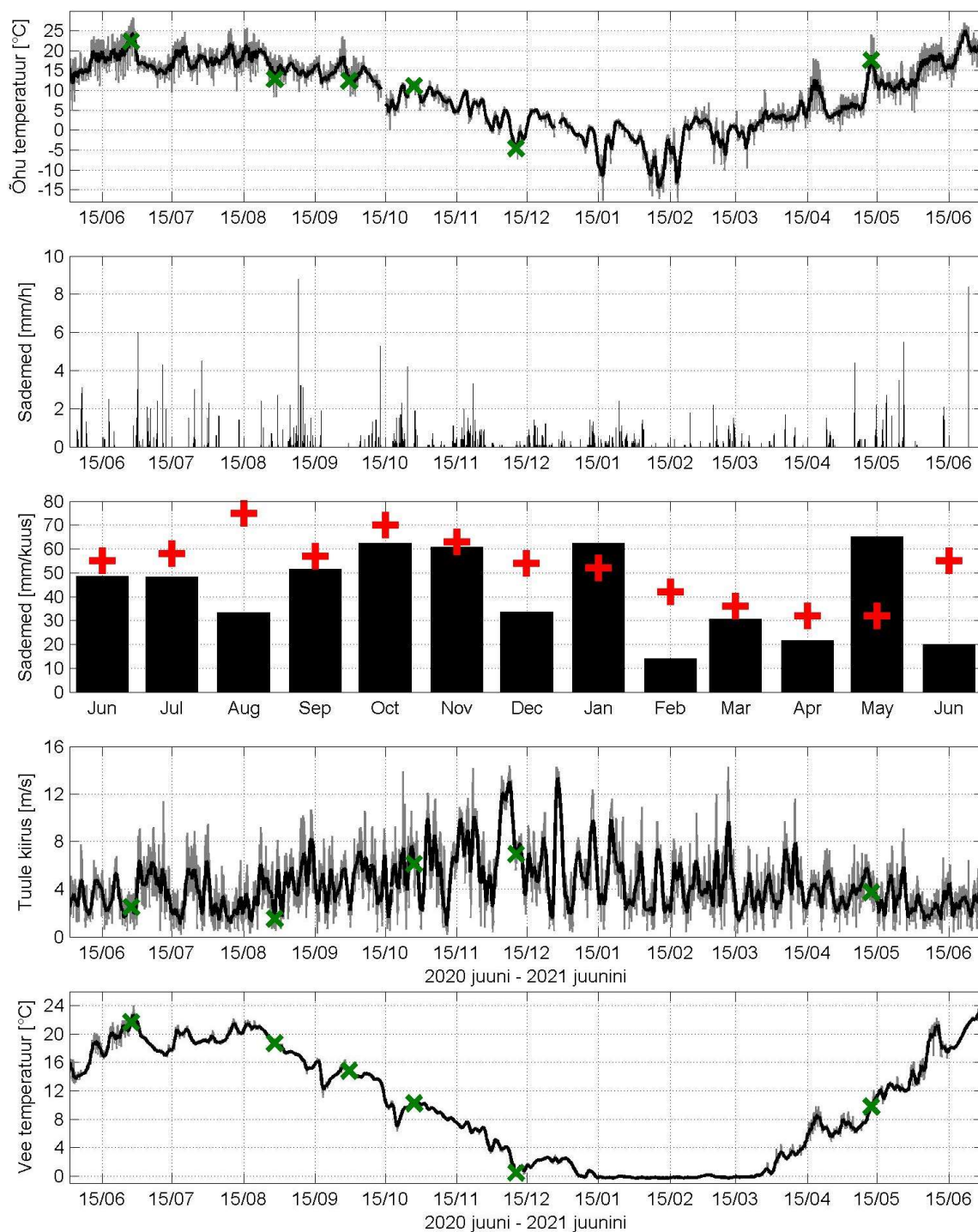
Soolsuse aegreas leidub sündmuseid, mis on selgelt korrelatsioonis hoovustega. Näiteks 18. mail toimunud soolsuse tõus on ilmselt seotud voolamisega Väinamerest Liivi lahte ning 24-26. mail toimunud soolsuse vähenemine on seotud vastupidise voolamisega. Kogu soolsuse muutlikkust voolamise suund ei selgita. 12. mail tehtud ruumiline mõõdistus näitas soolasema (>6,1 PSU) vee levikut Väinamere osas, vaid Tillunire lähedal oli magedam (5,7 PSU) veemass, mis oli kanalist läbi voolanud. Sellise soolsusega (5,7 PSU) veemass oli väina Liivi lahe osas valdav, kuid kagupoolseimates jaamades esines siiski oluliselt kõrgema

soolsusega veemass (6,2 PSU). See näitab, et soolsuse jaotused piirkonnas on mõnevõrra keerulisemad, kui seni eeldatud (magedam Liivi laht, soolasem Väinameri). Juuni teises pooles, tõusis soolsus Tillunires üle 6.5 PSU, kuid voolamine oli Liivi lahest Väinamerre (mis eeldaks varasemate uuringute põhjal soolsuse langust). Samal perioodil leidis aset vee kiire soojenemine ca 7 °C võrra. Ilmselt põhjustas soolsuse tõusu piirkonnas aurumine.

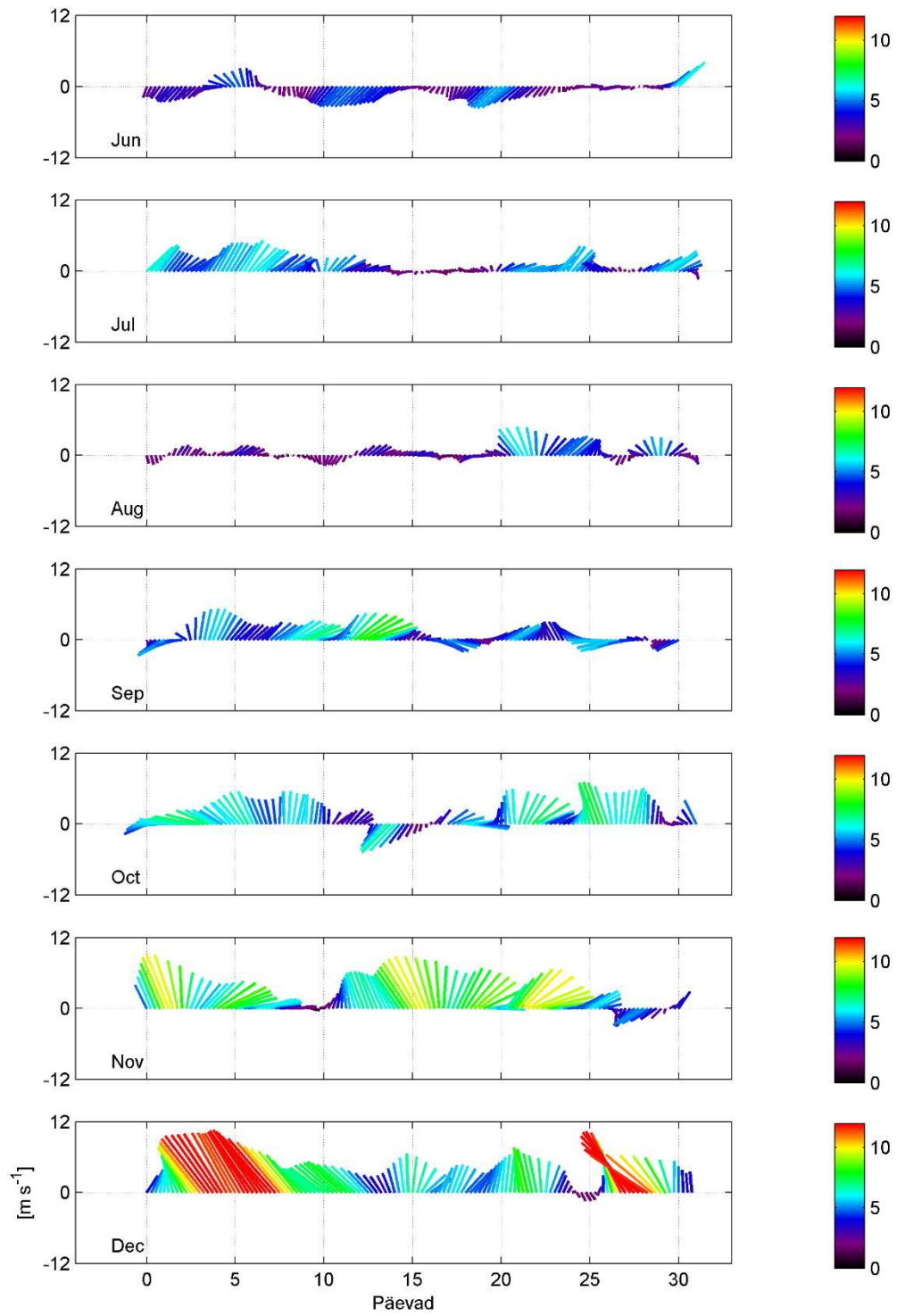
2020. aasta sügise möödumise käigus fikseerisime pikema perioodi, mil hapniku kontsentratsioonid jäid alla küllastustaseme. Hüpotees oli, et tegemist on sesoonse, st. igasügisese nähtusega. 2021. septembris käivitasime Tillunires temperatuuri ja hapniku mõõtmised. Septembris oli nii temperatuuris kui hapnikus tugev ööpäevane käik. Temperatuur langes kahe nädalaga 16-18 °C 7-11 °C peale. Hapniku kontsentratsioon küllastustaseme suhtes oli päeval enamasti vahemikus 110-120% ja öösel 75-85%. Septembri teises pooles pidime mõõtmised mõneks ajaks peatama. Oktoobris oli temperatuuri ööpäevane käik tagasihoidlikum ja selle amplituud piirdus 1-2 °C. Hapniku kontsentratsiooni päevased maksimumid olid kuu esimeses pooles 100% lähedal, kui kuu teises pooles jäi hapniku kontsentratsioon püsivalt alla küllastustaseme. See tähendab, hapnikuvoog atmosfäärist merre (võrreldes mere sisemise hapniku tarbimisega) ei ole piisav, et viia mere hapnikutaset küllastuseni. Pinnalähedane pikemaajalisem hapnikupuudujääk on Eesti rannikumere tingimustes suhteliselt haruldane. Ilmselt võib seda esineda vaid suletud merelahtede siseosades.

Kokkuvõttes võib aegridade mõõtmistest teha järgnevad järeldused:

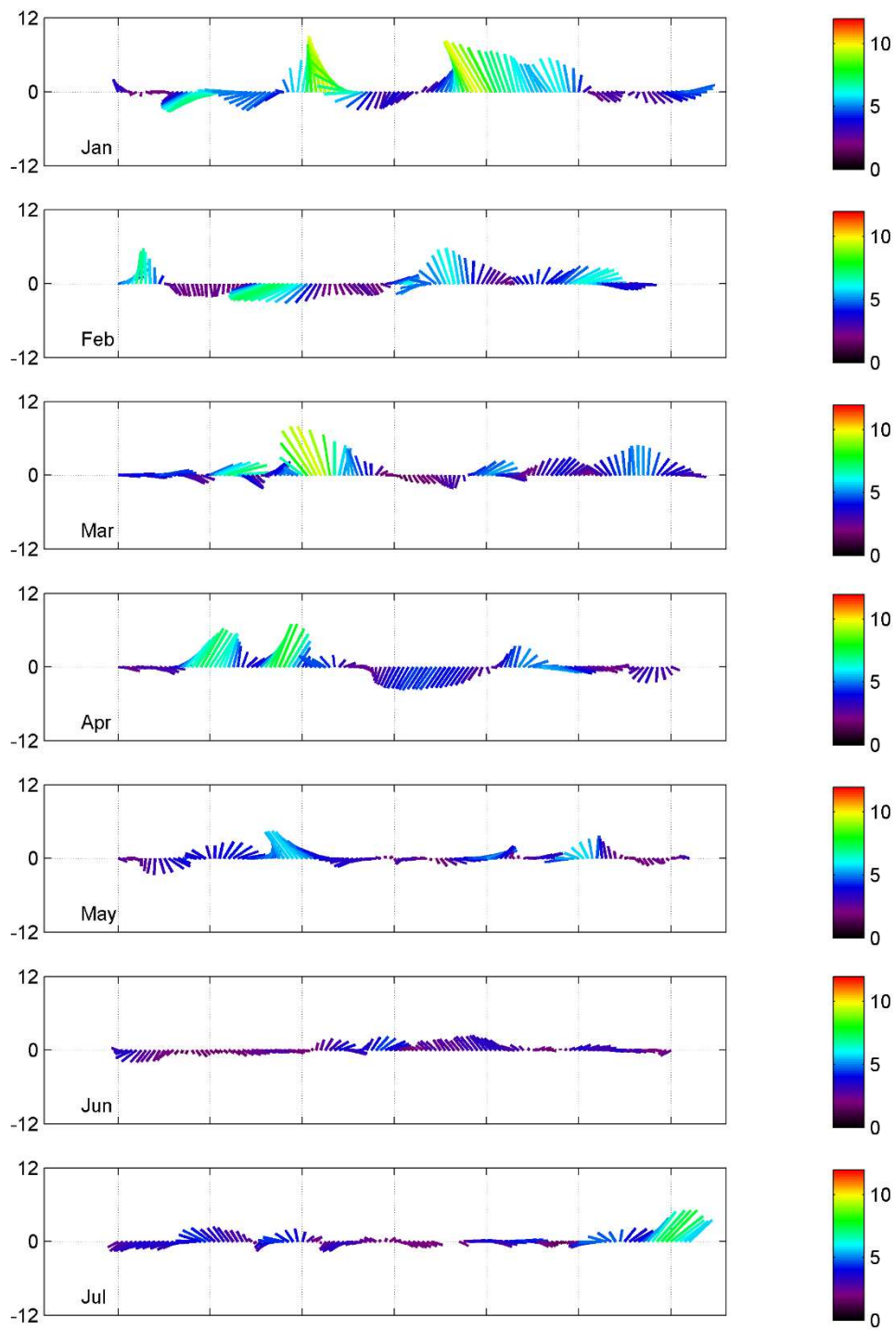
- Väin on meteoroloogiliste tingimuste muutustele väga tundlik;
- Väina vee hägusus tõuseb seoses tuulesündmustega, mis tekitavad lainetust ja tugevat hoovust, mis omakorda põhjustab sette resuspensiooni.
- Läbi ainukese ava toimub aktiivne voolamine. Samasugune voolamine leiaks aset ka uutest avades.
- Voolamine avaldub edasi-tagasi võnkumistena, kuid selle taustal on nn. madalsageduslik hoovus, mis muutub seoses tuuletingimustega. Madalsageduslik hoovus ühes suunas võib kesta päevi ja vahel isegi nädalaid.
- Läbi olemasoleva ava läbiva vee maht on väike, kuid selle mõju oli võimalik soolsuse jaotustes ja aegridades tuvastada 2,3 km kaugusel olemasolevast avast. Ilmselt on võimalik tammil vastaspoolelt tulevat vett mõlemal pool tammil tuvastada kaugemalgi.
- Mõlema ava rajamise puhul oleks tammil läbiv vooluhulga suurusjärk ca 2 korda väiksem kui Kasari jõe vooluhulk Matsalu lahte. See on arvestades väinaosade suletust arvestatav vooluhulk.
- Väinas toimub võrreldes Väinamere või Liivi lahe avatumate osadega kiirem soojenemine ja jahenemine ning esinevad temperatuuri ja lahustunud hapniku tugevad ööpäevased käigid. Ilmselt on nende nähtustes roll ka tammil, mis piirab lateraalset veevahetust.
- Sügiseti esinevad perioodid, kui hapniku kontsentratsioonid on alla küllastustaseme. Ilmselt on selle osaline põhjus seotud tammiga, mis piirab lateraalset veevahetust.
- Soolsuse dünaamika ei ole seotud ainult lateraalse vahetusega, vaid ka aurumise ja sademetega. Ilmselt on aurumise ja sademete suhteliselt suurem roll (võrreldes Väinamere või Liivi lahe avatumate osadega) soolsuse muutlikkuses seotud ka tammiga, mis piirab lateraalset veevahetust.
- Lähtudes eelnevatest punktidest: kuna väina lateraalset veevahetust on tammiga piiratud, siis on vertikaalse vahetuse suhteline osakaal atmosfääri (aga ka litosfääri) veesamba omadustele olulisem kui see oleks ilma tammiga. See avaldub kiiremas vee soojenemises ja jahtumises; suuremas vee temperatuuri ja lahustunud hapniku kontsentratsiooni ööpäevases käigus ja madala hapnikutasemega perioodides sügisperioodil.



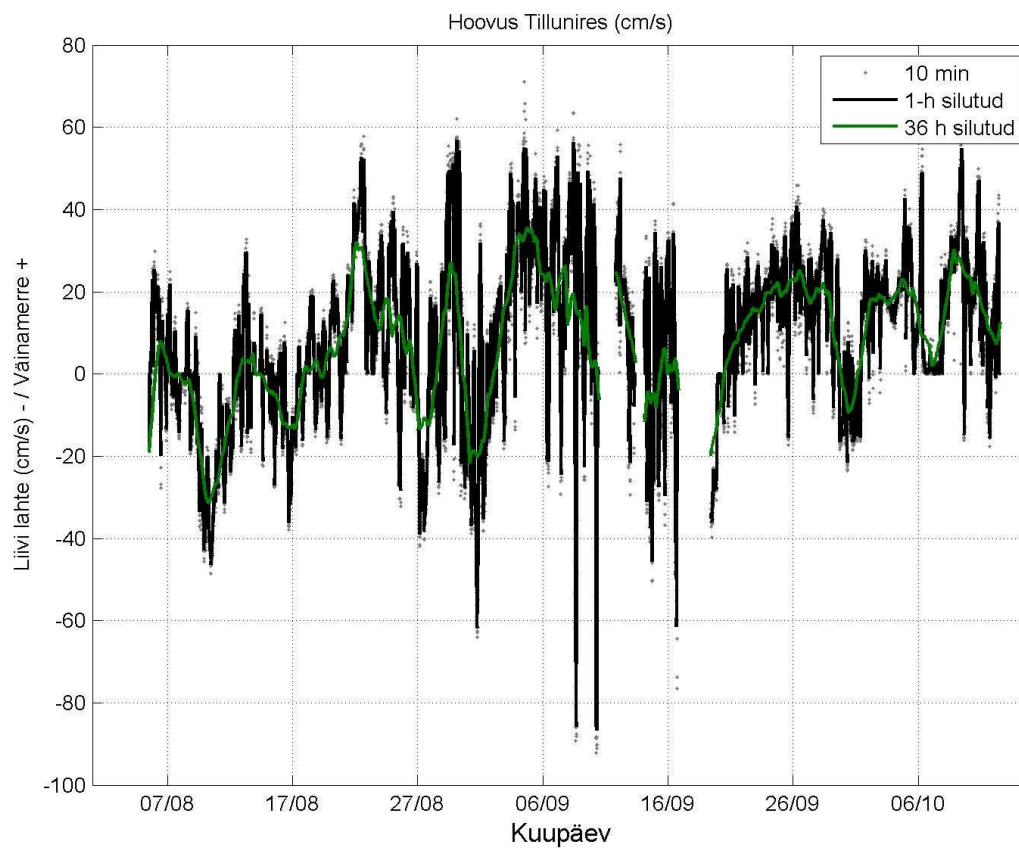
Joonis 2.2.2.1. Meteoroloogiliste parameetrite aegraad 2020 juuni – 2021 juuni. Ülemisest paneelist alates: õhutemperatuur (hall - tunni keskmine, must – 36 h filtriga silutud); sademed (mm/h); sademed (must- mm/kuus 2020-2021, punane mm/kuus 1991-2020 kuukeskmised); tuule kiirus (hall - tunni keskmine, must – 36 h filtriga silutud) ja vee temperatuur (hall - tunni keskmine, must – 36 h filtriga silutud). Tuul on mõõdetud Ruhnus, ülejäänud parameetrid Virtsus. Rohelised ristid temperatuuri ja tuule paneelidel näitavad ruumiliste mõõdistuste toimumise aegu.



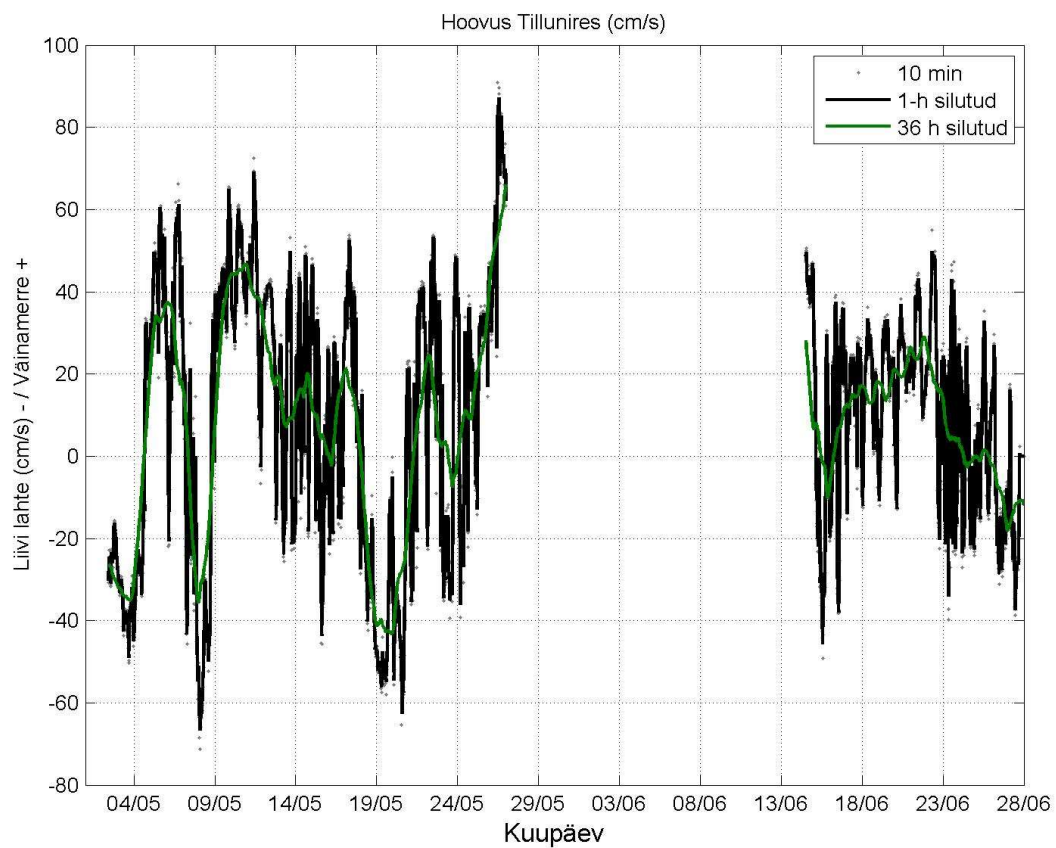
Joonis 2.2.2.2. Tuulevektorite silutud (36 h) aegrida juunist detsembrini 2020 Ruhnu meteojaama andmetel.



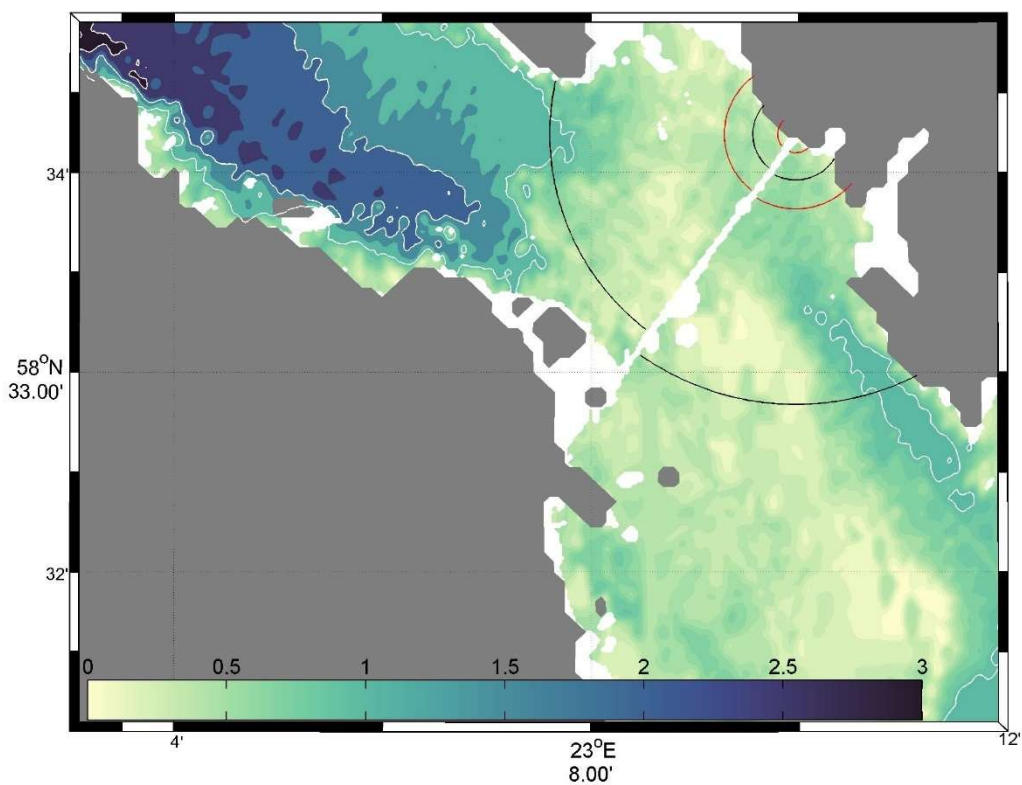
Joonis 2.2.2.3. Tuulevektorite silutud (36 h) aegrida jaanuarist juunini 2021 Ruhnu meteojaama andmetel.



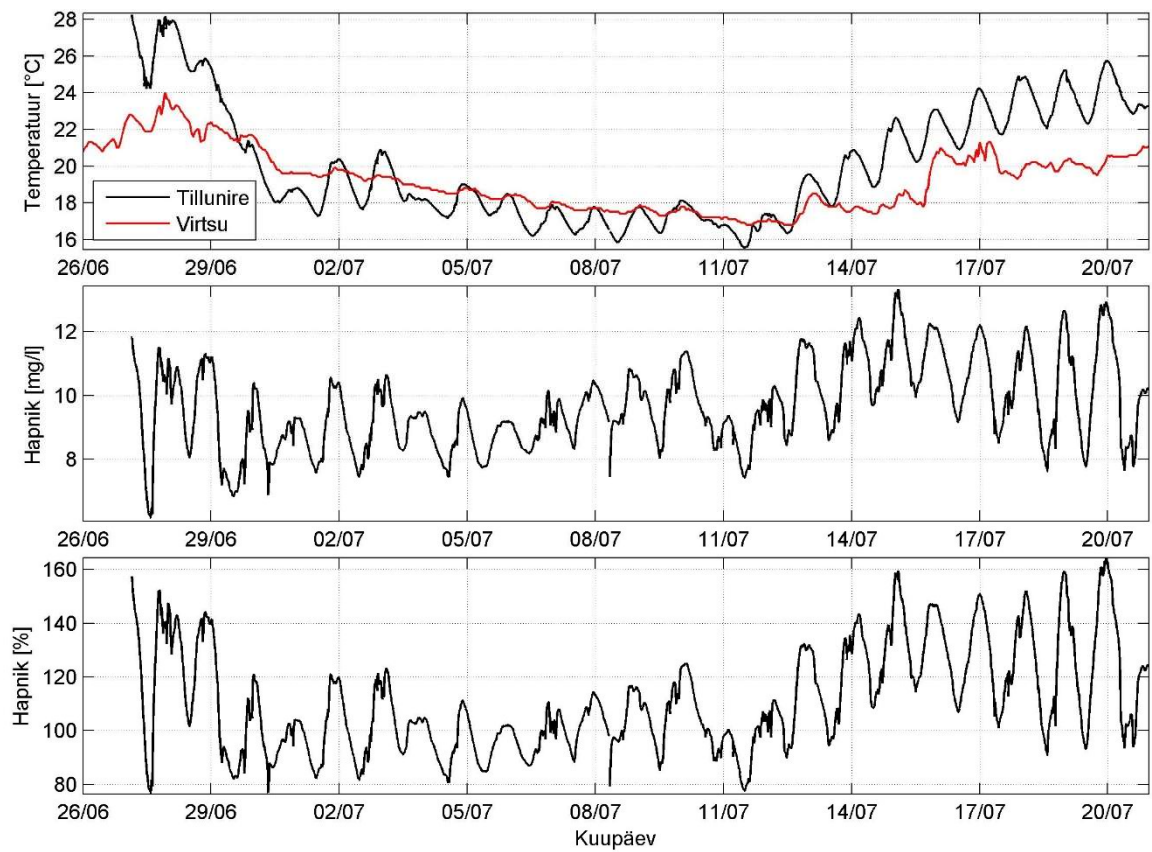
Joonis 2.2.2.4. Piki-kanalit hoovuskiirus Tillunires augustist oktoobrini 2020. Positiivsed väärtused näitavad Väinamerre ja negatiivsed Liivi lahte voolamist.



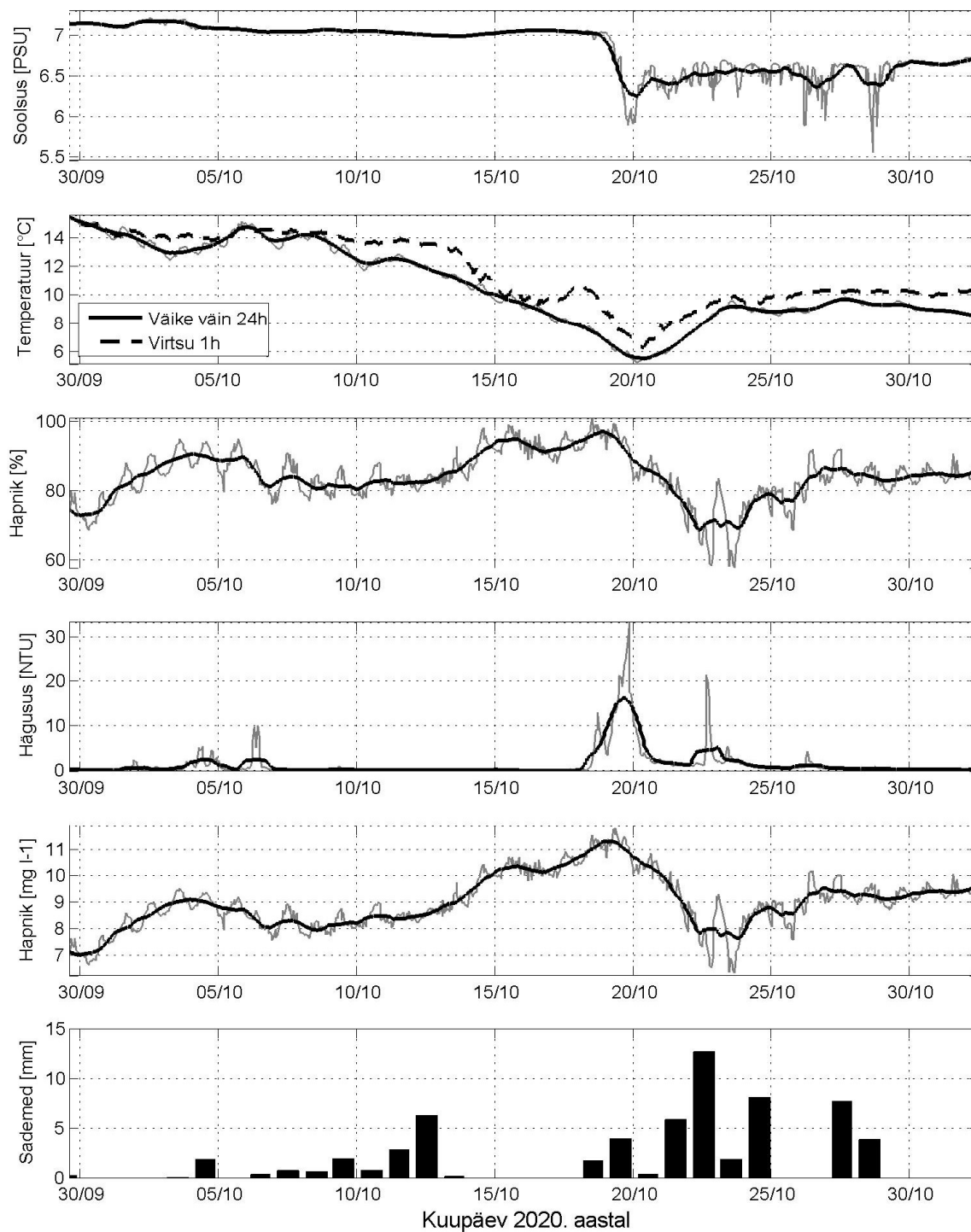
Joonis 2.2.2.5. Piki-kanalit hoovuskiirus Tillunires mais ja juunis 2021. Positiivsed väärtused näitavad Väinamerre ja negatiivsed Liivi lahte voolamist.



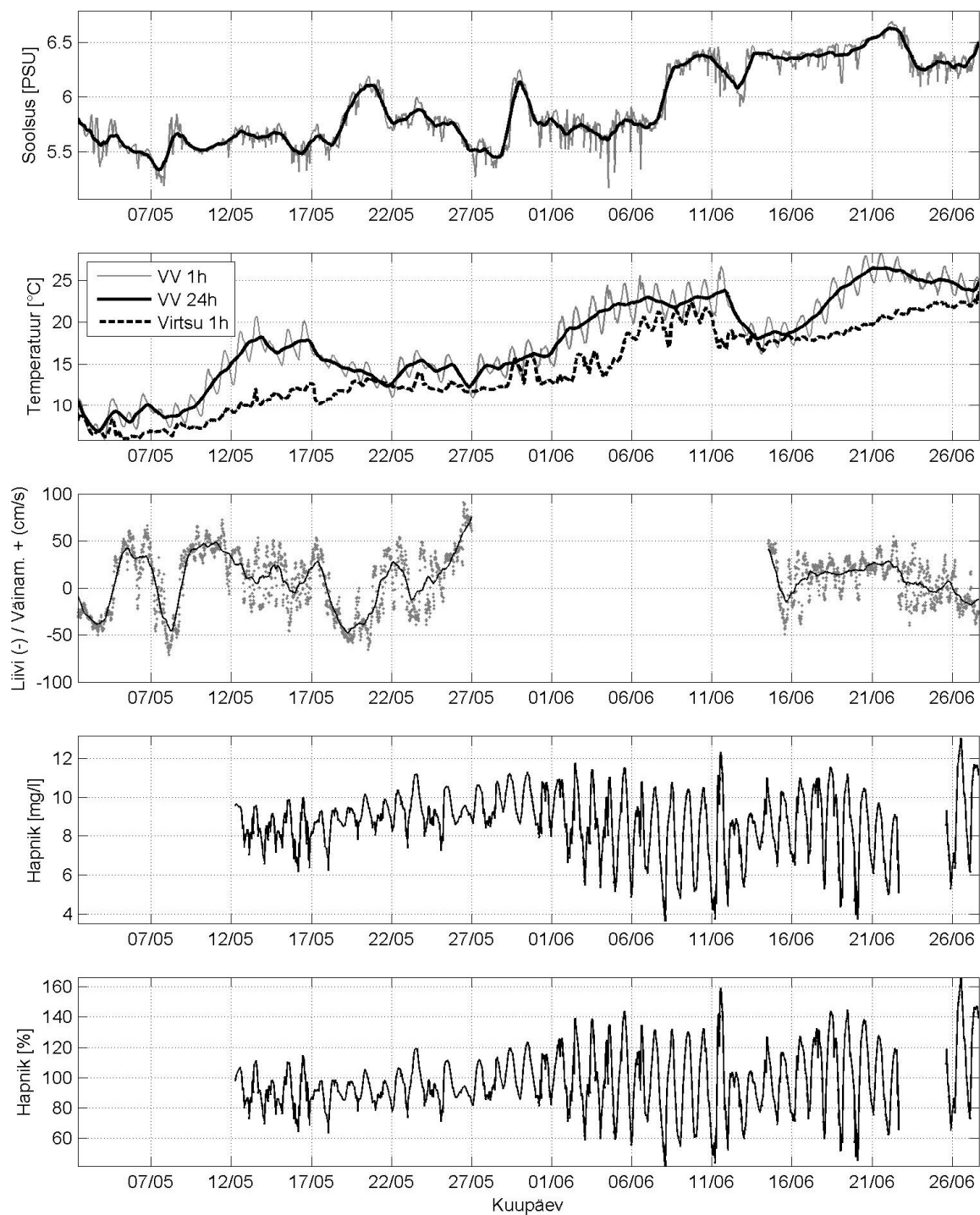
Joonis 2.2.2.6. Läbi Tillunire voolava vee mahu näitlikustamine. Punased sõõrid näitavad mõlemal pool tammi Tillunire lähistel oleva mereala mahtu, mis on võrdeline avast läbi jooksva 1,1 m³/s kumulatiivse mahuga vastavalt ühe päeva ja ühe kuu jooksul. Kui eeldada avast läbi voolava vee segunemist suhtega 1:10, siis on mõjutatava ala oluliselt suurem (mustad sõõrid näitavad avast läbi volanud kümnekordset mahtu merealadel ühe päeva ja ühe kuu jooksul). Joonisel toodud sõõrid näitavad vastavaid mahte Tillunirele lähimal alal, et näitlikustada avast voolava vee mahtu ümbritseva mere kontekstis.



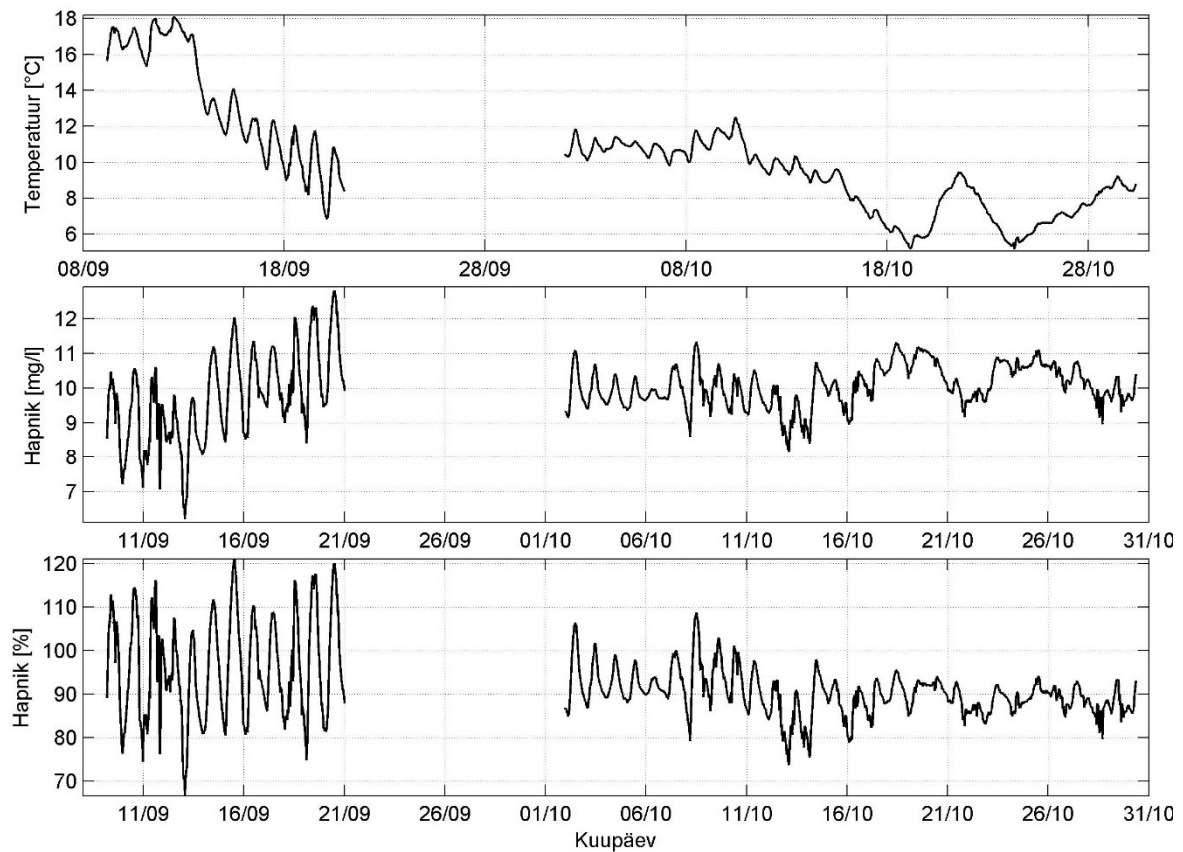
Joonis 2.2.2.7. Temperatuur ja hapnik Tillunires juunis ja juulis 2020.



Joonis 2.2.2.8. Soolisus, temperatuur, hapnik (%), hägusus, hapnik (mg/l) Väikese väina Liivi lahe osas septembri lõpust novembri alguseni 2020 ning ööpäevane sademete hulk Virtsus.



Joonis 2.2.2.9. Soolsus, temperatuur, piki-kanalit hoovuskiirus ja hapnik Tillunires mais ja juunis 2021. Võrdluseks on toodud Virtsu vee temperatuuri aegrida. Hoovusandmetes näitavad punktid 20 min keskmiseid hoovuseid ja pidevjoon 24 h silutud aegrida.



Joonis 2.2.2.10. Temperatuur ja hapnik Tillunires septembris ja oktoobris 2021.

2.2.3. Ohtlikud ained setetes

Proovivõtupunktide asukohad ja analüüsitulemused

Käesoleva uuringu käigus koguti setteproove Muhu poolse ümbersõidu juurest mõlemalt poolt tammijäämadest vaike30 (edaspidi V30, kaugus tammist 5 m) ja vaike31 (V31, 5 m), Tillunire lähedalt jäämadest vaike126 (V126, 700 m) ja vaike14 (V14, 560 m) ning kaugemalt – vaike18 (V18, 7100 m) ja vaike05 (V05, 5900 m), vt. joonis 2.2.3.1.

Jaamadest vaike30 ja vaike31, kus oli paks (vähemalt 30 cm) mudakiht, võeti proovid väikese settetoruga (läbimõõt 50 mm, pikkus 300 mm) ja analüüsiti eraldi ülemine (vaike30u, vaike31u) 5 cm kiht ja alumine (vaike30a, vaike31a) 5-25 cm kiht. Proovide võtmiseks ülejäänud jäämadest kasutati väikest Van Veen'i koppa (haardesügavus settest kuni 15 cm), millega käesolevas uuringus saadi proovid kuni 5 cm settelahust.

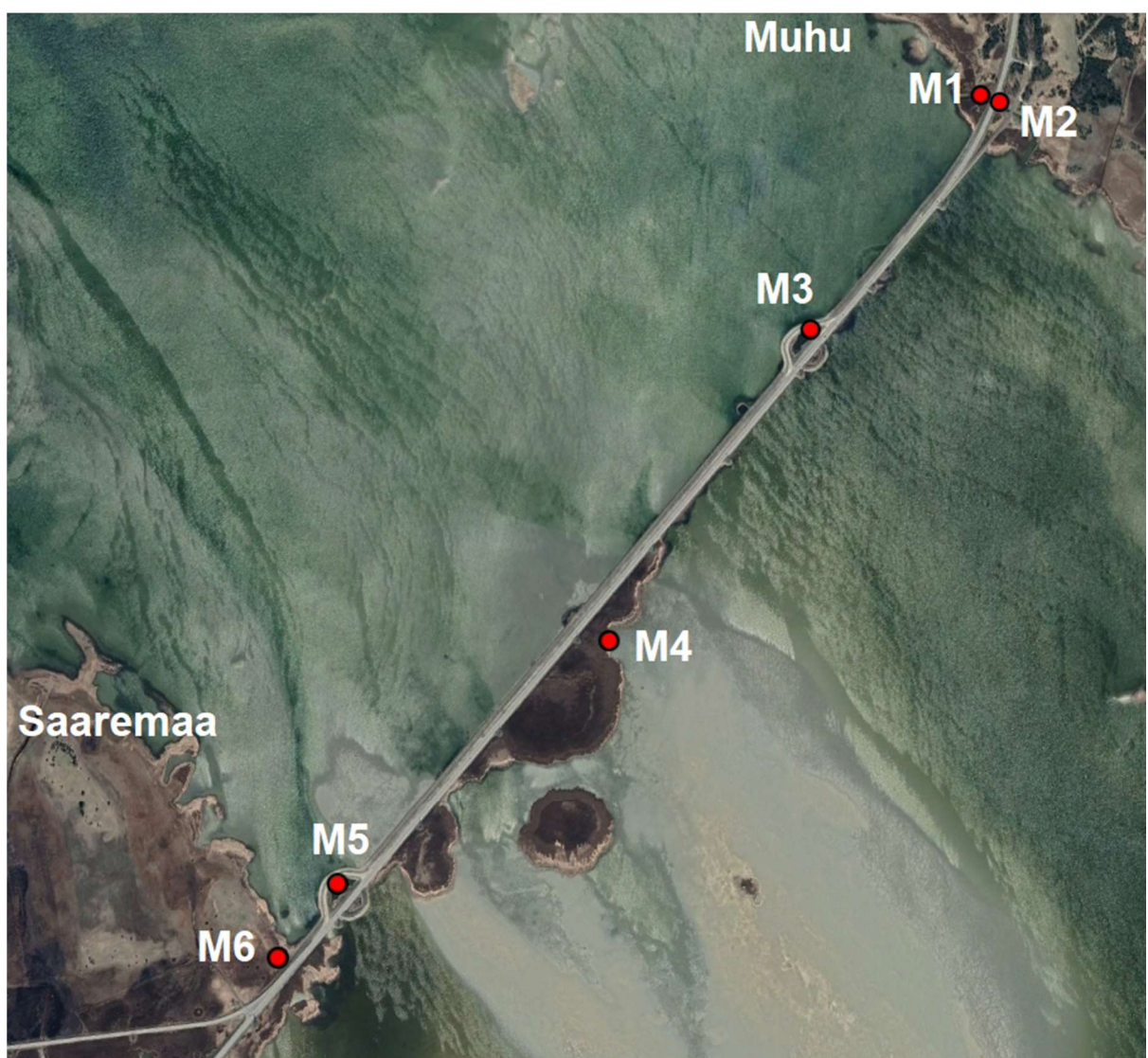


Joonis 2.2.3.1. Väikese väina jaamad, kus koguti setteproove (märgitud punasega).

Analüüsi tulemuste võrdlemiseks kasutati Maanteeameti poolt läbi viidud uuringut (Lükk & Kallas, 2016), milles analüüsiti 2016 a. suvel tammi äärest võetud setteproove (joonis 2.2.3.2). Maanteeamet võttis proovid Tillunire põhja- ja lõunaosast (jaamad M1 ja M2), ümbersõiduteede ja maantee vahele tekkinud basseinidest (M3 ja M5) ning taimestikuga kaetud märgalalt (M4 ja M6), mis sisuliselt on kõrgema veetasemega üle ujutatud maismaa. Maanteeameti originaalandmed on esitatud tabelis 2.2.3.1. Antud projekti seisukohalt on olulised just ümbersõiduteede ja maantee vahele tekkinud tiikidest võetud proovid (M3 ja M5), sest avade rajamisel tuleb sealt setteid eemaldada.

Tabel 2.2.3.1. Maanteeameti 2016. a. uuringu käigus setteproovidest määratud ohtlike ainete kontsentratsioonid.

Näitaja/proovipunkt (mg/kg/KA)	Nafta- saadused	Cd	Ni	Pb	As	Zn	Cu	Nüld	Püld	pH
Tillunire põhjaosa	30	2,21	23	10,6	4,51	69,6	18,9	3100	810	8,3
Tillunire lõunaosa	100	1,86	20,3	9,85	4,41	62,3	17,3	12000	1000	7,2
ÜS I bassein	85	1,68	17,1	19,6	4,62	65,9	16,9	5000	680	7,4
Taimestikuga kaetud ala	200	<1	31,3	6,40	3,90	34,2	18,3	12000	630	7,4
ÜS III bassein	30	<1	2,95	4,45	<2,5	12,4	3,50	<1000	250	8,3
Taimestikuga kaetud ala Saaremaa pool	< 20	1,18	12,4	9,71	3,53	38,1	10,3	3000	450	7,7
Piirväärtused: sihtarv	100	1	50	50	20	200	100			
Piirarv elumaal	500	5	150	300	30	500	150			



Joonis 2.2.3.2. Maanteeameti 2016. a. uuringu mõõtmisjaamad.

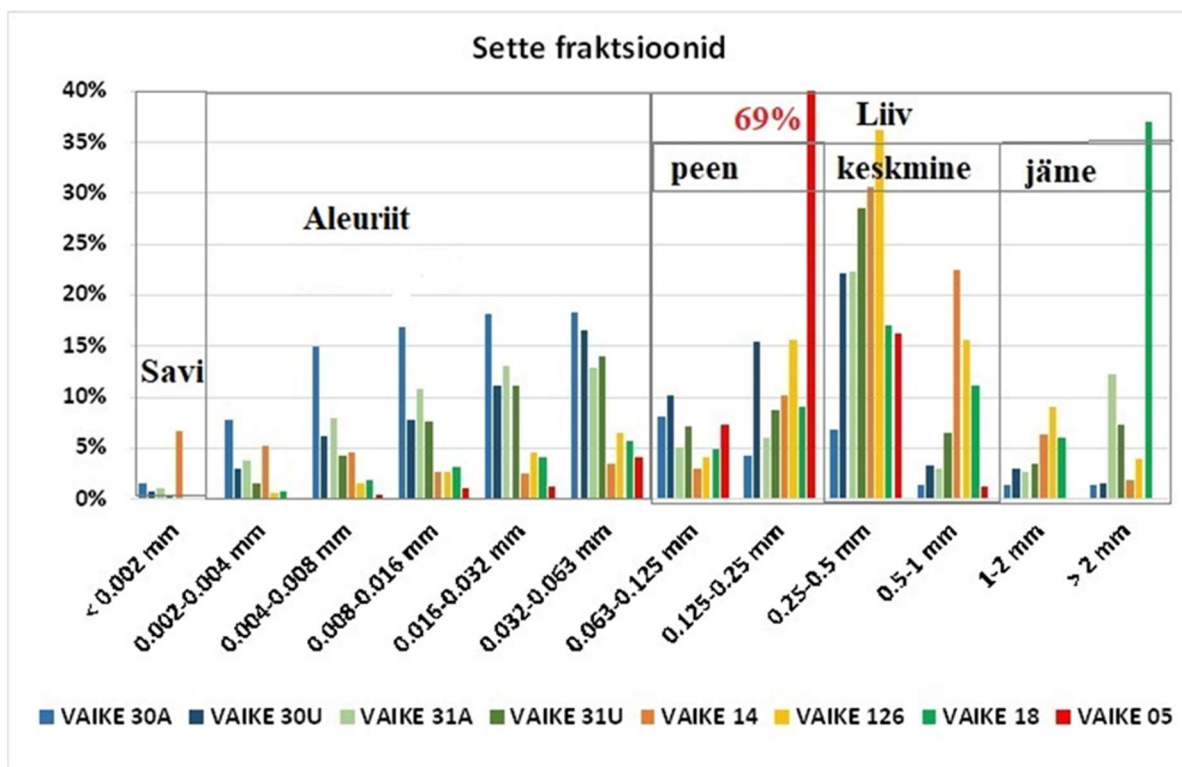
Setete granulomeetria

Setteproovidele teostati lõimisanalüüs, mille puhul klassifitseeriti sette osakesed suuruselise jaotuse järgi (tabel 2.2.3.2). Settefraktsioonide nimetused vastavad Uddeni-Wentworthi skaalale.

Tabel 2.2.3.2. Erinevate fraktsioonide osakaal setteproovides ja nendele vastav nimetus.

Fraktsioon (mm)	Nimetus	vaike	vaike	vaike	vaike	vaike	vaike	vaike	vaike
		30a	30u	31a	31u	14	126	18	05
		Osakaal (%)							
< 0.002	savi	1.47	0.66	1.03	0.29	6.6	0.11	0.11	0.03
0.002-0.004	väga peen aleuriit	7.68	2.84	3.74	1.54	5.09	0.54	0.61	0.09
0.004-0.008	peen aleuriit	14.9	6.1	7.88	4.18	4.59	1.42	1.82	0.42
0.008-0.016	keskmise aleuriit	16.8	7.72	10.7	7.48	2.56	2.59	3.1	0.98
0.016-0.032	jäme aleuriit	18	11	13	11.1	2.46	4.56	4.04	1.22
0.032-0.063	väga jäme aleuriit	18.2	16.5	12.8	14	3.4	6.4	5.55	4.06
0.063-0.125	väga peen liiv	8.06	10.1	4.97	7.04	3	4.09	4.9	7.23
0.125-0.25	peen liiv	4.12	15.4	5.93	8.71	10.1	15.5	9.01	68.6
0.25-0.5	keskmise liiv	6.77	22.1	22.2	28.5	30.6	36.2	17	16.2
0.5-1	jäme liiv	1.35	3.18	2.86	6.45	22.4	15.5	11	1.16
1-2	väga jäme liiv	1.35	3	2.67	3.47	6.28	9.06	5.98	< 0.01
> 2	kruus	1.35	1.41	12.2	7.19	1.79	3.88	36.9	< 0.01
> 0.063	liiv	23	55.19	50.83	61.36	74.17	84.23	84.79	93.19

Üldjoontes koosnevad setted liivast (jäme, keskmine ja peen), aleuriidist ning savist (joonis 2.2.3.3).



Joonis 2.2.3.3. Setteproovide granulomeetriline koostis.

Jooniselt 2.2.3.3 on näha, et tammiaärsed setted (jaamad vaike30a, vaike30u, vaike31a ja vaike31u koosnesid põhiosas aleuriidist ja peenest liivast, kusjuures aleuriidi osakaal oli suurem alumises (5-30 cm) kihis. Ülejäänud jaamadest eristuvad selgelt vaike14, mis sisaldab 74% liiva kõrval 7% savi ja vaike05, mis sisaldas 93% liiva, seejuures 76% peenikest liiva.

Jaamades, mis asusid tammist eemal, peenema fraktsiooniga settekihti ei leidunud. Kuivõrd tegemist on tuulte mõjule avatud madala akvatooriumiga (sügavus kuni 2 m), siis võib eeldada, et toimub õhukese settekihi sagedas ümberpaigutamine ja läbiuhtumine.

Eraldi küsimus on tammiaärsetes jaamades vaike30 ja vaike31, kus pehme settekiht oli vähemalt 30 cm paks ja süsinikusisaldus kõrgem kui ülejäänud jaamades. Seda võib seletada tammi mõjuga. Kui tammi ei olnud, läbisid väina tugevad hoovused, mis ei lasknud peenemal materjalil settida. Peale tammi rajamist vähenesid nii lainetus kui ka hoovuskiirused. Isegi kui lainetus tekitab resuspensiooni, ei ole tugevat hoovust, mis setet transpordiks. Samuti tekib tammi lähedal palju orgaanilist materjali, mis settib.

Piirarvudest

Eestis on piirarvud meresetetele kehtestatud keskkonnaministri 24.07.2019 määrusega nr 28 "Prioriteetsete ainete ja prioriteetsete ohtlike ainete nimekiri, prioriteetsete ainete, prioriteetsete ohtlike ainete ja teatavate muudesaasteainete keskkonna kvaliteedi piirväärtused ning nende kohaldamisemeetodid, vesikonnaspetsiifiliste saasteainete keskkonna kvaliteedipiirväärtused, ainete jälgimisenimekirjaga seotud tegevused" ning selle muutmise määrusega 10.06.2020 nr 33.

Analüüsitud ainetest on kehtestatud keskkonnakvaliteedi piirväärtused (veeseaduse alusel antud määruste muutmise 10.06.2020 nr 3) meresetete jaoks antratseniinile 16 µg/kg, benso(a)püreenile 2497 µg/kg, benso(k)fluoranteeniinile 1743 µg/kg ja tributüülina ühenditele 0.02 µg/kg.

Eraldi tähelepanu väärib siin tributüülina piirväärtus 0,02 µg/kg, teadolevalt mujal riikides nii karmi piirväärtust ei rakendata.

Probleem on lahti kirjutatud Stockholmi Ülikooli teadlaste poolt (OSPAR Commission, 2020). Tööst selgub, et piirväärtus 0,02 µg/kg, milline pakuti 2008. aastal välja TBT hea keskkonnakvaliteedi standardiks EL-s (seda siiski ei kehtestatud!), on liiga konservatiivne, ning on tõestatud, et 1,6 µg/kg on piisav. Samuti juhvivad autorid tähelepanu, et TBT standardne kvantifitseerimispiir settes on 1 µg/kg. Rootsi Mere- ja Veemajanduse Agentuur (SwAM) on kehtestanud keskkonnakvaliteedi standardi TBT sisaldusele setetes 1,6 µg/kg, mis põhineb põhjaorganismide ökotoksilisuse uuringutel.

HELCOM'i ülevaates (HELCOM, 2010) konstateeritakse, et tase alla 2 µg/kg on alla keskkonnaläviväärtusi, 2-50 µg/kg on murettekitav ja üle 50 µg/kg kujutab tõsist probleemi. Samast allikast selgub, et üle 50 µg/kg TBT kontsentratsioonid esineb Läänemere keskosas, Rootsi rannikul ning Klaipeeda, Stockholmi, Tornio, Rauma ja Kotka sadamates. Soome keskkonnaministeerium on kehtestanud kaadatava materjali jaoks piirväärtuse 5 µg/kg. Eesti rannikumeres v.a. sadamaakvatooriumid nii kõrget kontsentratsiooni fikseeritud ei ole.

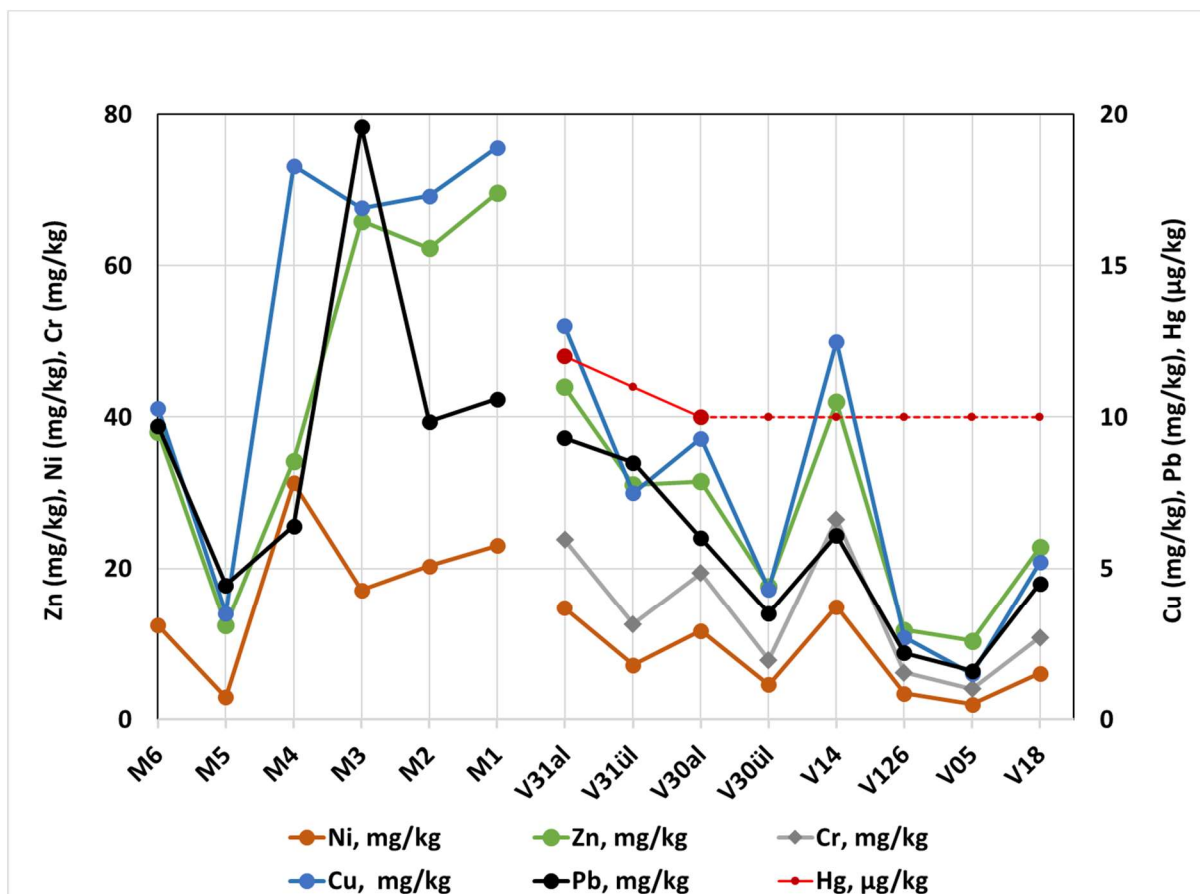
Ülejäänud ainete ja ainerühmade korral kasutati keskkonnakvaliteedi näitajana keskkonnaministri määrusega 28.06.2019 nr 26 „Ohtlike ainete sisalduse piirväärtused pinnases“ kehtestatud sihtarve. Ohtlike ainete sisalduse piirväärtusi pinnases väljendatakse sihtarvu ja piirarvu kaudu, mis esitatakse milligrammides ühe kilogrammi pinnase kuivmassi kohta. Sihtarv väljendab ohtliku aine sellist sisaldust pinnases, millega võrdselt või väiksema väärtuse korral loetakse pinnase seisund heaks. Piirarv näitab ohtliku aine sellist sisaldust pinnases, millest suurema väärtuse korral loetakse pinnas reostunuks.

Tabel 2.2.3.3. Analüüsitulemused. Sihtarvud (SA), piirarvud elamumaal (PAE) ja tööstusmaal (PAT) on kehtestatud keskkonnaministri 28.06.2019 määruse nr 26 "Ohtlike ainete sisalduse piirväärtused pinnases" Lisas. Piirarvud põhjasettes (PAS) on kehtestatud keskkonnaministri 24.07.2019 määrusega nr 28, mida on muudetud määrusega 10.06.2020 nr 33.

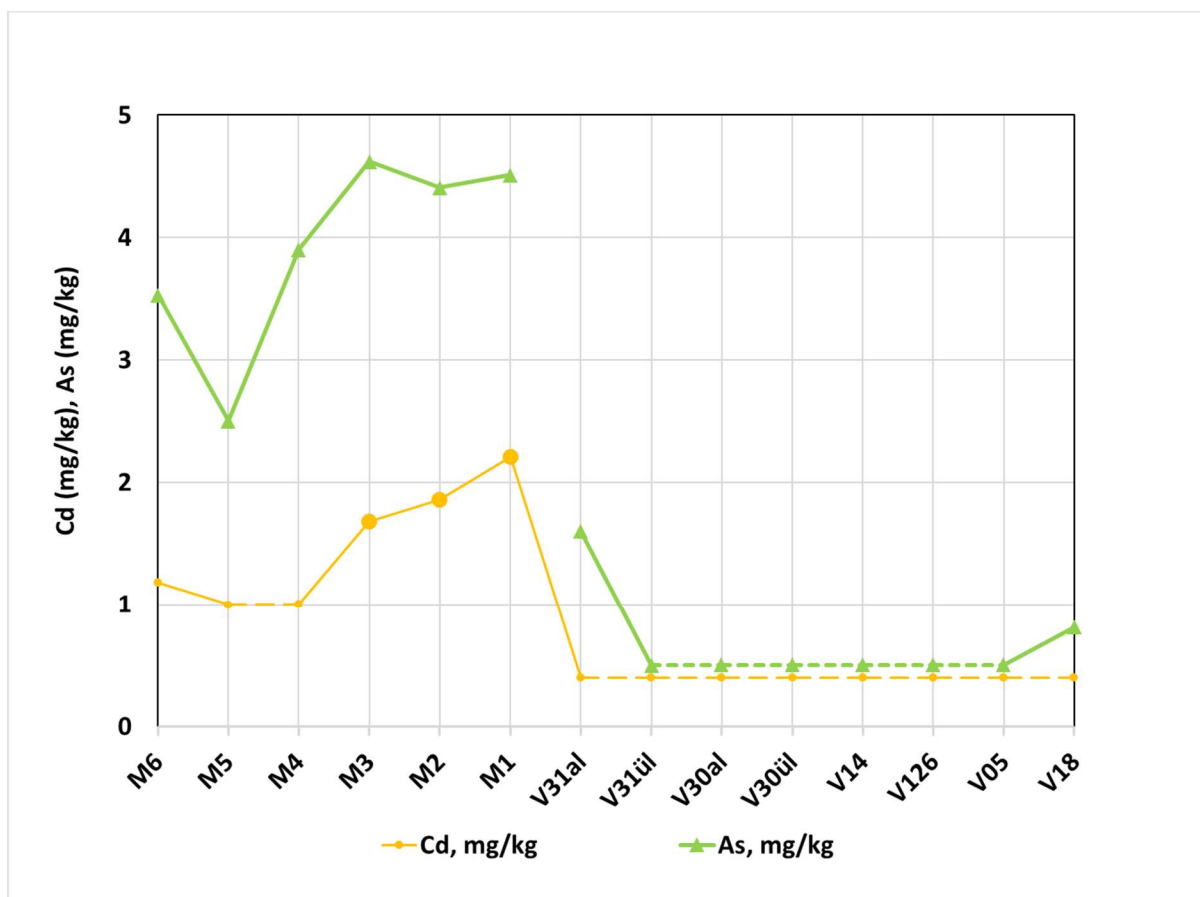
	Siht- ja piirarvud				Maanteeameti mõõdistused (2016)						TalTech Meresüsteemide instituudi mõõdistused (2020)							
	SA	PAE	PAT	PAS	M6	M5	M4	M3	M2	M1	V31al	V31ül	V30al	V30ül	V14	V126	V05	V18
Kaugus tammist, m					5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	560	700	5900	7100
As, mg/kg	20	30	50	-	3.53	<2.5	3.9	4.62	4.41	4.51	1.6	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	0.81
Cd, mg/kg	1	5	20	-	1.18	<1	1.68	1.86	2.21	<0.40	<0.40	<0.40	<0.40	<0.40	<0.40	<0.40	<0.40	<0.40
Cr, mg/kg	100	300	800	-							23.8	12.6	19.4	7.83	26.5	6.2	4.01	10.8
Cu, mg/kg	100	150	500	-	10.3	3.5	18.3	16.9	17.3	18.9	13	7.5	9.3	4.3	12.5	2.7	1.5	5.2
Pb, mg/kg	50	300	600	53.4	9.71	4.45	6.4	19.6	9.85	10.6	9.3	8.5	6	3.5	6.1	2.2	1.6	4.5
Hg, mg/kg	0.5	2	10	-							0.012	0.011	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
Ni, mg/kg	50	150	500	-	12.4	2.95	31.3	17.1	20.3	23	14.7	7.2	11.7	4.6	14.9	3.4	2	6.1
Zn, mg/kg	200	500	1000	-	38.1	12.4	34.2	65.9	62.3	69.6	44	31.1	31.5	17.6	42	11.8	10.4	22.8
C10-C40, mg/kg	100	500	5000	-	<20	30	200	85	100	30	69	42	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Antratseen, mg/kg	1	5	50	0.016							0.023	0.017	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
Benzo(a)pireen, mg/kg	0.1	1	10	2.497							0.16	0.092	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
benzo(k)fluoranteen, mg/kg	-	-	-	1.743							0.062	0.047	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
PAH-d, mg/kg	5	20	200	-							1.27	0.811	<0.160	<0.160	<0.160	<0.160	<0.160	<0.160
PCB-d, mg/kg	0.1	5	10	-							<0.014	<0.014	<0.014	<0.014	<0.014	<0.014	<0.014	<0.014
TBT, µg/kg	-	-	-	0.02							<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Orgaaniline süsinik, %											1.87	1.24	1.8	1.1	0.28	0.78	0.2	0.61
P, mg/kg					450	250	630	680	1000	810	650	530	690	580	500	670	500	500
N, mg/kg					3000	<1000	12000	5000	12000	3100	1240	1110	774	1150	301	432	365	307

HELCOM kohustusliku nimekirja metallid ja arseen

Raskemetallide sisaldused jäid kõikides proovides alla sihtarvu (joonised 2.2.3.4 ja 2.2.3.5), k.a. kaadmium, mille sisaldus mitmes Maanteeameti proovis ületas sihtarvu 1 mg/kg (joonis 2.2.3.5). Samuti arseeni kontsentratsioonid, mis Maanteeameti proovides olid märgatavad (3,53-4,62 mg/kg), on kõigis jaamades v.a. V31 al (1,6 mg/kg) ja V18 (0,81 mg/kg) alla määramispiiri (0,5 mg/kg) (joonis 2.2.3.5).



Joonis 2.2.3.4. Nikli, tsingi, kroomi, vase, plii ja elavhõbeda sisaldused setteproovides. Kriipsjoonega on tähistatud tulemused alla määramispiiri. Vasakul on Maanteeameti 2016. a andmed (võetud vahetult tammi äärest M6-M1) Muhumaa poolt Saaremaa suunas; seejärel käesoleva töö andmed, tammist avamere poole.

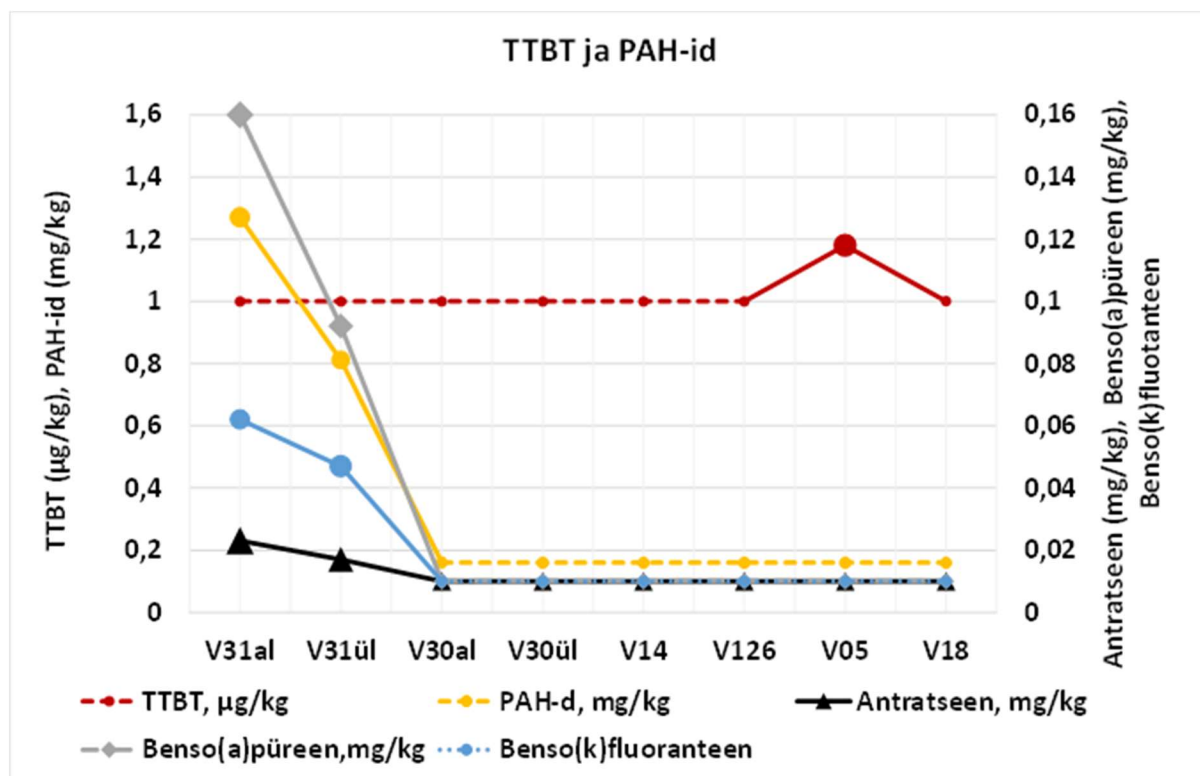


Joonis 2.2.3.5. Kaadmiumi ja arseeni muutlikkus jaamades. Kriipsjoonega on tähistatud tulemused alla määramispiiri. Vasakul on Maanteeameti 2016. a andmed (võetud vahetult tammi äärest M6-M1) Muhumaa poolt Saaremaa suunas; seejärel käesoleva töö andmed, tammist avamere poole.

Metallide kontsentratsioonid on 2020. aastal võetud proovides madalamad, kui aastal 2016. Sellegipoolest eristuvad selgelt tammi lähedal võetud proovid, kus kontsentratsioonid olid kõrgemad kui tammist kaugemal asuvates jaamades. Mõlemal pool tammi on enamuse metallide puhul tendents, et alumises kihis on väärtused mõnevõrra kõrgemad. Teiseks, tammist kagus on kontsentratsioonid kõrgemad kui loodes. Jaamas V14 (vaike14 joonis 2.2.3.1) ca pool km tammist kagus, olid kontsentratsioonid võrreldavad tammi vahetus läheduses saadud tulemustega. See võib viidata, et tammist kagus on kõrgendatud kontsentratsioonide tsoon vähemalt pool km laiune. Kõige madalamad väärtused olid kõige kaugemas mõõtmisjaamas V05 (vaike05 joonisel 2.2.3.1). Samas suurusjärgus olid kontsentratsioonid ka jaamas V126 (vaike126 joonisel 2.2.3.1). Veidi kõrgemad väärtused esinesid jaamas V18 (vaike18 joonisel 2.2.3.1), mis võib olla seotud Koguva sadama lähedusega. Samas, olid seal kontsentratsioonid selgelt madalamad kui tammi ääres.

Võib arvata, et tammiäärsed kõrgemad raskemetallide sisaldused on seotud tammipealse transpordiga. Autoliiklus on üks peamisi raskemetallide reostuse allikaid urbaniseeritud piirkondades (Adamiec et al., 2016; Men et al., 2018). Reostus tuleb nii heitgaasidest, kui ka rehvide, piduriketaste ja teiste osade kulumisest (Yuen et al., 2012).

Orgaanilistest ohtlikest ainetest määrati polüaromaatsete süsivesinike (PAH-d) kontsentratsioonid kuueteistkümnele eraldi ühendile, sh. antratseenile, benso(a)püreenile ja benso(k)fluoranteenile – kõigi nende kohta on Eestis kehtestatud ka piirväärtused – 0.016, 2.497, 1.743 mg/kg vastavalt. PAH-de summale on kehtestatud sihtarv pinnases – 5 mg/kg. Setteproove analüüsiti ka 10 tinaorgaanilise ühendi suhtes, piirarv Eestis on kehtestatud tributüülinaale (TBT) – 0.02 µg/kg. Määrati ka 7 polüklooritud bifenuüli (PCB) kontsentratsioonid, sihtarv (0.1 mg/kg) on kehtestatud nende summale. Määrati ka naftaproduktide erinevate fraktsioonide sisaldus. Eestis on fraktsioonide (C10-C40) summale kehtestatud sihtarv 100 mg/kg, piirarv elamumaale 500 mg/kg ja tööstusmaale 5000 mg/kg.



Joonis 2.2.3.6. Polüaromaatsete süsivesinike (PAH-d), sh. antratseeni ja benso(a)püreeni, samuti tetrabutüülina (TTBT) sisaldus 2020. aasta jaamades. Punktiirjoonega on tähistatud alla määramispiiri tulemused.

PAH-de ja tetrabutüülina (TTBT) kontsentratsioonid on toodud joonisel 2.2.3.6. PAH-de kontsentratsioonid ületasid nende määramispiire (0.010 mg/kg ühendi jaoks) ja 0.160 mg/kg 16 PAH ühendi summa jaoks. Piirarvu põhjasettes (0.016 mg/kg) ületas jaamas V31 antratseen nii alumises (0.023 mg/kg) ja napilt ka ülemises kihis (0.017 mg/kg). Samas jäid sisaldused selgelt alla sihtarvu pinnases. Benso(a)püreeni sisaldus 0.16 mg/kg jaamas V31 sette alumises kihis ületas pinnasele kehtestatud sihtarvu 0.1 mg/kg. Nii benso(a)püreeni kui benso(k)fluoranteeni kontsentratsioonid olid enam kui suurusjärg allpool piirarvu settes ja pinnases. /kg, kuid jäi alla piirarvu nii settes ja ka pinnases. PAH-de summaarne kontsentratsioon oli piirarvust ligi 4 korda madalam. PAH-de esinemine just tammiääsetes jaamades on ootuspärane – tekib neid ju ka autokütuste põlemisel. Kagupoolse jaama (V31) PAH-de kõrgemale kontsentratsioonile võrreldes loodekaldaga (v30) ei ole ühest selgitust. Ka metallide (v.a. tsink) kontsentratsioonid olid jaamas V31ül ca kaks korda kõrgemad, kui jaamas V30ül. Võib spekuloida, et erinevus tuleb tuule suundade sagedusjaotusest. Tammist kagusse puhuvad tuuled on märgatavalt sagedasemad kui vastassuunas (Liblik & Lips, 2006). Erinevus võib olla ka kohtspetsiifiline. Proovivõtu kohtadesse on ehitatud ümbersõidukaared. Loodepoolne proovipunkt asus maanteeservast ca autoteest veidi kaugemal kui kagupoolne servast ca 75 m kaugusel, kagupoolne ca 10 m kaugusel. Ohtlike ainete sagedasemale kagupoolse levimisele viitab ka jaam V14 (tammist 560 m kaugusel), kus registreeriti pea sama kõrged raskemetallide kontsentratsioonid kui tammi vahetus läheduses.

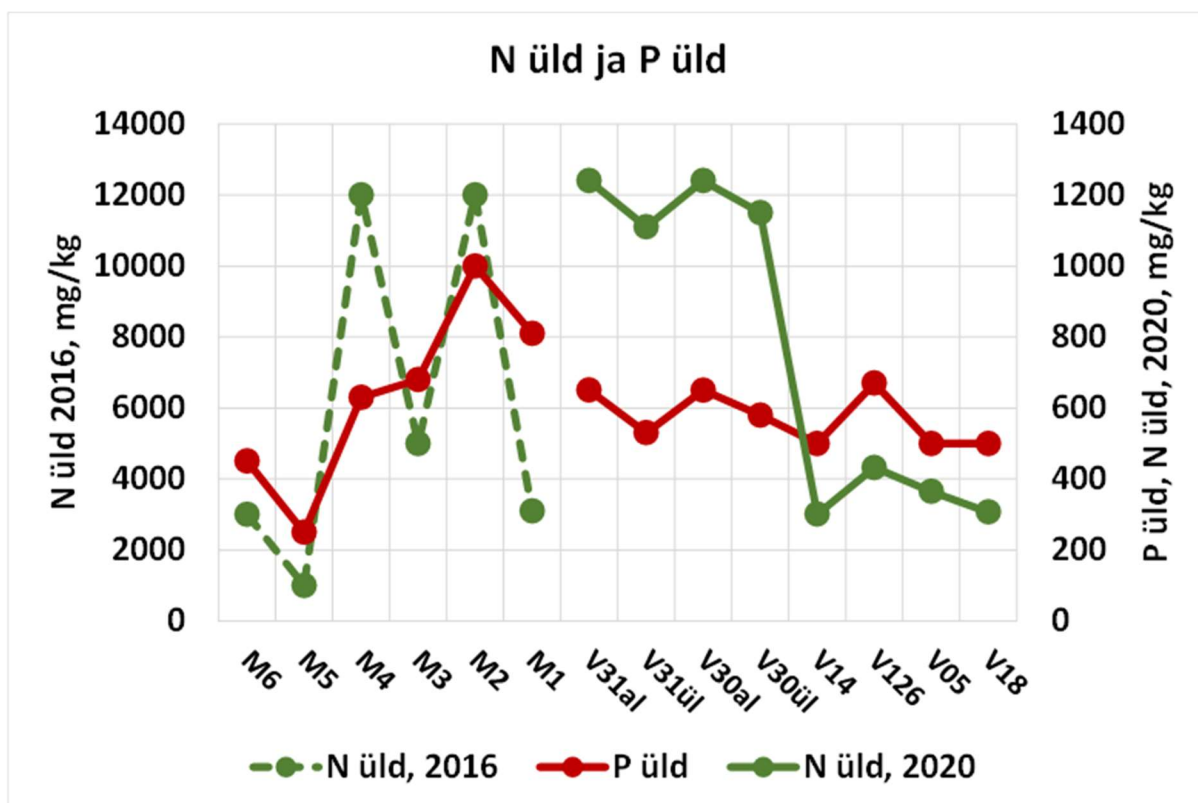
Tributüültina (TBT) analüüsitulemus jäi kõigis proovides alla määramispiiri (1 µg/kg). 10-st analüüsitud orgaanilise tina ühendis ületas määramispiiri ainult tetrabutüültina (TTBT) jaamas V05.

Naftaproduktide puhul (C10 - C40 fraktsioon) ületas üks Maanteeameti proov (M4) piirarvu (100 mg/kg), käesoleva töö proovid jäid enamasti alla määramispiiri (20 mg/kg), vaid tammiäärses jaamas v31 olid väärtused üle määramispiiri – 69 mg/kg alumises kihis ja 42 mg/kg ülemises kihis.

Polüklooritud bifenüüle (PCB) (määramispiir 0,002 mg/kg) ei tuvastatud. Eestis kehtivast pinnase sihtarvust 7 PCB summale (0.1 mg/kg kuivkaal) jäi PCB-de kontsentratsioon vähemalt 7 korda madalamaks.

Toitained

Üldlämmastiku ja üldfosfori analüüsitulemused on tabelis 2.2.3.3. ja joonisel 2.2.3.7.



Joonis 2.2.3.7. Toiteainete ruumiline muutlikkus setetes. Maanteeameti (2016) üldlämmastiku tulemused on primaarteljel, üldfosfor (2016 ja 2020) ja 2020. a. üldlämmastik on sekundaarteljel.

Üldlämmastiku (N üld) kontsentratsioonid setetes olid 2020. aasta proovides suurusjärg madalamad kui 2016. aasta proovides. Tõenäoliselt on 2016. a. (üli)suur lämmastiku sisaldus tingitud proovivõtukohtade valikust - 2016. aasta proovid olid võetud kõik vahetult tammi äärest, osaliselt isegi roostikust ja „ajutiste“ ümbersõidu kaarte sisse jäänud tiikidest, 2020. aasta neli proovi võeti küll tammi lähedalt, aga ikkagi merest. Lämmastiku ruumiline jaotus näitab selgelt kõrgeimad väärtuseid tammi lähedal ja madalamaid tammist eemal. Mõlemal pool tammi oli alumise kihi kontsentratsiooniks 1240 mg/kg, ülemise kihi sisaldused olid veidi madalamad (1110-1150 mg/kg). Tammist eemale jäänud jaamades olid sisaldused kolm-neli korda madalamad. Seejuures ei olnud olulist erinevust tammist poole kilomeetri kaugusel ja mitmete kilomeetrite kauguselt võetud proovides. Kõrgemad üldlämmastiku sisaldused tammilähedases settes langevad kokku meie juuni-septembri kaardistustega veesambas. Ka veesamba jaotustes olid näha kõrgeid üldlämmastiku kontsentratsioone tammi läheduses.

Fosfori osas ei eristu selget ruumilist süsteemset jaotust. Ülemise settekihi kontsentratsioonid ümbersõidu lähedal (V30ül ja V31ül) on samas suurusjärgus tammist kaugeimate jaamade väärtustega. Tammilähedaste jaamade alumise kihi (V30al ja V31al) väärtused on veidi kõrgemad nagu ka lämmastiku puhul. Kõrgeim üldfosfori kontsentratsioon registreeriti Tillunirest põhjas, jaamas V126.

Võrdlus teiste uuringute ja kriteeriumitega

Võrdlevaks analüüsiks on tabelis 2.2.3.4 toodud andmed maksimumkontsentratsioonide kohta Väikeses väinas ja teistel Eesti merealadel.

Tabel 2.2.3.4. Tulemuste võrdlus varasemate uuringutega ja Eestis kehtivate siht- ja piirarvudega ning SedGof'i uurimisrühma poolt pakutud merekeskkonna kvaliteedikriteeriumitega (roheline – hea, kollane – rahuldav).

Aine	Ühik	Sihtarv pinnases / piirväärtus settes	SEDGOF hea	SEDGOF rahuldav	Väike Väin 2020	Suur Väin	Väina meri	Liivi laht	Virtsu sadam	Pärnu laht	Soome laht
As	mg/kg	20	7.2	42	1.6		4.1	21	3.3		13.4
Cd	mg/kg	1	0.7	4.2	<0.4	<0.5	0.11	1	0.16	<0.4	1.53
Cr	mg/kg	100	52	160	26.5	38.1	29	63	16	41	89.2
Cu	mg/kg	100	35	108	13	31.7	25	27	18	29.6	45.3
Hg	µg/kg	500	130	700	12	15	14	86	24	26	
Ni	mg/kg	50	30	120	14.9	29.7	18	39	11	33.5	48.1
Pb	mg/kg	50/53.4	30	110	9.3	30.9	8	40	10	16.3	40.1
Zn	mg/kg	200	124	270	44	89.8	52	158	59	78.5	206.8
C10-C40	mg/kg	100	100	500	69		80	93	37	68	626
Antratseen	µg/kg	1000/16	85	255	23		34	17.6	10		
Benso(a)püreen	µg/kg	100/2497	430	1290	160		49	86	17		
Benso(k)fluoranteen	µg/kg	/1743			62						
PAH	mg/kg	5	2	5	1.27	0.9	0.171	0.459	0.052		0.15
PCB	µg/kg	100	30	100	<14	<30	0.12	3.66	0.32		
TBT	µg/kg	/0.02	3	30	<1		1.2	1.81	14		

Tabelis on kasutatud järgmisi allikaid:

- sihtarv pinnases: keskkonnaministri määrus 28.06.2019 nr 26 „Ohtlike ainete sisalduse piirväärtused pinnases“;
- piirarv settes: keskkonnaministri 2019 määrus nr 28 "Prioriteetsete ainete ja prioriteetsete ohtlike ainete nimekiri, prioriteetsete ainete, prioriteetsete ohtlike ainete ja teatavate muudesaastainete keskkonna kvaliteedi piirväärtused ning nende kohaldamisemeetodid, vesikonnaspetsiifiliste saasteainete keskkonna kvaliteedipiirväärtused, ainete jälgimisnimekirjaga seotud tegevused“ ning selle muutmise määrusega 10.06.2020 nr 33;
- SedGof'i kriteeriumid ja Soome laht: „Hinnangu andmine merekeskkonna ökosüsteemipõhiseks korraldamiseks Soome lahe merepõhja ja setete näitel (SedGoF)“ (Suuroja et al., 2016).
- Väike väin: käesolev töö „Väikese väina silla alternatiivide mõju uuring“;
- Suur väin: Sõitjate ja veoste üle Suure väina veo perspektiivse korraldamise kava koostamine ja keskkonnamõju strateegiline hindamine – merepõhja setete analüüs (Altakon, 2009);
- Väinameri, Liivi laht ja Virtsu sadam: „Prioriteetsete ainete ja toiteainete vertikaalsest jaotusest Väinameres ja Liivi lahes“ (Tallinna Tehnikaülikool, 2021).

- Pärnu laht: AS Pärnu sadama KMH Pärnu laevatee süvendamiseks mahus kuni 780000m³ (Corson, 2012).
- Üldlämmastik ja üldfosfor on võetud tööst “Prioriteetsete ainete ja toiteainete vertikaalsest jaotusest Väinameres ja Liivi lahes” (Tallinna Tehnikaülikool, 2021), Soome lahe jaoks tööst „Hinnangu andmine merekeskkonna ökosüsteemipõhiseks korraldamiseks Soome lahe merepõhja ja setete näitel (SedGoF)” (Suuroja et al., 2016).

SedGof'i uuringu alusel pakutud „hea“ kvaliteedi kriteeriumid on karmimad, kui maismaapinnase sihtarvud, kuid kõik käesoleva uuringu proovid mahtusid kategooriasse „hea“.

Orgaanilise süsinik ja Redfieldi suhe

Hindamiseks põhjasetete päritolu - mereline või maine – telliti setteproovidele ka toiteainete ja orgaanilise süsiniku analüüs - mereliste setete puhul peaks süsiniku molaarne osakaal olema 6 kuni 8 korda madalam, kui maismaataimede laguproduktides. Tulemused on tabelis 2.2.3.5.

Tabel 2.2.3.5. Üldsüsiniku, üldlämmastiku, üldfosfori ja Redfieldi suhted setteproovides.

	Redfieldi suhe	V30al	V30ül	V31al	V31ül	V14	V126	V18	V05
C, %		1,87	1,1	1,87	1,24	0,28	0,78	0,61	0,20
C, mmol/kg		1558	917	1558	1033	233	650	508	167
N, mmol/kg		89	82	89	79	22	31	22	26
P, mmol/kg		21	19	21	17	16	22	16	16
C/N	6,6	17,6	11,2	17,6	13,0	10,9	21,1	23,2	6,4
N/P	16	4,2	4,4	4,2	4,6	1,3	1,4	1,4	1,6
C/P	106	74,3	49,0	74,3	60,4	14,5	30,1	31,5	10,3

Suhteid C:N:P hindas esmakordselt Alfred C. Redfield (Redfield, 1934), kes sai suure hulga meresetete analüüsandmete alusel empiiriliseks väärtuseks ehk Redfieldi suhteks 106:16:1 (molaarsed kontsentratsioonid). Hiljem on andmebaasi täiustatud ja saadud suhte väärtus(t)eks 163:22:1 (Martiny, Vrugt, & Lomas, 2014). Meresetetes oleva orgaanilise süsiniku ja lämmastiku suhteks annavad mõlemad tööd sarnased tulemused – 6.6 ja 7.4 vastavalt. Maismaal kasvavate soontaimede C/N suhe on seejuures suurem 20 –st (Ishiwatari & Uzaki, 1987).

Nagu tabelist (2.2.3.5.) näha, vastas Väikese väina setetes C/N suhe vaid ühes jaamas (V05) Redfieldi suhtele (6,6) ja jäi ülejäänud jaamades vahemikku 10,9 – 23,2.

Tegelikult ei toeta rannikumere tulemused Redfieldi stöhiomeetriat, nt. On (Prah et al., 1994) analüüsinud Columbia jõest ja Washingtoni mandrilavalt võetud setteproove ja leidnud, et C/N suhe küll langeb süvamere suunas, kuid jääb ikkagi oluliselt kõrgemaks Redfieldi suhtest – jäädes vahemikku 12 – 18 mandrilaval (sügavus 55-136 m), 10 -11 nölval (sügavus 387-1004 m) ja 8 -10 süvameres (sügavus 1885 -2617 m). Columbia jõest võetud setteproovides oli C/N suhe vahemikus 10 – 20, keskmine 15. Aleksandra Brodecka-Goluch'i uuringus (Brodecka-Goluch et al., 2013) leiti, et Läänemere Poola sektoris varieerus C/N suhe 6-st kuni 14 -ni.

Käesolevas töös oli üldsüsiniku sisaldus proovides väga madal, jäädes vahemikku 1,1-1,87 % tammiaärsetes jaamades (V30 ja V31), ning 0,2 – 0,78 % kaugemates jaamades, seejuures oli väga madal ka peenfraktsiooni (savi, < 0.002 mm) sisaldus jäädes valdavalt vahemikku 0,1 kuni 1,5 %, vaid jaamas V14 oli peenfraktsiooni sisaldus oluline – 6,6%.

USA Geoloogiaameti ulatuslikus ülevaates USA erinevate piirkondade kohta (Folger, 1972) väidetakse, et süsiniku sisaldus setetes on harva üle 5 %, enamasti on alla 2 % ja väga liivase põhjaga lahtedes võibolla ka alla 1%. Juba mainitud Aleksandra Brodecka-Goluch'i töös (2013) uuriti setteprofiile Läänemere Poola sektoris. Viiest setteprofiilist (35, 40, 50 ja 75 cm) vaid ühes jäi orgaanilise süsiniku sisaldus sügavamates kihtides alla 1%, enamasti oli orgaanilise süsiniku sisaldus sügavamates kihtides vahemikus 2 – 6 %, hilisemat päritolu kihtides 6 – 8 % .

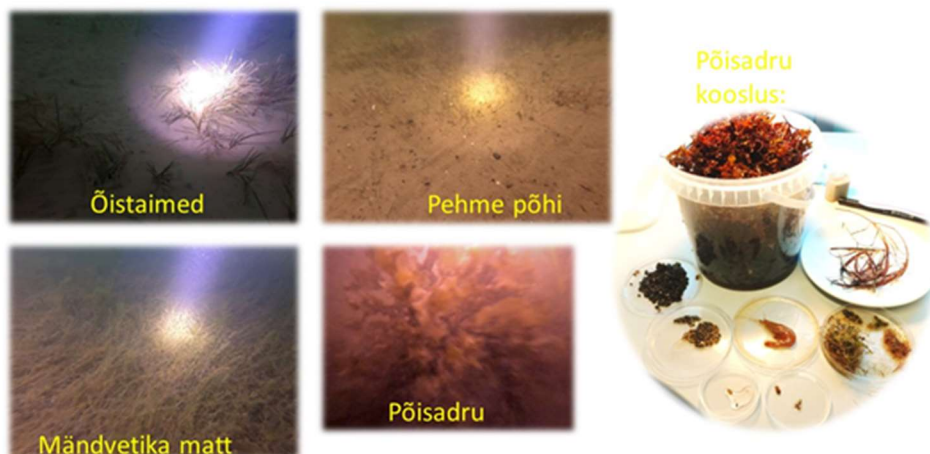
Orgaanilise süsiniku madal sisaldus setetes võib-olla põhjustatud soodsatest tingimustest remineralisatsiooniks (keerulisema struktuuriga molekulid lagunevad lihtsamateks väiksema molekulaaluga ühenditeks) ja mineraalse aine settimiseks - madala sügavuse tõttu on veetemperatuur kõrge ja lahustunud hapnikku piisavalt. Orgaaniline aine on kerge ja satub uuesti ringlusesse. Samuti viitab remineralisatsiooni soodsatele tingimustele setete hallikas värvus, mis näitab, et hapnikku on lagundamiseks piisavalt - hapnikuvaeguse korral on setted musta värvi, sisaldades lagundamata orgaanilist süsinikku.

Kokkuvõtteks võib teha järgmised järeldused:

- 1) Setete ohtliku ainete sisalduse alusel asetub Väike väin suures osas „heasse“ kategooriasse;
- 2) Kuigi ainete sisaldused ei ületa valdavalt sihtarve ja piirnorme, on tammi lähedal näha kõrgendatud raskemetallide, arseeni ja polüaromaatse süsivesinike kontsentratsioonid võrreldes tammist eemale jääva merealaga;
- 3) Piirarvu põhjasettes ületas tammi vahetus läheduses kagus antratsiin. Samas jäid sisaldused selgelt alla sihtarvu pinnases.
- 4) Sihtarvu pinnases ületas tammi vahetus läheduses kagus benso(a)pireeni kontsentratsioonid. Samas jäid sisaldused alla piirarvu nii settes kui pinnases.
- 5) Kõrgendatud raskemetallide ja naftaproduktide kontsentratsioonide taga tammi lähedal on ilmselt tammipealne liiklus.
- 6) Kaadmiumi kontsentratsioon oli üle sihtarvu 2016. a. Muhupoolse ümbersõidu kaare ja maanteevahelistest tiigist võetud proovis. Kontsentratsioon oli siiski selgelt alla piirarvude (tööstusmaal ja elumaal), mistõttu ei loeta setteid oluliselt reostunuks.
- 7) Tammi vahetus läheduses kagus on kontsentratsioonid kõrgemad kui loodes. Kagus ulatuvad kõrgeenenud raskemetallide kontsentratsioonid tammist vähemalt poole km kaugusele.
- 8) Tammi lähedal on settes kolm-neli korda kõrgemad üldlämmastiku kontsentratsioonid võrreldes tammist poole kilomeetri kaugusel ja 6-7 km kaugusel võetud proovidega.
- 9) Avade rajamise käigus setete liigutamise tekkiv heljum ei kujuta uuringu tulemuste alusel merekeskkonnale ohtu.

2.2.4. Põhjaelustik

Piki Väikese väina põhjaelustiku uuringus koguti materjali nii põhjaammutajaga (kvantitatiivsed/kvalitatiivsed punktproovid), kui ka salvestatud video abil, mida hinnati visuaalselt (Joonis 2.2.4.1).



Joonis 2.2.4.1. Väikese väina tüüpilisemad põhjakooslused.

Kahe km ulatuses mõlemal poolt tammi; 0,5-2 m sügavusvööndis, on põhjakooslused üsna sarnased. Selles piirkonnas esineb valdavalt liivane pehme põhi, mida suures osas asustavad tihedalt mändvetikad (*Chara* sp) ja õistaimed nagu kampenikeel (*Stuckenia pectinata*), põhja suurselgrootutest isendite arvult on kõige levinumad rühmad – limused (*Theodoxus fluviatilis*) ja surusäasklased (*Chironomidae*), esineb arvukalt ka invasiivset vöotkirpvähki (*Gammarus tigrinus*).

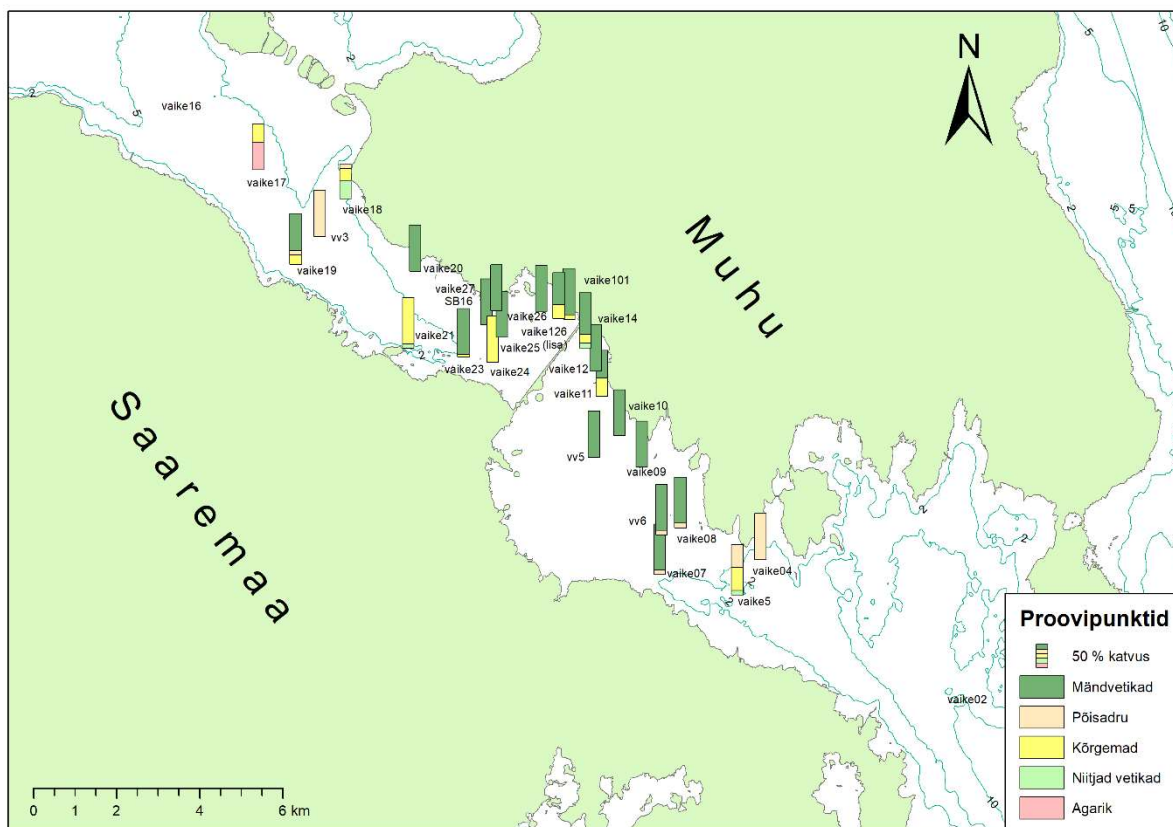
Tabel 2.2.4.1. Suurselgrootute liigid Väikeses väinas käesoleva uuringu põhjaproovidest. Põhjaloomastiku taksonite jaotus eutrofeerumisele tundlikkuse alusel Eesti rannikumeres (klassid 1-3; TÜ EMI, 2017 järgi): 1- iseloomulikud liigid tugevalt eutrofeerunud aladele, 2- liigid, mille esinemine viitab mõõdukale eutrofeerumisele, 3-liigid, mis on iseloomulikud puhastele merepiirkondadele, sest eutrofeerumise suhtes kõige tundlikumad.

Liik; eutrofeerumisele tundlikuseklass	Põhjapool tammi	Lõunapool tammi
<i>Asellus aquaticus</i> ; 2	1	1
<i>Cerastoderma glaucum</i> ; 2	1	1
<i>Chironomidae</i> ; 1	1	1
<i>Corophium volutator</i> ; 2	1	0
<i>Cyanophthalma obscura</i> ; 3	0	1
<i>Gammarus juv</i>	1	1
<i>Gammarus salinus</i> ; 3	1	0
<i>Gammarus zaddachi</i> ; 3	1	1
<i>Gammarus tigrinus</i> ; 2	1	1
<i>Hediste diversicolor</i> ; 2	1	1
<i>Hydrobiinae</i> ; 2	1	1

<i>Idotea baltica</i> ; 2	1	0
<i>Idotea chelipes</i> ; 3	1	1
<i>Idotea juv</i>	1	0
<i>Jaera albifrons</i> ; 3	1	1
<i>Lepidoptera</i> ; 3	1	0
<i>Leptocheirus pilosus</i> ; 2	1	0
<i>Limapontia capitata</i> ; 3	1	0
<i>Limecola balthica</i> ; 2	1	1
<i>Mya arenaria</i> ; 2	1	1
<i>Mytilus trossulus</i> ; 2	1	0
<i>Oligochaeta</i> ; 1	0	1
<i>Palaemon adspersus</i> ; 2	0	1
<i>Piscicola geometra</i> ; 3	1	0
<i>Potamopyrgus antipodarum</i> ; 2	1	0
<i>Theodoxus fluviatilis</i> ; 2	1	1
<i>Trichoptera</i> ; 3	1	0
Kokku liike	24	16

Umbes 5 km tammist nii põhja kui lõuna poole ulatub sügavus kuni 3 meetrini, domineerivad segapõhjad ja esinevad liigirikkad kooslused, mis on moodustatud põisadru (*Fucus vesiculosus*) ja sarnast funktsiooni täitva, aga vähemlevinud Läänemerele endeemse liigi *Fucus radicans* poolt.

Tammist põhja poole veel kaugemale minnes sügavused veelgi suurenevad ja levivad punavetika kooslused, millest valdava osa merepõhja taimestiku katvusest moodustab võtmeliik-mitmeaastane agarik (*Furcellaria lumbricalis*).



Joonis 2.2.4.2. Põhjataimestiku taksonite esinemine ja katvused (%) uuringualal, registreeritud allveevideo abil.

Suurima osa uuritud alast koosneb merelisest elupaigatüübist „Laiad madalad abajad ja lahed“ (loodusdirektiivi elupaigatüübi kood 1160; Paal, 2007). Elupaigatüübi esinemine Väikse Väina piirkonnas on kindlaks tehtud erinevate määramiskriteeriumite järgi (nt. lahe läbimõõt vähemalt ühes suunas > 1 km, sügavus on enamasti ≤ 2 m, lahes puuduvad laialdased põhjataimestikuvaesed (ÜK≤10%) alad; TÜ Eesti Mereinstituut, 2020). Elupaigatüübi hindamiskriteeriumite järgi vastavad heale seisundile nii põhja kui lõunapool tammi asuvad pehme taimestikuvööndi elupaigad (TÜ Eesti Mereinstituut, 2016). Tammi läheduses pehme põhjaga taimestikuvööndis domineerivad katvusega üle 50% mändvetikad (*Chara* sp), mis kuuluvad Läänemere põhjakoosluste võtmeliikide hulka (HELCOM, 2009). Mändvetikad on tavaliselt üheaastased taimed, mis kasvuperioodi lõpus koos õistaimedega surevad. Lagunemise tagajärjel võib madalaveelistes tingimustes oluliselt lokaalselt kasvada biogeeniderikas detriidi kiht ning hapniku sisaldus põhjalähedases kihis võib mõnevõrra langeda. Kõrged toitainete väärtused nii veesambas kui settes ning ka küllastusest madalamad hapniku väärtused registreeriti käesolevas töös.

Sarnaselt varasemate uuringutega, mille käigus tehti transekte ja koguti punktproove Väikse väina akvatooriumis (TÜ Eesti Mereinstituut, 2009), on ka käesolevas uuringus täheldatud liike nii lõuna kui põhjapoolt tammi, mis kuuluvad eutrofeerumise tundlikkuse suhtes kolme eriklassi (Tabel 2.4.2.1). Uuritud Väikese väina veekogumis leiti 27 põhjaloomastiku liiki, neist 13 esinesid mõlemal pool Väikese väina tammi, 11 vaid põhjapool ning kolm liiki vaid lõunapool. See tähendab, et väina põhjaosa oli zoobentose liikide poolest mitmekesisem kui lõunaosa, vastavalt 24 ja 16 liiki (Tabel 2.2.4.1).

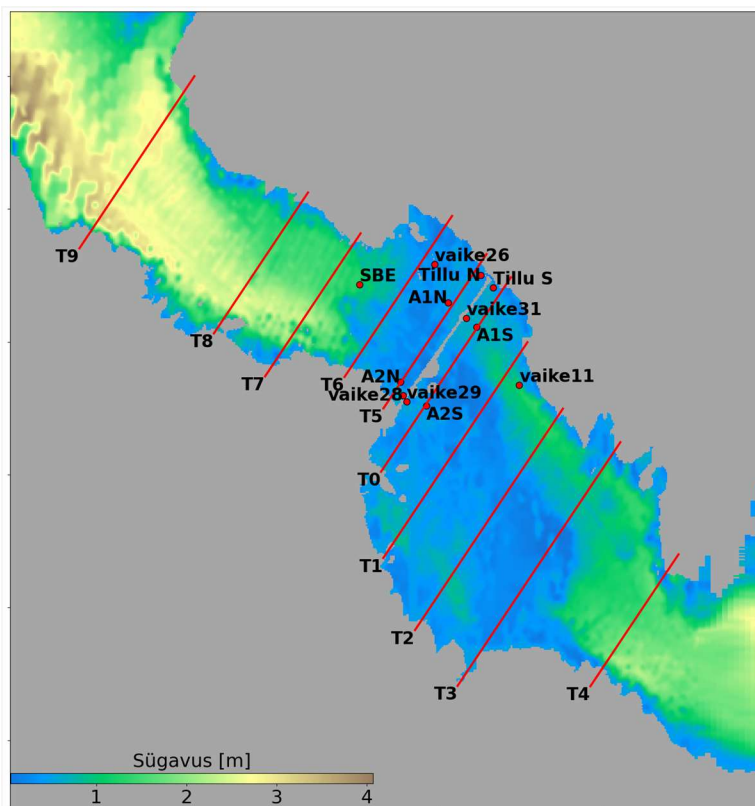
Liikide osakaal, mis kuuluvad tundlikkuse klassi 2 (nt. karbid, vähilaadsed, limused) ehk on iseloomulikud mõõdukalt eutrofeerunud aladele, oli kõige suurem. Samas, põhjapool tammi leiti rohkem liike, mis kuuluvad tundlikkuse klassi 3 (sh kalakaan (*Piscicola geometra*), kojata tigu (*Limapontia capitata*), puruvana seltsi esindajad (*Trichoptera*). Need liigid on iseloomulikud puhastele merepiirkondadele, sest on eutrofeerumise suhtes kõige tundlikumad. Riikliku rannikumere seire käigus kogutud andmetest (TÜ Eesti Mereinstituut, 2013) selgub, et ka lõunapool tammi saavad potentsiaalselt esineda mõned 3

tundlikkuse klassi liigid (nt Trichoptera). Põhjapool tammi esines kaheksa liiki, mis on iseloomulikud puhastele merealadele. Tammist lõunas esines selliseid liike vaid neli.

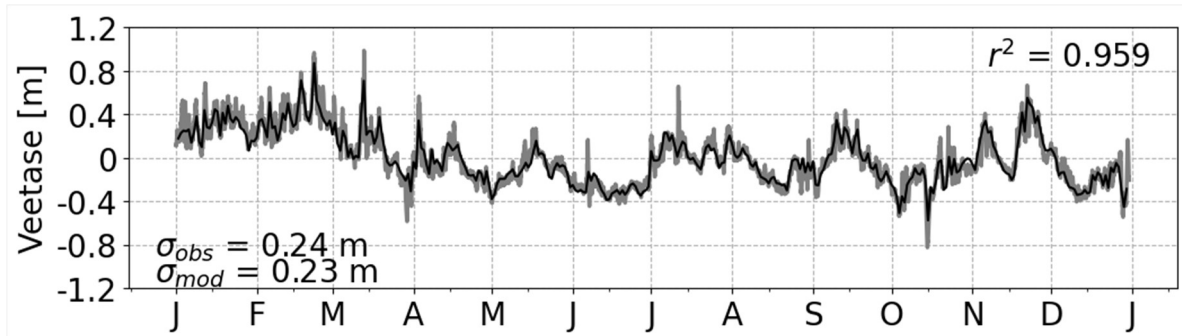
Rannakarbi (*Mytilus trossulus*), kes filtreerijana täidab tähtsat ökoloogilist funktsiooni, esinemine väina põhjaosas (jaamad vv3, vaike17), näitab, et see Väike väina osa on hüdrodünaamiliselt aktiivne süsteem, kus veevahetus Väinamere merepiirkonnaga toetab lokaalset bentilise produktiooni. Sama on leitud ka varasemates uuringutes (TÜ Eesti Mereinstituut, 2009). Samas lõunapool tammi, kus on täheldatud põhjakooslustes kõrge produktioon, olid arvukuse ja biomassi dominantliikideks suurselgrootutest mobiilsed herbivoorid-teod, kes on iseloomulikud mõõdukalt eutrofeerunud aladele.

2.2.5. Füüsika mudeli *GETM* valideerimine

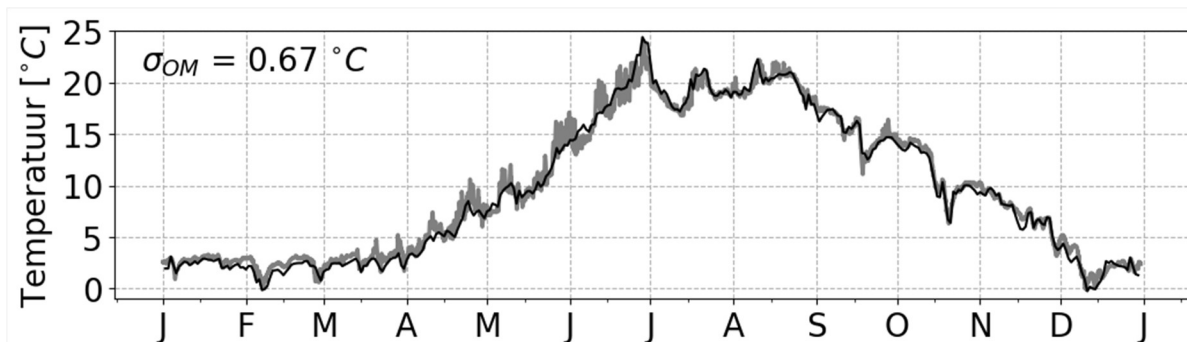
Füüsika mudeli *GETM* valideerimiseks kasutati CEMS andmebaasist saadud veetasemete ja temperatuuri andmeid Virtsu mõõtmisjaamast (vt Joonis 2.1.5.1) ning Väikeses väinas teostatud temperatuuri ja soolsuse mõõtmiste andmeid (Joonis 2.2.5.1). Joonisel 2.2.5.2 on toodud veetaseme aegrida Virtsu mõõtmisjaamas. Modelleeritud veetaseme on väga hästi reprodutseeritud, determinatsioonikordaja r^2 on 0,96 ning mõõdetud ja modelleeritud veetasemete varieeruvus (standardhälbed) erineb 1 cm võrra. Joonistel 2.2.5.3 ja 2.2.5.4 on toodud mere pinnatemperatuuri aegread Virtsu mõõtmisjaamas ning Väikese väina põhjapasseini keskel asuvast SBE jaamast (vt Joonis 2.2.5.1). Mõlema jaama mõõtmisandmetest nähtub, et mudel on võimeline temperatuuri kõrge täpsusega reprodutseerima, mõõdetud ja modelleeritud temperatuuri rea vahelised standardhälbed on 0,67 ja 0,59 °C.



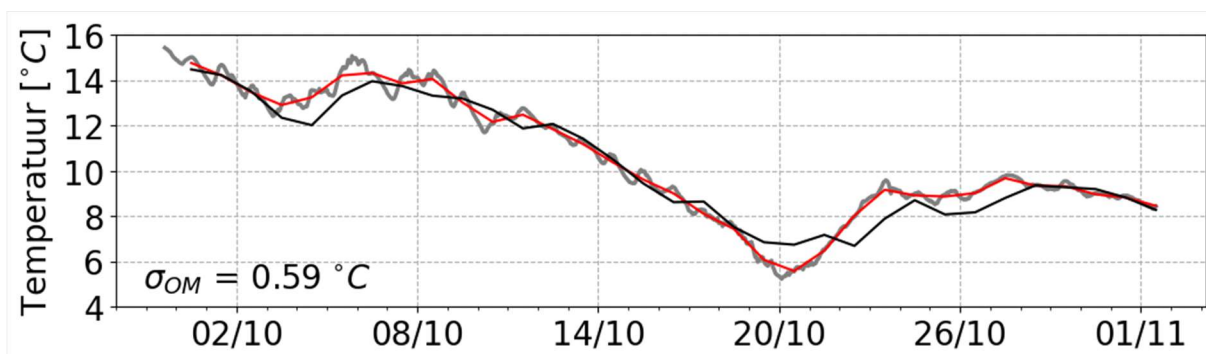
Joonis 2.2.5.1. Mudeli valideerimiseks kasutatud mõõtmisjaamade asukohad Väikese väina tammi ümbruses: SBE, Väike 26, 28, 29, 31 ja 11. Füüsikaliste ja biogeokeemiliste parameetrite muutuste analüüsiks on mudelisüsteemi andmetest tehtud väljavõtted punktides Tillu N, Tillu S, A1N, A1S, A2N ja A2S. Joonisel on toodud ka Väikese väina ristlõiked (T0-T9), läbi millede arvutati transport. Värvuskaala näitab mere sügavust meetrites.



Joonis 2.2.5.2. Mõõdetud (hall joon, intervall 1 h) ja modelleeritud (must joon, intervall 12 h) veetasemete aegread Virtsu mõõtmisjaamas 2020. aastal. All vasakus nurgas on mõõdetud (12 h intervall) ja modelleeritud veetasemete aegride standardhälbed ning üleval paremas nurgas determinatsioonikordaja r^2 .



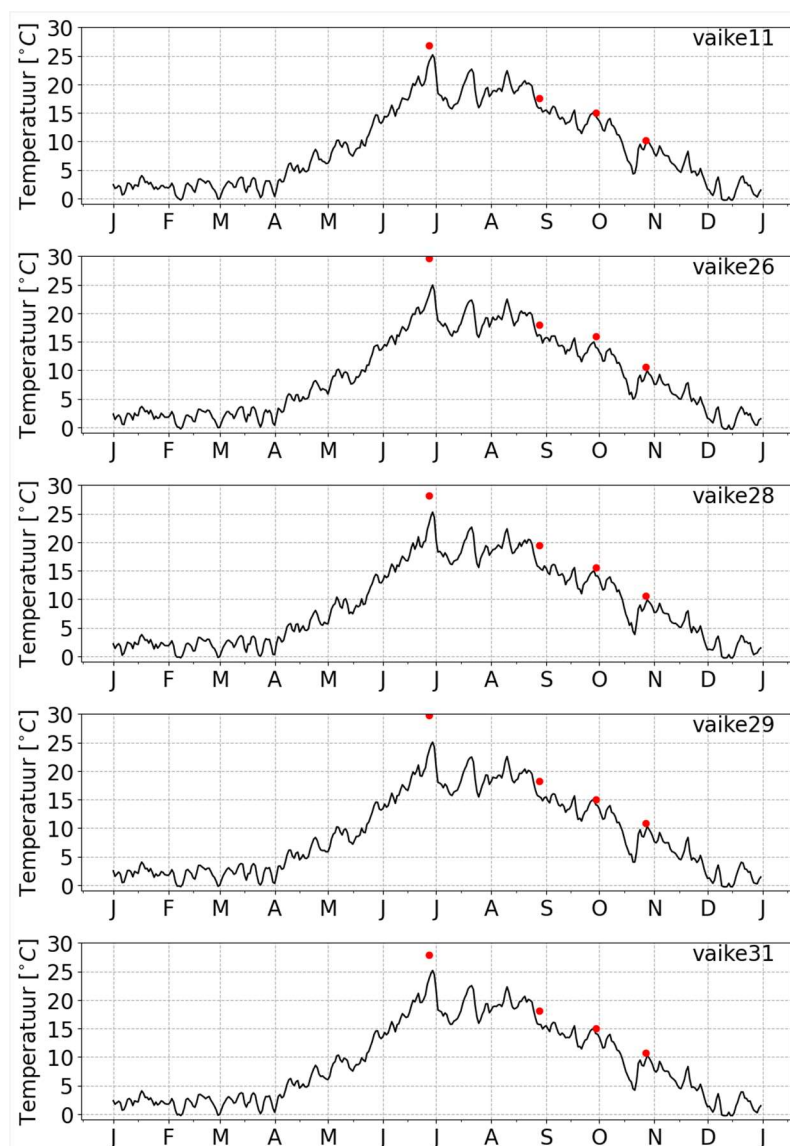
Joonis 2.2.5.3. Mõõdetud (hall joon, intervall 1 h) ja modelleeritud (must joon, intervall 24 h) temperatuuri aegread Virtsu mõõtmisjaamas 2020. aastal. Üleval vasakus nurgas on toodud mõõdetud ja modelleeritud temperatuuri aegride (24 h intervall) vahe standardhälve.



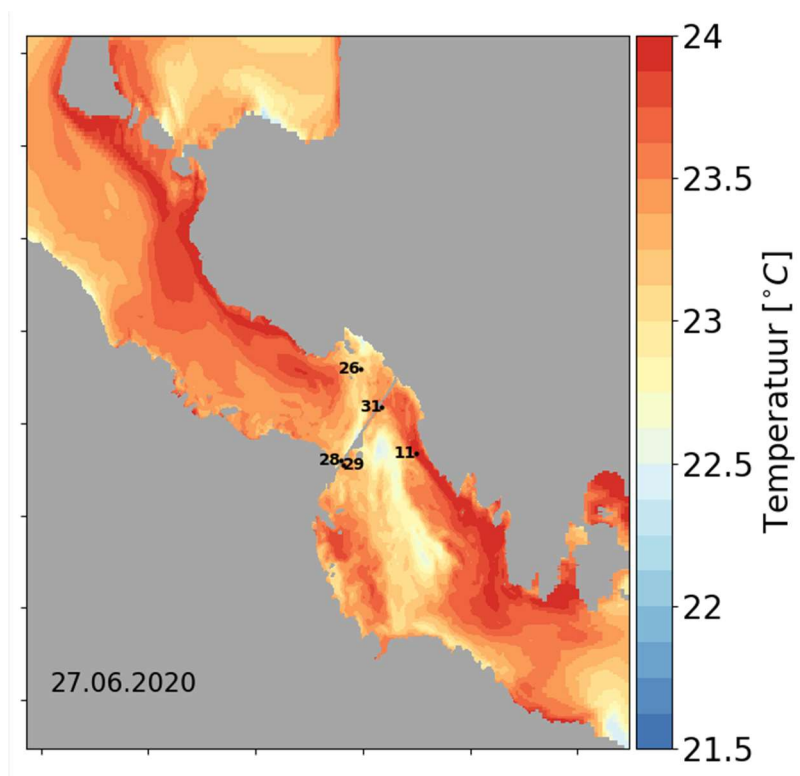
Joonis 2.2.5.4. Mõõdetud ja modelleeritud mere pinnatemperatuuri aegread SBE jaamas perioodil 31 oktoober – 2 november 2020. Hall joon tähistab sondiga SBE16 mõõdetud temperatuuri (3 h intervalliga), must ja punane joon tähistavad vastavalt mudeli ja vaatlusandmete päeva keskmisi.

Statistikuna on toodud all vasakus nurgas vaatlusandmete ja mudeli temperatuuri ööpäeva keskmiste ridade vahe standardhälve.

Järgnevalt võrdleme mõõdetud ja modelleeritud mere pinnatemperatuure tammilähedastes jaamades (vt. Joonis 2.2.5.1). Joonisel 2.2.5.5 on toodud modelleeritud päeva keskmise temperatuuri aegread koos mõõtmisandmetega. Üldiselt on kokkulangevus väga hea, suuremad erinevused on 27. juunil madalates jaamades (sügavus <1 m, vaike 26, 28, 29 ja 31) kui mõõdetud ja modelleeritud merevee temperatuur on kõige kõrgem. Tuleb arvestada, et mudeli temperatuurid on päeva keskmised ja mõõdetud temperatuurid on hetkelised väärtused. Temperatuuris on väga suur ööpäevane muutlikkus (vt Joonised 2.2.2.7– 2.2.2.10). Jooniselt 2.2.5.6 on näha, et mere pinnatemperatuuri ruumiline muutlikkus Väikeses väinas on 27. juunil olnud suhteliselt suur. Võrdlus temperatuuri mõõtmistega Väikeses väinas 27. juunil (Joonis 2.2.2.1) näitab, et kokkulangevus väina sügavamates osades on parem. Võrdlus mõõtmisandmetega näitab, et simuleeritud aegridades on ööpäevane muutlikkus väiksem, kohati kuni $\pm 0,5$ °C.

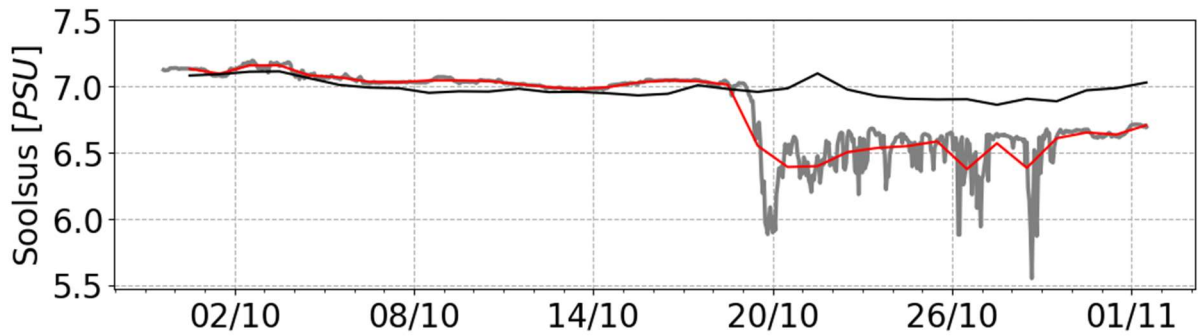


Joonis 2.2.5.5. Modelleeritud mere pinnatemperatuuri aegread (must joon, päeva keskmised) ja mõõdetud (punased täpid) mere pinnatemperatuurid tammilähedastes jaamades 2020. aastal.

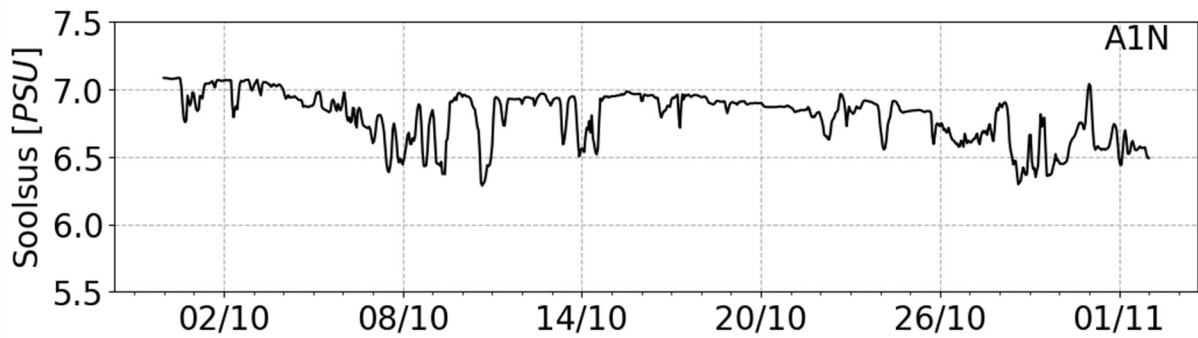


Joonis 2.2.5.6. Mere pinnatemperatuuri jaotus kõrglahutusega piirkonnas 27. juunil 2020.

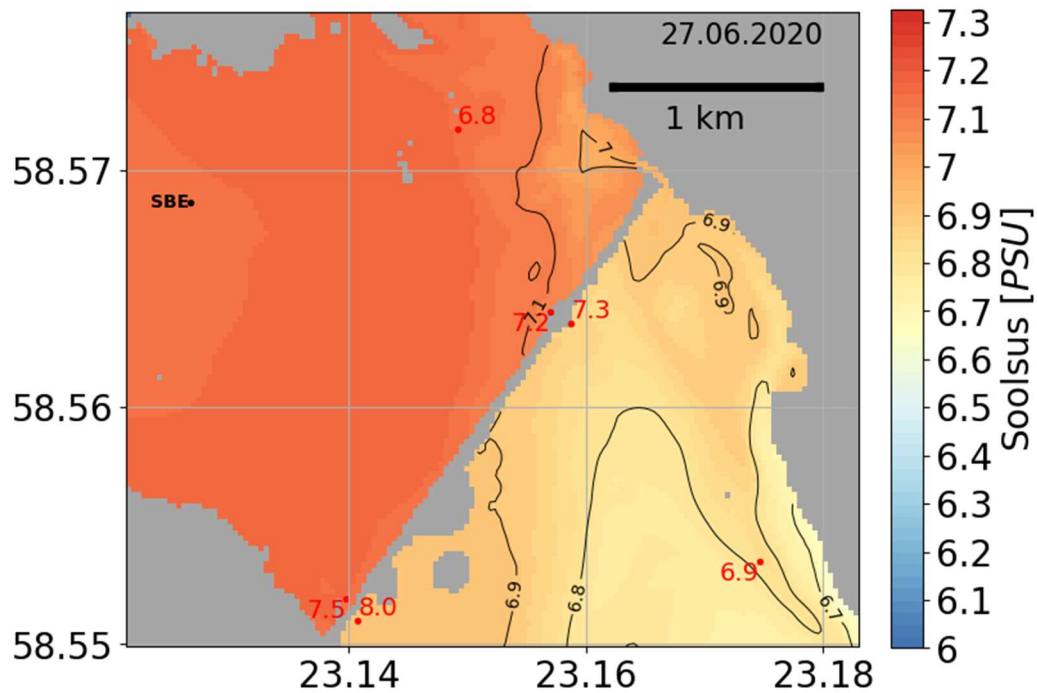
Järgnevalt võrdleme modelleeritud ja mõõdetud mere pinnakihi soolsuse aegridasid Väikeses väinas, loodebasseinis asuvas SBE jaamas. Joonis 2.2.5.7 on toodud soolsuse aegrida SBE jaamas perioodil 31 oktoober–2 november 2020. Modelleeritud ja mõõdetud soolsuse aegread langevad väga hästi kokku kuni 19. oktoobrini. Perioodil 19. oktoober–1. november ületab modelleeritud ööpäeva keskmine soolsus mõõdetud soolsuse ööpäeva keskmist soolsust ligikaudu 0,5 PSU. Sel perioodil on 1-h intervalliga mõõdetud soolsuse aegrea varieeruvus oluliselt suurem kui mõõdetud ja modelleeritud soolsuse päeva keskmiste ridade varieeruvus. Vaatlusandmetes esinevad lühiajalised suured soolsuse muutused. Jaamas A1N (vt. asukoht joonisel 2.2.5.1) on mudeli andmetest soolsuse väljavõte ka 1-h sammuga (Joonis 2.2.5.8). Jooniselt on näha, et mudel lahutab ka lühiajalist soolsusvälja muutlikkust. Edasi vaatleme, kuidas kirjeldab mudeli simulatsioon soolsuse ruumilist jaotust võrdluses mõõtmisjaamade andmetega. Joonisel 2.2.5.9 on toodud modelleeritud pinnakihi päeva keskmise soolsuse jaotus väinatammi piirkonnas 27. juunil. Jooniselt on näha, et tammilähedastes jaamades mudel alahindab pinnakihi soolsust. Joonisel 2.2.5.10 on toodud modelleeritud pinnakihi päeva keskmise soolsuse jaotus 27. oktoobril. Jooniselt on näha, et läbi Tillunire väina põhjabasseini tulev magedam vesi on küll mudeli arvutustes näha, kuid see ei levi jaamani SBE. Selle põhjuseks võib olla, et mudel mõnevõrra alahindab veevahetust läbi Tillunire. Jooniselt 2.2.5.11 on näha, et Tillunires perioodil 6. august–14. oktoober 2020 mõõdetud hoovuse kiiruse päeva keskmine moodul on üldiselt suurem, kui mudeli puhul. Perioodi keskmine modelleeritud hoovuse kiiruse moodul on 23% väiksem kui mõõdetud hoovuse kiiruse moodul. Teine põhjus võib olla, et mudel pole suutnud täielikult reprodutseerida tsirkulatsiooni lokaalseid mustreid.



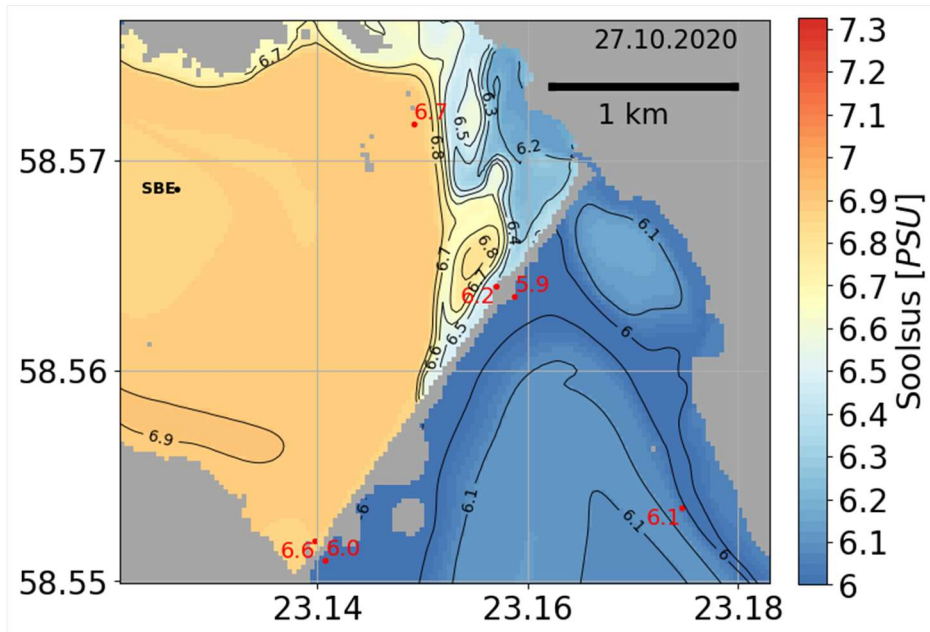
Joonis 2.2.5.7. Mõõdetud ja modelleeritud pinnakihi soolsuste aegread SBE jaamas (vt Joonis 2.2.5.1) perioodil 29.09–2.11.2020. Hall joon tähistab sondiga SBE16 mõõdetud soolsuse aegrida (1-h intervalliga), must ja punane joon tähistavad vastavalt modelleeritud ja mõõdetud soolsuste päeva keskmiste aegridasid.



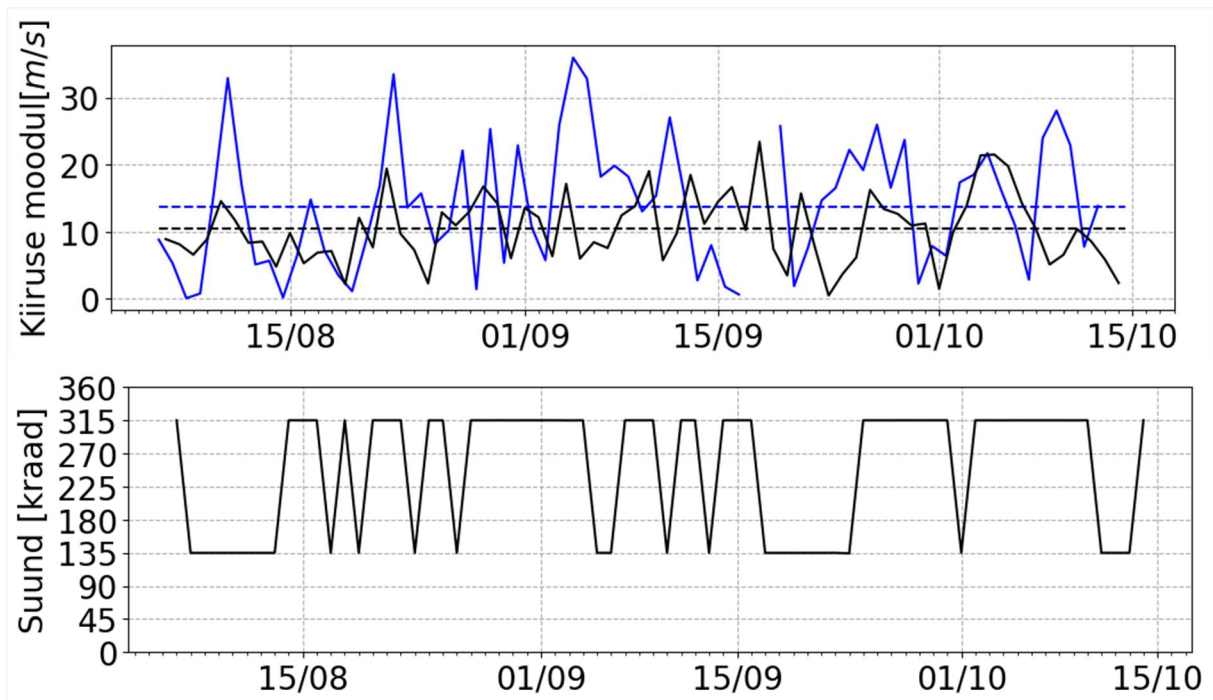
Joonis 2.2.5.8. Modelleeritud pinnakihi soolsuste aegrida jaamas A1N (vt Joonis 2.2.5.1) perioodil 29.09–2.11.2020.



Joonis 2.2.5.9. Modelleeritud pinnakihi soolsuse jaotus väinatammi piirkonnas 27. juunil 2020. Mustad samaväärtusjooned kujutavad modelleeritud soolsuse väärtusi, punaste punktidega on tähistatud mõõtmisjaamad ja on toodud mõõdetud väärtused. Must paks joon näitab ruumimastaapi.



Joonis 2.2.5.10. Modelleeritud pinnakihi soolsuse jaotus väinatammi piirkonnas 27. oktoobril 2020. Mustad samaväärtusjooned kujutavad modelleeritud soolsuse väärtusi, punaste punktidega on tähistatud mõõtmisjaamad ja on toodud mõõdetud väärtused. Must paks joon näitab ruumimastaapi.

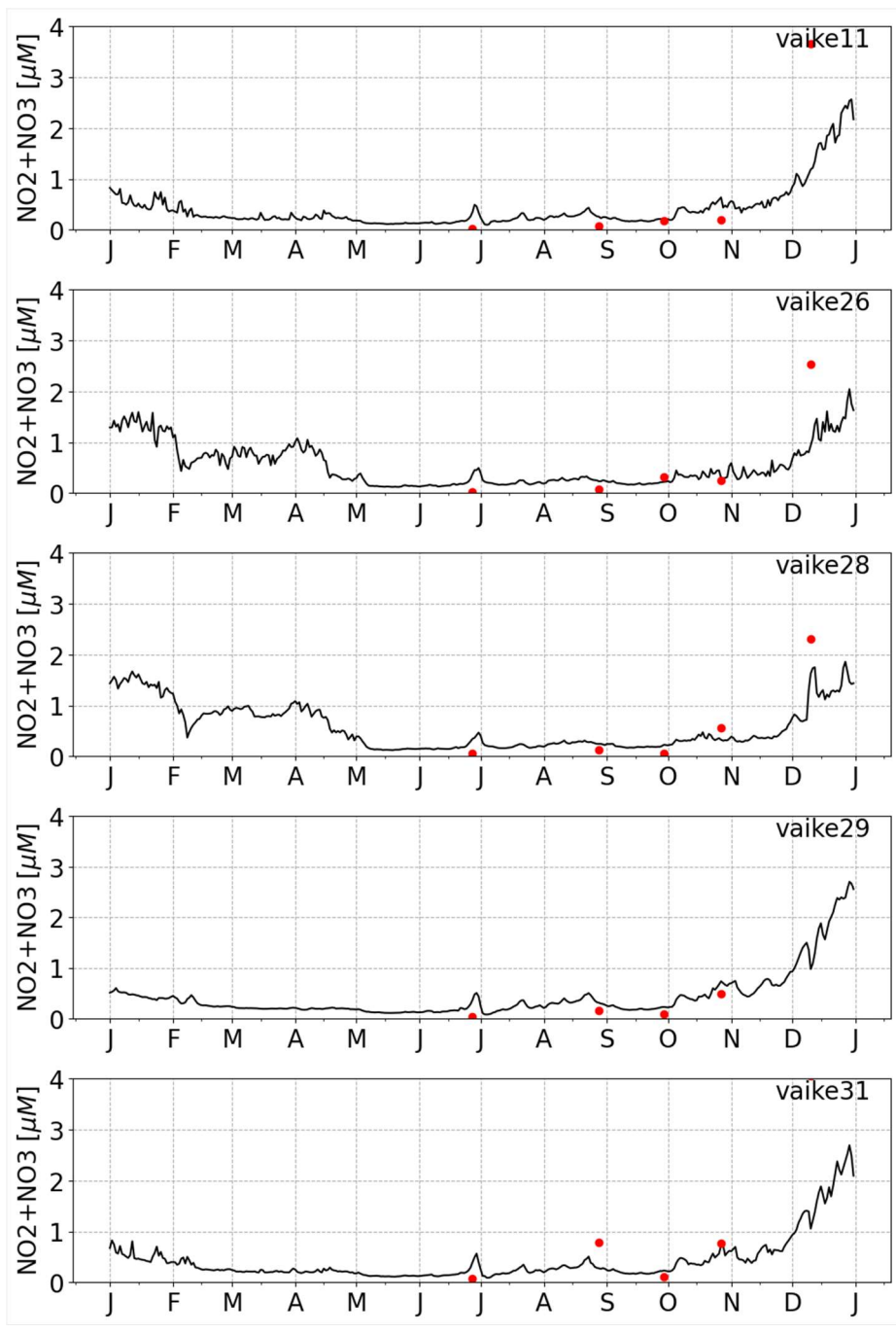


Joonis 2.2.5.11. Ülemine paneel: Mõõdetud (sinine joon) ja modelleeritud (must joon) hoovuse kiiruse päeva keskmine moodul Tillunires perioodil 6.08–14.10.2020. Horisontaalsed jooned tähistavad mõõdetud ja modelleeritud hoovuse kiiruse mooduli perioodi keskmist. Alumine paneel: modelleeritud hoovuse päeva keskmine suund.

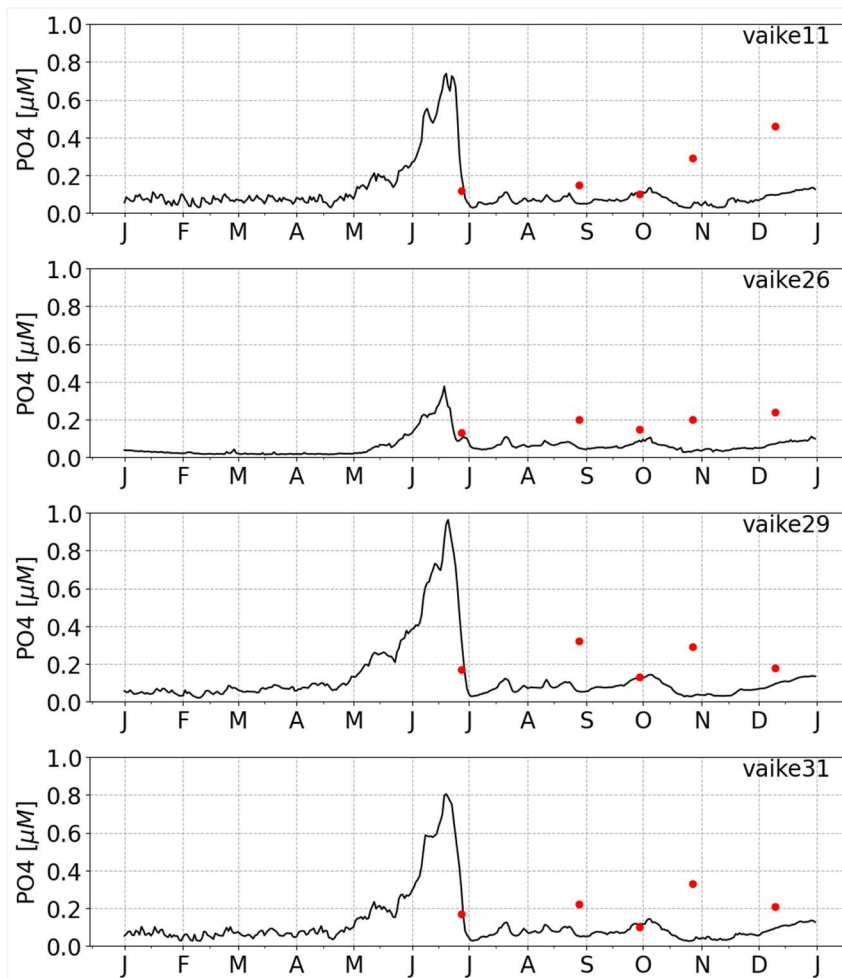
2.2.6. Biogeokeemilise mudeli *ERGOM* valideerimine

Järgnevalt võrdleme mudeli *ERGOM* simulatsiooni anorgaaniliste toitainete, üldlämmastiku ja üldfosfori andmeid mõõtmisandmetega Väikese väina tammilähedases piirkonnas. Joonistel 2.2.6.1 ja 2.2.6.2 on toodud anorgaaniliste toitainete (NO_3+NO_2 ja PO_4) mudeli *ERGOM* simulatsiooni andmete võrdlus mõõtmisandmetega. Joonistelt on näha, et kokkulangevus on üldiselt hea. Kõige suuremad erinevused mudeli ja mõõtmiste vahel on detsembris jaamas Väike11. Joonisel 2.2.6.3 on toodud üldlämmastiku aegread koos mõõtmisandmetega väina tammilähedastes jaamades. Üldiselt mudel alahindab üldlämmastiku kontsentratsioone ja modelleeritud aegrea muutlikkus on väiksem kui mõõdetud üldlämmastiku väärtustel. Parem kokkulangevus on Väinamere poolsetes jaamades Väike 26 ja 28. Joonisel 2.2.6.4 on toodud üldfosfori aegread koos mõõtmisandmetega väina tammilähedastes jaamades. Modelleeritud üldfosfori kontsentratsiooni ajaline käik on sarnane üldlämmastiku kontsentratsiooni muutustega. Samuti on kokkulangevus mõõtmisandmetega parem Väinamere poolses osas, jaamad Väike 26 ja 28.

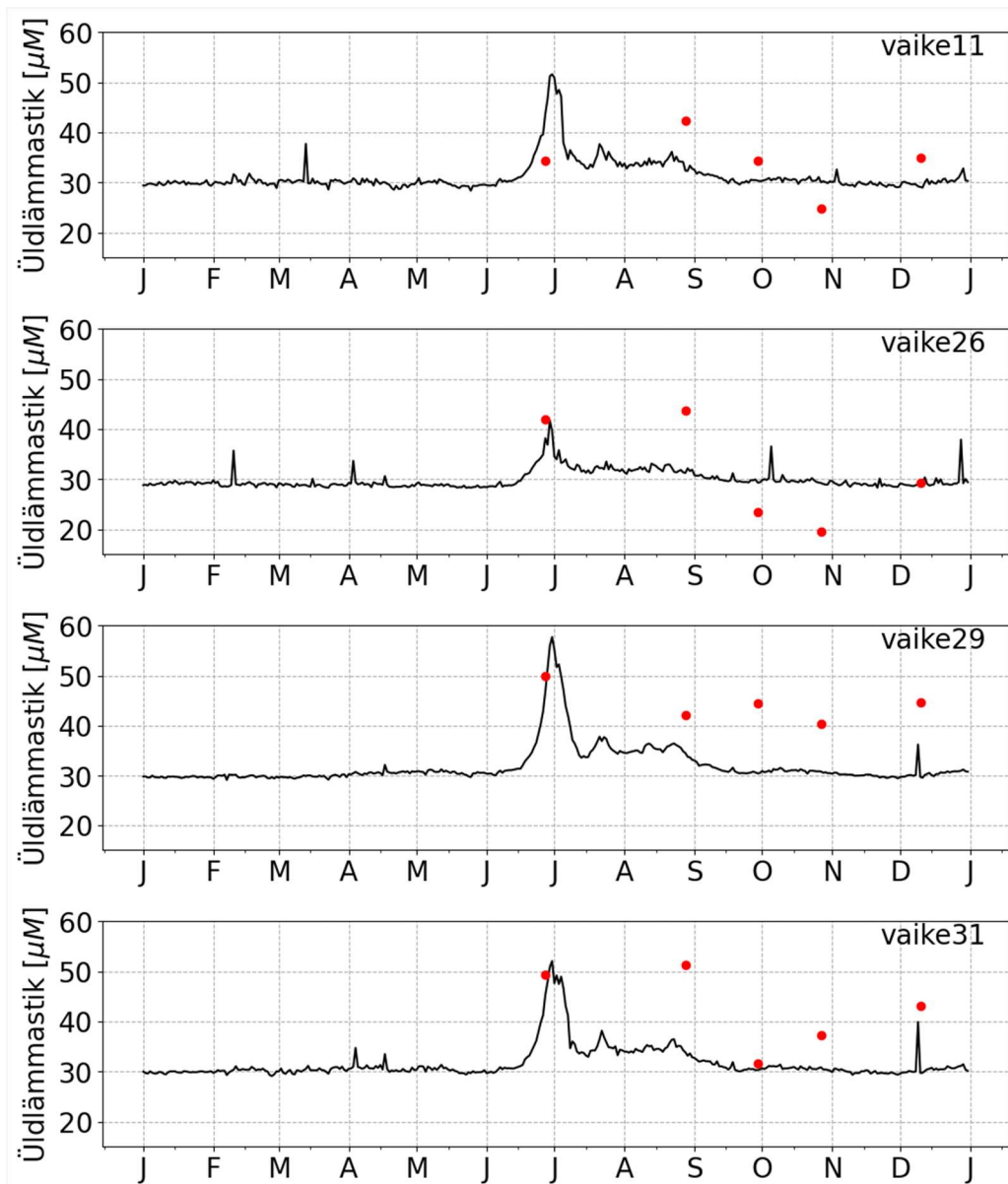
Väikese väina piirkonnas ei ole viimastel aastatel riikliku seire raames teostatud toitainete mõõtmisi, seetõttu sai kasutada ainult projekti raames teostatud mõõtmiste andmeid. Täiendavalt võib lisada, et projekti 'Siseveekogude ja mere veenormide vahelised seosed ja võrreldavus' (Tallinna Tehnikaülikool, 2021) raames valideeriti mudelsüsteemi *GETM+ERGOM* Pärnu, Muuga-Tallinna-Kakumäe ja Narva-Kunda lahe jaoks 8 aastase arvutuse ja mõõtmisandmete baasil. Tulemused näitasid, et ökoloogia mudel *ERGOM* võimaldab edukalt modelleerida parameetrite ajalis-ruumilist muutlikkust; mõõtmistega kalibreeriti modelleeritud üldainete sisaldust.



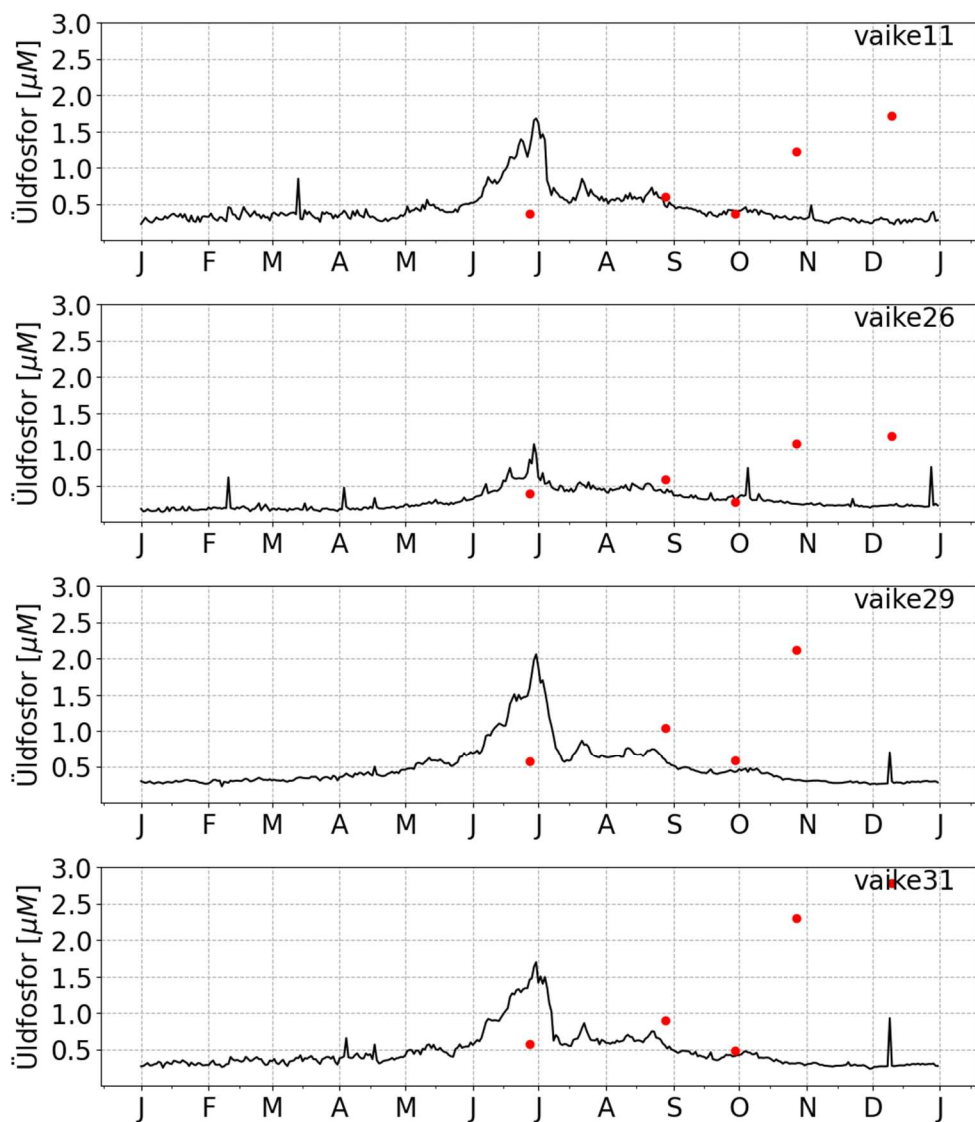
Joonis 2.2.6.1. Modelleeritud NO₂ ja NO₃ päeva keskmiste kontsentratsioonide aegraad (must joon) ja mõõdetud kontsentratsioonid (punased täpid) tammilähedastes jaamades 2020. aastal.



Joonis 2.2.6.2. Modelleeritud PO4 päeva keskmiste kontsentratsioonide aegraad (must joon) ja mõõdetud kontsentratsioonid (punased täpid) tammilähedastes jaamades 2020. aastal.



Joonis 2.2.6.3. Modelleeritud üldlämmastiku päeva keskmiste kontsentratsioonide aegread (must joon) ja mõõdetud kontsentratsioonid (punased täpid) tammilähedastes jaamades 2020. aastal.



Joonis 2.2.6.4. Modelleeritud üldfosfori päeva keskmiste kontsentratsioonide ägread (must joon) ja mõõdetud kontsentratsioonid (punased täpid) tammilähedastes jaamades 2020. aastal.

2.2.7. Kalastik

Kalastiku koosseis sügisperioodil

Tulenevalt sügispüükide eesmärgist selgitada välja kohaliku siiapopulatsiooni säilinud koelmualade asukohad kasutati üksnes suuremasilmalistest (38-50 mm) nakkevõrkudest koosnevaid seirejaamu. Seetõttu tabati valdavalt suuremate mõõtmetega kalaliike ja mitmed kevadpüükides arvukalt esinenud väiksemad liigid (näiteks kiisk, särg ja viidikas) võrkudesse ei sattunud. Vaatamata sellele oli sügispüükide saak küllaltki liigirikas – kokku registreeriti 9 erinevat liiki kalu.

Sügispüükide puhul saab täheldada suuri erinevusi põhja- ja lõunapoolse ala kalasaakides – tammist lõunasse jäävates seirejaamades oli kalu arvuliselt 8,2 korda vähem ja biomassilt 6,7 korda vähem kui põhjapoolsetes jaamades. Liigilise mitmekesisuse erinevused siiski nii suured polnud – põhjapoolsel alal esinesid kõik registreeritud 8 liiki, lõunapoolsel alal 5 liiki. Lest, luts ja säinas esinesid vaid põhjapoolsel alal, samuti oli siin arvukam mereliik räim.

Sügispüükides domineerisid mageveeliigid haug ja säinas. Haugi arvukuse osakaal oli 29 % ja biomass koguni 52 % kogusaagist. Säina puhul olid vastavad näitajad 20 % ja 15 %. Kolmandale kohale jäid erinevad siid üheskoos võetuna – arvukus 15 % ja biomass 16 % kogusaagist.

Nii põhja- kui lõunapoolsel alal tehti kindlaks mõlema liigi – merisiia ja siirdesiia esinemine. Püütud merisiidid olid jooksva niisaga isaskalad – seega leidis kinnitust liigi tänapäevaste koelmute olemasolu kummalgi pool Väinatammi. Kudevaid merisiigu esines põhjapoolsel alal võrgujaamades Muhu Koguva külast lõunakagus ja Rootsivere külast lõunas paiknevatel kivistel ja kruusastel madalikel (jaamad 3 ja 4). Lõunapoolsel alal leiti kudevaid merisiigu Aljava külast läänes asuvalt kruusaselt madalikult. Kolme tabatud siirdesiia puhul oli tegemist samal sügisel kudemist vahele jätvate toitumisrändel olevate kaladega, kes suure tõenäosusega olid pärit Soome vetest. Siirdesiidid olid toitunud kirpvähilistest, tigudest, karpidest ja surusääsklaste vastsetest.

Arvatavad kruusased koelmualad, mille juurest kudemisvalmis merisiidid tabati, olid esialgsel visuaalsel vaatlusel küllaltki heas seisukorras – mudastumise määr vähene ja taimestik hõre. Siiski saab sügispüükide käigus kogutud andmete põhjal hinnata vaid säilinud kudemisalade ligikaudset oletatavat paiknemist, mitte nende täpseid koordinaate ega pindala.



Foto 2.2.7.1. Sügisedes seirepüügid Väikeses väinas 28.11.2020. Pildil on näha põhja- ja lõunapoolset väinaosa ühendav Muhu rannikul paiknev Tillunire kanal.

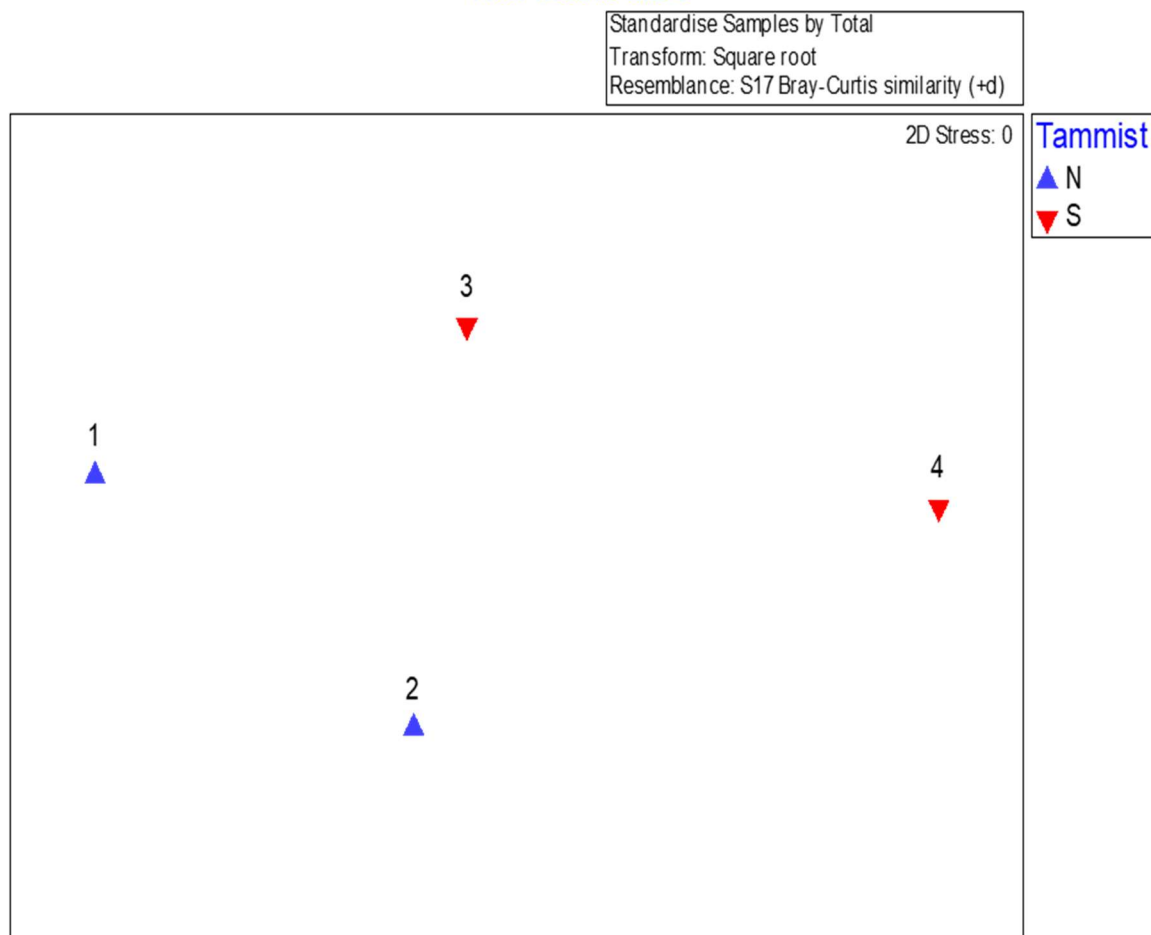
Väikeses väinas tammi läbivoolu piirkonnas toimunud kevadiste püükide käigus tabati nakkevõrkudega kokku 515 kala 13 erinevast liigist. Valdavalt koosnes kohalik kalastik karpkalalaste e. karpplaste ja ahvenlaste sugukonda kuuluvatest mageveeliikidest. Merekaladest esines üksikute isenditena kilu ja lesta, siirdekaladest oli tavaline meritint.

Arvukuselt domineeris ahven, moodustades 30 % püütud kalade üldarvust. Ahvenale järgnesid viidikas (19 %), kiisk (18 %) ja hõbekoger (11 %). Olulise osa kalastikust moodustasid veel meritint (8 %) ja särge (7 %), tavalised olid ka haug (3 %) ja säinas (2 %). Üksikute eksemplaridena esines kilu, nurgu, lesta ja merisiiga, nende liikide osatähtsus jäi kõigil liikidel alla 1 % piiri. Kevadpüükide käigus registreeriti ka ogaliku esinemine võrku takerdunud üksikute isenditena. Tuleb aga arvesse võtta kasutatud seirevõrkude ebasobivust selle väikesemõõtmelise kala püüdmiseks, liigi tegelik osatähtsus piirkonna kalastikus on kindlasti suurem kui seirepüügid näitasid. Sama saab öelda ka teiste tillukeste kalaliikide – peamiselt mõnede mudillaste ja merinõellaste sugukondade esindajate kohta – need liigid jäävad standartsete rannikumere seirejaamade kasutamisel üldjuhul registreerimata.

Kalastiku biomassist moodustas põhiosa suurekasvuline mageveeline liik hõbekoger (37 % püütud kalade kogumassist), kes võõrliigina saabus Väikese väina piirkonda alles sajandivahetuse paiku ja on leidnud endale siinses madalas ja kiirelt soojenevas vees soodsad elutingimused. Järgnesid ahven (29 %), haug (19 %) ja säinas (6 %). Suure arvukusega, aga väiksemate mõõtmetega liikide nagu kiisa, särge ja viidika osakaalud biomassis jäid suhteliselt tagasihoidlikuks (liigiti 1-3 %). Merisiiga osakaal biomassist moodustas 2 % tänu põhjapoolselt alalt püütud ühele suurele (täismass 1929,6 g) isendile. Kilu, lesta, meritindi ja nuru osatähtsus kalastiku biomassist jäi liigiti kõigil alla 1 %.

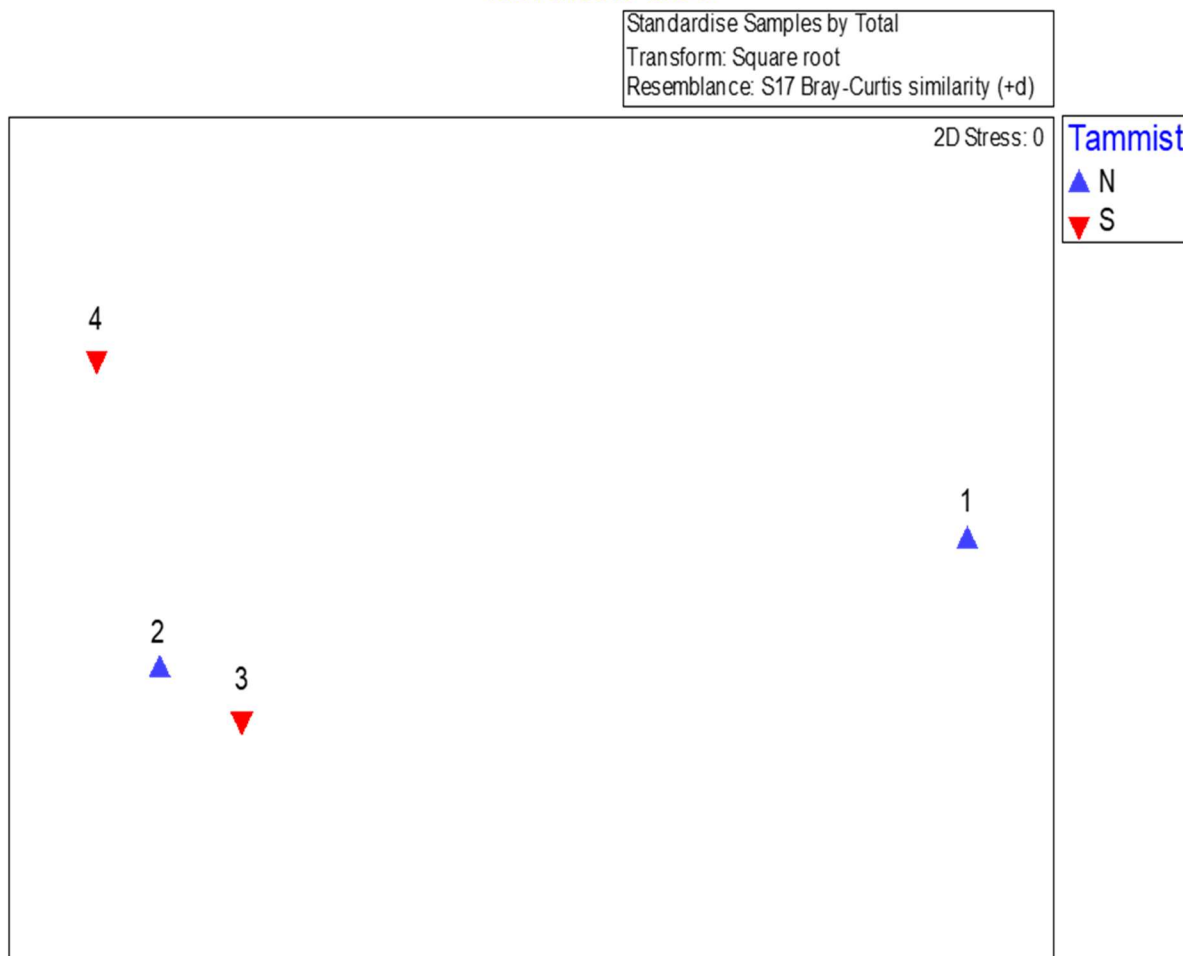
Põhja- ja lõunapoolse osa kalastiku üldine koosseis oli kevadpüükides üldjoontes küllalt sarnane ja statistilise koondanalüüsi käigus leitud erinevused olid väikesed. Jaamade paiknemisel põhja- või lõunapoolsel alal ei ilmnenud statistiliselt usaldusväärset seost jaamades vaadeldud kalastiku arvukusepõhisele (CPUE) struktuurile ($R=0,25$; $P=0,333$). Ehk teisisõnu, kalastiku struktuuri varieeruvus põhja- ja lõuna pool tammi oli sisuliselt samaväärne erinevate piirkondade sisese jaamade vahelise varieeruvusega (Joonised 2.2.7.1 ja 2.2.7.2). Nõnda põhines ka Väikese väina tammist põhja- ja lõunapool asunud jaamade vaheline võrdlemisi madal erisusindeks (Bray-Curtise erisusindeks = 21,86) eelkõige viidika ja ahvena arvukuste varieerumisel. Samuti ei leitud statistiliselt usaldusväärset seost seirejaamade paiknemise ja kalastiku biomassipõhise (WPUE) struktuuri vahel ($R=0,25$; $P=1,00$). Madal Bray-Curtise erisusindeks (17,14) põhines eelkõige säina ja ahvena arvukuste varieerumisel põhja- ja lõunapoolsete alade vahel.

Non-metric MDS



Joonis 2.2.7.1. Registreeritud isendite arvukuse (CPUE) alusel koostatud jaamade (tähistatud arvudega) kalastike struktuurid MDS graafikul. Punktide vaheline kaugus iseloomustab proovide liigilise koosluse struktuuride vahelisi erinevusi. Jaamade vaheline kaugus ei erine tammist lõuna- ja põhjapool paiknevate jaamade vahelisest erisusest.

Non-metric MDS



Joonis 2.2.7.2. Registreeritud isendite biomassi (WPUE) alusel koostatud jaamade (tähistatud arvudega) kalastike struktuurid MDS graafikul. Punktide vaheline kaugus iseloomustab proovide liigilise koosluse struktuuride vahelisi erinevusi.

Siiski esines varieeruvusi mõningate liikide kevadises paiknemises eraldi võetuna. Ahvena saagikus (CPUE) tammist lõuna pool paiknevates seirejaamades oli 52 isendit jaama kohta, samas kui põhjapoolsel alal püüti ühe jaamaga keskmiselt 25 isendit. Haug ja säinas olid arvukamad põhjapoolsel alal. Haugil oli põhjapoolsel alal CPUE väärtus 6,5 lõunapoolse 2,5 vastu ja säinal olid vastavad väärtused 4,5 ja 1,5. Hõbekoger, kiisk, meritint, särng ja viidikas olid praktiliselt sarnaselt esindatud kummalgi pool Väinatammi. Kilu, lesta ja merisiiga tabati vaid põhjapoolselt ja nurgu vaid lõunapoolselt alalt.

Võrreldes käesoleva uuringu tulemusi varasemate, 2008. aasta kevadel Väikse väina tammi lõunapoolsel küljel Nenu küla juures läbi viidud kalastiku uuringul saadud teadmistega, näeme kalastiku üldise liigilise koosseisu olevat suhteliselt sarnase – varasema uuringu käigus leiti 11 liiki ja uues uuringus 12 (koos ogalikuga 13) liiki.

Olulisi erinevusi saame välja tuua aga kolme liigi puhul. 2008. aastal domineeris Väikese väina tammiäärses kalastikus võimsalt roosärng (42 % arvukusest ja 35 % biomassist). Käesoleva aasta kevadpüükides puudus roosärng seevastu sootumaks. Võrreldes 2008. aasta uuringuga on tänaseks oluliselt tõusnud ahvena arvukuse osakaal – 30 % varasema 2 % vastu. Samuti on oluliselt tõusnud hõbekogre arvukus püükides – 2021. aasta kevadel oli see 11 % 2008. aasta kevade vähem kui 1 % vastu. Meritint oli arvukam 2021. aasta seirepüükides (8 %, varasem osakaal 2 %).

Roosärje puhul võib määravaks olla ilmastiku erinevus – 2008. aasta aprilli püükide ajal oli veetemperatuur kõrgem kui 2021. aasta külmal aprillikuul. Samuti on roosärg paikne, tihedat taimeistikku eelistav kala, mistõttu liik võibki olla levinum väina Saaremaa poolse ranniku ulatuslike roostike piirkonnas.

Ahvena osakaalu tõus on kooskõlas liigi arvukuse üldise dünaamikaga Väinamere - viimase kümnendi jooksul on ahvena arvukus suurenenud ka mujal ümbruskonnas. Samuti on tõenäoline kudemisküpsete ahvenate koondumine kiiremini soojenevasse rannikuvette – paljud püütud isendid olid jooksvate suguproduktide – marja ja niisaga.

Hõbekogre arvukus on eesti rannikumeres kohati suurenenud, kohati stabiliseerunud või isegi mõnevõrra vähenenud. Madal soojaveeline, taimeistikurohke ja pehmete põhjadega Väike väin on hõbekogrele väga sobiv biotoop ja piirkonnas võib oodata pigem liigi arvukuse edasist suurenemist.

Meritindi puhul on arvukuse erinevuse põhjuseks pigem samuti külmemad temperatuurid 2021. aasta uuringu ajal – varasemas uuringus võis meritint kui külmalembene kala olla juba soojenenud madalveest lahkunud.



Foto 2.2.7.2. Kevadised seirepüügid Väikeses väinas 08.04.2021. Veetemperatuuri mõõtmine. Taamal on näha Muhu ja Saaremaa vaheline Väinatamm.

2.2.8. Sotsiaalmajanduslik küsitlus

Vastajate taust

Küsimustiku esimeses pooles kaardistati vastajate taust. Küsitlus oli vastamiseks avatud kolme kuu jooksul septembrist kuni novembrini 2020. Küsitlusele vastati selle perioodi jooksul kokku 257 korral. Suurem osa vastuseid laekus esimeste nädalate jooksul.

Kõige enam oli vastanute hulgas isikuid vanuses 19-40, kokku 45,1% ning vanuses 41-60 oli 42,8%; alla 18 aastaseid vastajaid oli vaid 1% ning üle 61 aastaseid 10,9%. Seega enamus ehk ligi 88% vastanuist olid aktiivses tööeas inimesed.

Elukoha või suvituskoha küsimusega oli võimalik tuvastada vastajate seotus piirkonnaga ning nende võimalik huvi arendustegevuse osas väinatammil.

Vastustest selgus, et kokku ligi 60% vastajatest märkis oma elu- või suvituskohaks Saaremaa, kellest omakorda ligi 30% olid Orissaarega seotud. Muhu saarega seotuks märkis ennast 27% vastanuist, ülejäänud vastajad olid peamiselt pärit kas Tallinnast või Harjumaaalt.

Ameti või tegevusvaldkonna küsimusele ei olnud etteantud vastuse variante ning iga vastaja sai vastavalt oma soovile enda kohta selle info avaldada. Vastustest selgus, et suur osa vastajaist on ettevõtjad või seotud ettevõtlusega, oli ka kalureid, erinevaid haridustöötajaid, tervishoiu töötajaid kui ka pensionäre.

Küsitluse tulemused

Kas liiklete merel Väikese väina piirkonnas?

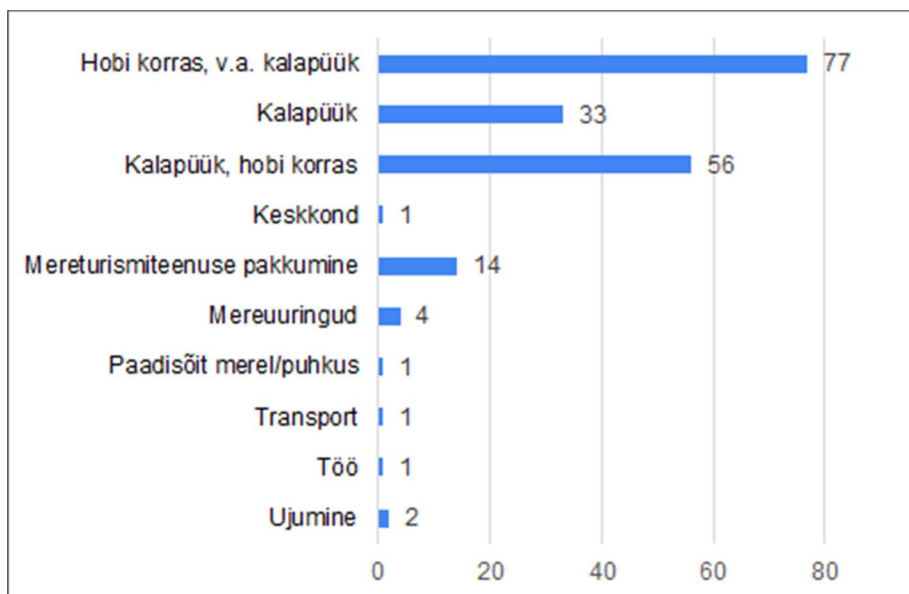
Selgus, et 57,2% on Väikese väina mere piirkonnas liigelnud.

Kui vastasite 1. küsimusele EI, siis palun vastake kas Väikese väina tammi ava rajamine motiveeriks teid enda alusega Väikese väina piirkonda tulevikus külastama.

Suurem osa vastajatest ehk 70% arvasid, et nad kasutakse seda mereala tulevikus ning 10,6% arvasid, et nad seda kasutama ei hakka, ülejäänud vastasid „võib-olla“.

Kui vastasite 1. küsimusele „Jah“ siis, palun vastake oma tegevuse kohta.

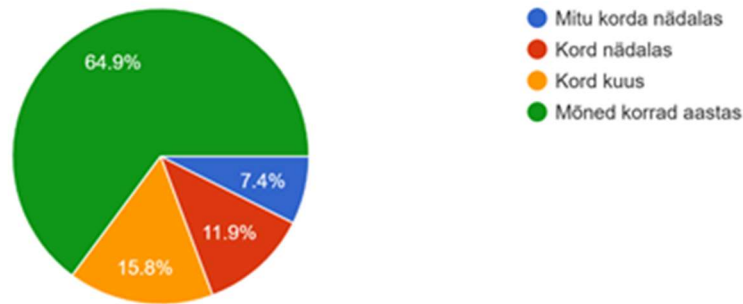
Lisaks küsiti nendelt, kes juba kasutavad Väikese väina mereala, et mil moel nad seda teevad. Enamus vastanutest kasutavad mereala ainult hobi korras (vt. Joonis 2.2.8.1). Pooled vastajatest kasutavad mereala kalapüügiks, kuid paljud vastasid, et kasutavad nii hobi korras kui ka kalapüügiks. Vastajate hulgas oli ka neid, kes kasutavad mereala mereturismiteenuse pakkumiseks. Paar küsitletut vastasid, et lisaks hobi korras kasutamisele, kasutaks nad seda ka punktis A punkti B jõudmiseks ning niisama läbimiseks sõprade ja pere ringis oma paadiga, pigem meelelahutuseks.



Joonis 2.2.8.1. Väikese väina mereala kasutusest vastajate seas.

Kui tihti käite Väikese väina piirkonnas merel?

Enamus vastajatest, 64,9 % ütles, et käib seal kandis merel mõned korrad aastas. Kuid 7,4% vastajatest käib merel mitu korda nädalas.



Joonis 2.2.8.2. Väikese väina mere piirkonna küllastamise sagedus vastajate seas.

Kas läbiksite enda alusega Väikese väina tammi ava, kui see rajatakse?

Üle poole (66 %) vastajatest arvas, et nad hakkaks Väikese väina tammi avadest oma alusega läbi sõitma, juhul kui need rajatakse. Veidi üle veerandi (27 %) vastas, et võib-olla hakkavad.

Kui suure alusega praegu liiklete piirkonnas? Palun lisage aluse kõrgus ja süvis.

Enamus vastajatest kasutavad aluseid, mille süvis on vahemikus 0,4-1,5 m (66 vastajat 143-st); Kasse-tüüpi paate või aluseid, mille süvis on vahemikus 0,18-0,35 m kasutab 143-st vastajast 54; 11 inimest vastas, et ei oma paati või ei tea selle mõõtmeid. Kuus inimest vastas, et kasutab kaatrit või purjejahti, mille süvis oli üle 1,5 m; samuti oli vastajate hulgas neid, kes viibivad väina piirkonnas merel kajaki, süsta või surfilauaga.

Kui suure alusega sooviksite väinas liigelda läbi uue ava? Palun lisage aluse kõrgus ja süvis.

Ligi 40 vastajat arvas, et peale väina tammiavade rajamise, hakkaks nad seda läbima suurema alusega, kui see millega hetkel merel viibivad. Nende hulgas, kes vastasid eelnevale küsimusele, et nad ei oma paati, aga juhul kui tehakse väina tammiavad sooviks väinas liigelda läbi uute avade, et soetaks endale vähemalt 0,5 m süvisega või Kasse-tüüpi paadi, 4 vastajat.

Vastajate hulgas oli ka arvamusi, et avade tegemine eesmärgiga tagada ujuvvahendite läbipääs on ebamõistlik. Suuremate ujuvvahendite läbipääsu rajamine (põhiküsimus mõlemal pool tammi olevad madalikud) on nii-ehk teisiti võimatu ja väiksemaid paate transporditakse niikuinii sõidukitega.

Kas Väikese väina tammi tuleks teha suurem ja paremini läbitavam ava lisaks praegusele Tillunirele?

Sellele küsimusele vastas ainult 3 inimest eitavalt. Seega arvas 98,8 % inimestest, et lisaks Tillunirele tuleks väina tammi rajada suurem ava.

Eelmise „Jah“ vastuse puhul palun välja tuua, mis oleks Teie meelest kõige olulisemad ava(de) rajamise eesmärgid?

Vastused olid ette antud valikvastustena, koos võimalusega lisada muu vastus.

Tulemused antud vastusele on esitatud allpool oleval tulpdiaagrammil (joonis 2.2.8.3). Kõige olulisemaks ava rajamise eesmärgiks peeti vee kvaliteedi paranemist Väikese väinas läbi tõhusama veevahetuse (234 inimest). Peaaegu sama palju inimesi (222 vastajat) arvas, et ava on oluline ka kalastiku olukorra parandamiseks väinas. Mitte vähem oluline oli vastajatele ka piirkonna kalanduse arengu toetamine läbi kalastiku olukorra parandamise ning tänu tammi avamisele kalapaatidele (193 vastajat). Oluliseks peeti ka päästepaatide võimalust läbida väiksemaid vahemaid, et ei peaks sõitma ümber Muhu saare, vaid oleks võimalus läbida tammiavadest (184 vastajat).



Joonis 2.2.8.3. Kõige olulisemad avade rajamise eesmärgid vastajate arvates.

Nende hulgas, kes kirjutasid lisaks valitud variantidele oma vastuse, oli peamine mure, et Väikese väina merekeskkond saaks peale avade rajamist puhtamaks, et ei oleks kummalgi pool tammi kahte eraldi eutrofeerinud ja pilliroost kinni kasvanud „konnatiiki“. Avaldati lootust, et tammiavade rajamine parandab merekeskkonda ning Orissaare rannaäär püsib mudast, mererohust puhtam. Samuti peeti oluliseks, et saaks meresarte vahel ja ümber vabalt liikuda, kuna praegu sunnitud liiklus ümber Muhu saare pole mõistlik ning sunnib kasutama pikemaid teekondi.

Rekreatsiooni poole pealt pakuti välja, et see on suhteliselt väikesel ja vähepõneval Eesti merealadel huvipakkuv merematka piirkond või saaks seal tegeleda lisaks ka avavee ujumisega. Soovitati mõelda ka jahisadama rajamise peale, kui vaid süvis lubaks, kuna tuulte eest on väin hästi kaitstud.

Kas Teie meelest avade rajamine tooks kaasa mingeid negatiivseid mõjusid näiteks kohalikele kogukonnale, keskkonnale? Palun tooge välja mis ja kuidas.

Enamus vastas (85,5%), et Väikese väina tammiava rajamine ei too endaga kaasa mingeid negatiivseid mõjusid. Avaldati arvamust, et ehitustööde käigus või vahetult peale seda võib tekkida ümbritsevale keskkonnale teatud mõjusid. Nagu näiteks tammi taha sajandiga kogunenud setted võivad liikuma hakata ja ka ava kiirelt ummistada. Samuti avaldati, et aktiivse veespordi tekkega võib kaasneda olmereostus või sõidetakse võrkudesse, või olemasolevad sadamate ligipääsuteed sõidetakse kehvemasse seisukohas kui nad hetkel on, kuna ligipääs sadamakohtadesse on piiratud.

Teie muud kommentaarid seoses Väikese väina ja/või tammiava(de) rajamisega.

Täiendavalt sai küsimustiku lõppu lisada kommentaari Väikese väina tammiavade rajamisega. Enamus vastajatest lisas, et avade ehitamine oleks pidanud ammu olema tehtud ja avaldasid arvamust, et see oleks nii keskkonnale kui kohalikele kogukonnale vajalik. Peamiseks kommentaariks oli, et keskkonna heaolu ja vee kvaliteedi seisukohast on looduslik veevahetus läbi Väikese väina äärmiselt oluline. Lisati ka, et tammi avamine silla abil lisaks piirkonnale atraktiivsust ja võimaldaks väinaäärset mereturismiarendust.

Kokkuvõtvalt võib öelda, et Väikese väina tammiavade teema kõnetas kohalikke, sest küsitlusele tuli arvukalt vastuseid. Ühtlasi selgus vastustest, et enamus soovib piirkonda uut tammiava ning kasutaks seda ava aktiivselt. Võib öelda, et Väikese väina tammile ava kavandamine on kohalikele oluline teema, mis kõnetab ning pigem leiti arvukalt põhjendusi, miks peaks uut ava kavandama.

- Kõige olulisemaks ava rajamise eesmärgiks peeti veevaliteedi paranemist Väikeses väinas läbi tõhusama veevahetuse (234 vastajat).
- Peaaegu sama palju vastajaid (222 vastajat) arvas, et ava on oluline ka kalastiku olukorra parandamiseks väinas.
- Mitte vähem oluline oli vastajatele piirkonna kalanduse arengu toetamine läbi kalastiku olukorra parandamise ning tänu tammi avamisele kalapaatidele (193 vastajat).
- Oluliseks peeti ka päästepaatide võimalust läbida väiksemaid vahemaid, et ei peaks sõitma ümber Muhu saare, vaid oleks võimalik läbida tammiavadest (184 vastajat).

3. Avade rajamise mõju

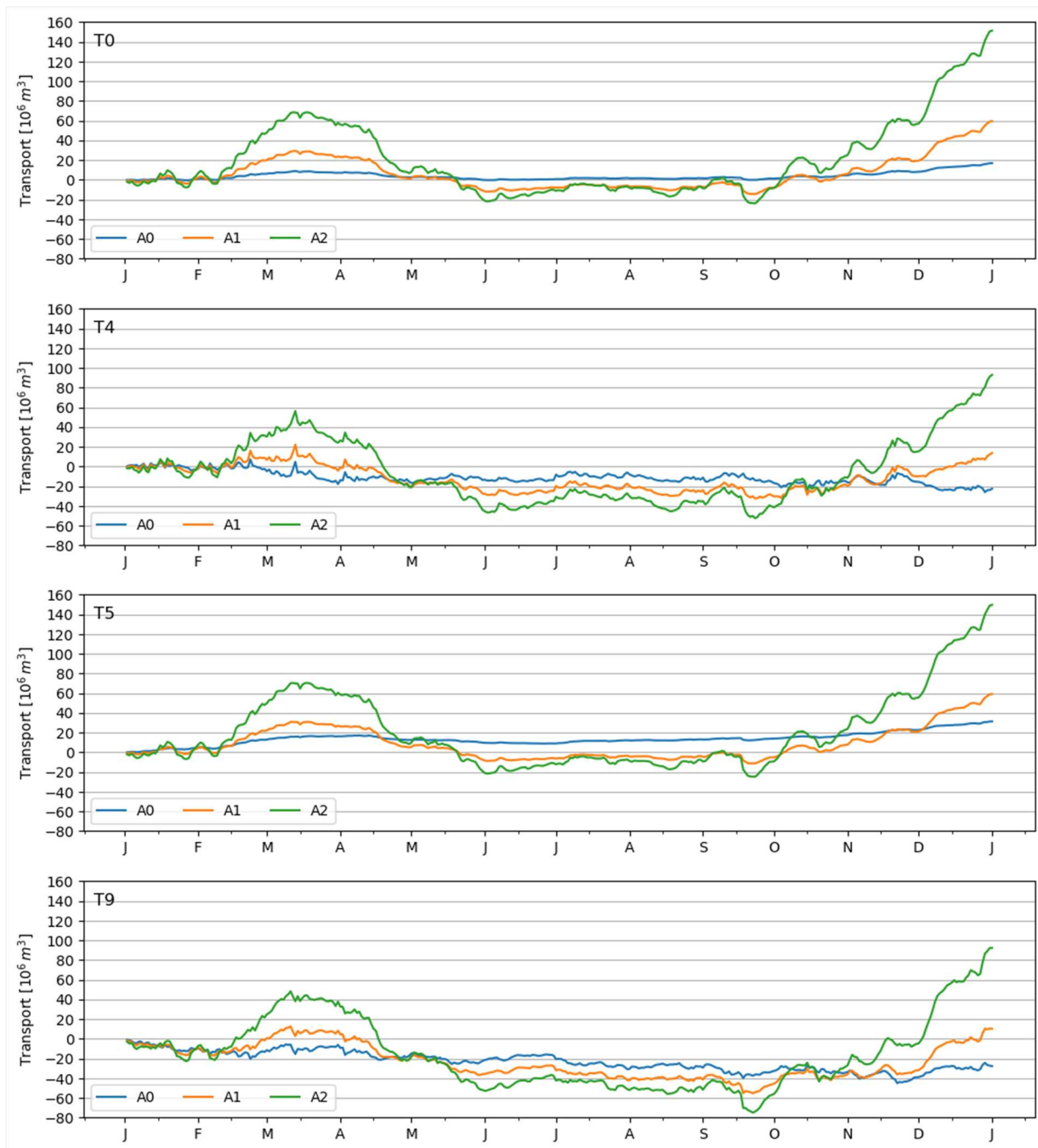
3.1. Looduskeskkond

3.1.1. Veevahetus

Veevahetuse mõju uurimiseks vaatleme esmalt kumulatiivset transporti läbi nelja transekti: väinatammi lähedased transektid T0 ja T5 ning tammist kaugemad transektid T4 ja T9 (vt Joonis 2.2.5.1) praeguse olukorra (A0) ja alternatiivide A1 ja A2 korral (Joonis 3.1.1.1). Kumulatiivses transpordis kajastub üksnes väinast läbi voolav vesi. Kahe väinaosa sisemise tsirkulatsiooni suhtelist osa veevahetuses kumulatiivne transport ei näita. Kuna väin on täna tammiga eraldatud sisuliselt kaheks eraldiseisvaks laheks, siis on peamine roll veevahetuses nn. lahtede sisesel tsirkulatsioonil. St. peamine roll väina loodeosa veevahetuses on Kõinastu ja Saaremaa vahelt tuleval veel ning väina kaguosas Liivi lahest tuleval veel.

Praegusel olukorral (A0) toimub veevahetus kahe väina osa vahel üksnes läbi Tillunire. 2020. aasta kumulatiivne transport läbi transektide oli Väinamere suunas 0,02 kuni 0,03 km³. Tammist kaugematel transektidel (T4 ja T9) oleks muutlikkus veidi suurem, sest kumulatiivses aegreas kajastuvad ka nn. lahtede ajutised veega täitumised ja veest tühjenemised. Avade rajamisel tammi suureneb transport märgatavalt. Alternatiivi A1 korral domineeriks Väinamere suunaline transport veebruarist märtsi esimese pooleni. Aprillis-mais domineeris transport Liivi lahe suunas. Perioodil mai-september oli kumulatiivne transport väike ja valdavalt Liivi lahe suunas. Väinamere suunaline transport domineeris septembri teisest poolest kuni aasta lõpuni. Aasta algusest kuni oktoobri alguseni oli kumulatiivne transport null. See tähendab, et sel perioodil voolas läbi transektide Väinamere ja Liivi lahe suunas sama hulk vett. Aasta viimase kolme kuu jooksul oli Väinamere suunaline transport läbi Tillunire ca 0,02 km³. Alternatiivi 1 korral oleks see olnud ca 0,06 km³ ja alternatiivi 2 korral ca 0,15 km³.

Alternatiivi A2 korral on kumulatiivse transpordi ajaline käik transektidel sarnane alternatiiviga A1, kuid transpordid läbi transektide on märgatavalt suuremad. Veebruaris-märtsis varieerub Väinamere suunaline kumulatiivne transport läbi transektide vahemikus 0,04-0,07 km³. Perioodil märtsi keskpaik kuni mai lõpp on veevahetus Liivi lahe suunaline, ulatudes kuni 0,1 km³. Perioodil juuni-september on veevahetus valdavalt Liivi lahe suunaline, ulatudes septembri lõpuks 0,08 km³. Detsembri lõpuks kasvab tammilähedastel transektidel (T0 ja T5) Väinamere suunaline transport kuni 0,16 km³ ja kaugematel transektidel kuni 0,1 km³.



Joonis 3.1.1.1. Vee transport läbi transektide. Positiivne suund on Väinamere poole. Ülemised 2 paneeli: transektid väinatammist lõuna poole (T0 ja T4), alumised 2 paneeli: transektid Väinatammist põhja poole (T5 ja T9). Transektid T0 ja T5 on tammist ~250 meetri kaugusel, transektid T4 ja T9 on väina otstes (vt. Joonis 2.2.5.1.). Sinine joon näitab praegust olukorda (A0), oranž ja roheline joon näitavad vastavalt alternatiive A1 ja A2 tulemusi.

Transektide vahelise ala vee viibeaja arvutamiseks hinnati iga ala jaoks kasutades valemit $T = V/Q$, kus V on ala ruumala ning Q keskmine äravool. Q hindamiseks arutati kumulatiivne väljavool alast mõlemas suunas vaadeldud perioodi jooksul ning jagati kogu perioodi pikkusega. Suurimad äravoolud A0 korral oli aladelt T8-9 ja T7-8 ning väikseimad tammi vahetus läheduses alades Tamm-T0 ja Tamm-T5 (Tabel 3.1.1). Samas, suurimad viibeajad olid alades T8-9 ja T3-4 ületades 13 tundi ning suhteliselt väikesed viibeajad olid just tammi vahetus läheduses jäädes alla 6 tunni. Tuleb silmas pidades, et tammi lähedased valitud alad on tunduvalt väiksema mahuga. Et võrrelda alade vee viibeage erinevate alternatiivide

korral esitame vee viibeajad ka ruumala kohta. Ruumala ühiku kohta leitud vee viibeag oli tunduvalt pikem tammi vahetus läheduses.

Tammiavade rajamisega vähenesid viibeajad mõlema alternatiivi korral. A1 korral on arvestatav mõju viibeajale ainult tammi vahetus läheduses. Tammist kagusse jääval alal väheneks vee viibeag 13 %, tammist loodes 24 %. Tammist eemal loodes, alal T5-T6 vähenes viibeag A1 korral 6%. Ülejäänud aladel muutus viibeag alla 1,7 %.

Ühe ava korral oli mõju viibeajale väike või olematu. Kahe ava korral (A2) oli mõju suurem ja see ulatus ka tammist kaugemal asuvate piirkondadeni. Viibeaja vähenemine oli kuni 45% tammi vahetus läheduses, loodes ning 32% tammi lähedal, kagus ning kuni 0,1% kõige kaugemal asuvas piirkonnas T8-9. Alternatiivi A2 korral on mõju aladel T5-T6 ja T0-T1 üle 10%. Aladel T1-2 ja T6-7 on viibeaja vähenemine 2-3%, ülejäänud aladel veelgi väiksem.

Ilma tammita tehtud arvutustes vähenes viibeag tammilähedastel aladel kuni 92%. See näitab, et tammi tõttu on veevahetus tammi lähedal 10-12 korda kehvem kui see oleks ilma tammita. Isegi tammist kaugematel alades oleks vee viibeag 38% lühem. See näitab, et tammiga tekitatud kunstlik kahe lahe tsirkulatsioon annab oluliselt nõrgema veevahetuse, kui see oleks loodusliku, ilma takistuseta väina puhul.

Kokkuvõttes, tammil on väga suur mõju veevahetusele. Tamm vähendab veevahetust tammi läheduses 10-12 korda. Tammi mõju veevahetusele väheneb sellest eemaldudes, kuid selle mõju veevahetusele on tuvastatav kogu väinas. Kahe ava rajamine (alternatiiv II) parandaks veevahetust tammi kõige suurema mõjuga alal (tammi läheduses) Väinamere pool 45%, Liivi lahe pool 32 %. Avade vahetus läheduses on veevahetuse kiirenemine tõenäoliselt veelgi suurem. Ka ühe ava rajamisel (alternatiiv I) oleks arvestatav mõju, tammi lähedal Liivi lahe pool suureneks veevahetus 13% ja Väinamere pool 24%.

Tabel 3.1.1.1. Transektide vaheliste alade äravool Q , viibeag, viibeag ruumalaühiku kohta (t_v) erinevate alternatiivide korral. Alternatiivide A1-A2, ja ilma tammita väina (A3) korral on toodud ka t_v vähenemine võrreldes praeguse olukorraga (A0). Tabeli alumises osas on toodud informatsioon alade kohta.

Alternatiiv 0	Tamm-T0	T0-1	T1-2	T2-3	T3-4	Tamm-T5	T5-6	T6-7	T7-8	T8-9
Q [m ³ /s]	24	64	91	109	107	17	53	98	133	132
Viiheaeg [t]	6	8	8	6	13	4	5	8	9	29
t _v [päev/km ³]	476	181	127	106	108	692	217	118	87	87
Alternatiiv 1	Tamm-T0	T0-1	T1-2	T2-3	T3-4	Tamm-T5	T5-6	T6-7	T7-8	T8-9
Q [m ³ /s]	28	65	90	109	108	22	57	100	134	133
Viiheaeg [t]	5	7	8	6	13	3	4	7	9	29
t _v [päev/km ³]	415	178	129	107	107	527	204	116	86	87
t _v vähenemine [%]	12,84	1,42	1,21	0,25	0,31	23,86	5,83	1,69	0,91	0,10
Alternatiiv 2	Tamm-T0	T0-1	T1-2	T2-3	T3-4	Tamm-T5	T5-6	T6-7	T7-8	T8-9
Q [m ³ /s]	36	73	94	110	109	30	60	100	134	132
Viiheaeg [t]	4	7	7	6	13	2	4	7	9	29
t _v [päev/km ³]	326	158	123	105	106	381	194	116	86	87
t _v vähenemine [%]	31,63	12,58	3,15	1,04	1,52	44,98	10,31	2,29	1,21	0,09
Alternatiiv 3	Tamm-T0	T0-1	T1-2	T2-3	T3-4	Tamm-T5	T5-6	T6-7	T7-8	T8-9
Q [m ³ /s]	207	208	209	215	220	205	207	214	216	215
Viiheaeg [t]	1	2	3	3	6	< 1	1	3	6	18
t _v [päev/km ³]	56	56	55	54	53	57	56	54	54	54
t _v vähenemine [%]	88,3	69,3	56,5	49,4	51,1	91,8	74,1	54,2	38,5	38,3
	Tamm-T0	T0-1	T1-2	T2-3	T3-4	Tamm-T5	T5-6	T6-7	T7-8	T8-9
Pindala [m ²]	2469500	5910800	7132700	6865900	8435700	895900	3744500	3379400	4536400	11514100
Ruumala [m ³]	496900	1732000	2456300	2347400	5096400	232900	887100	2644600	4510200	13607900

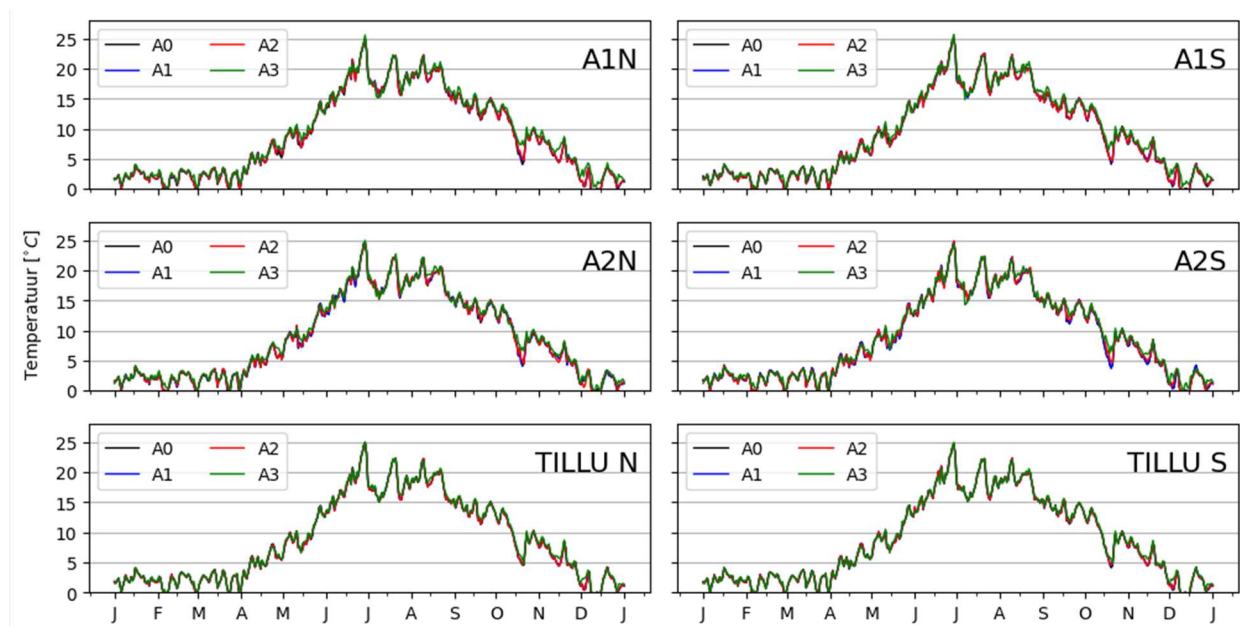
3.1.2. Füüsilised näitajad

Järgnevalt analüüsitakse mudeli simulatsioonide andmetel alternatiivide mõju veesamba füüsilistele näitajatele. Lisaks on näidatud teoreetilise arvutuse tulemused kui Väikese väina tammi ei ole (A3). Tammi avade mõju analüüsitakse Muhu poolse ava läheduses (mudeli väljavõtted A1N ja A1S), Saaremaa poolse ava läheduses (mudeli väljavõtted A2N ja A2S) ja Tillunire läheduses (mudeli väljavõtted Tillu N ja Tillu S) (vt Joonis 2.2.5.1).

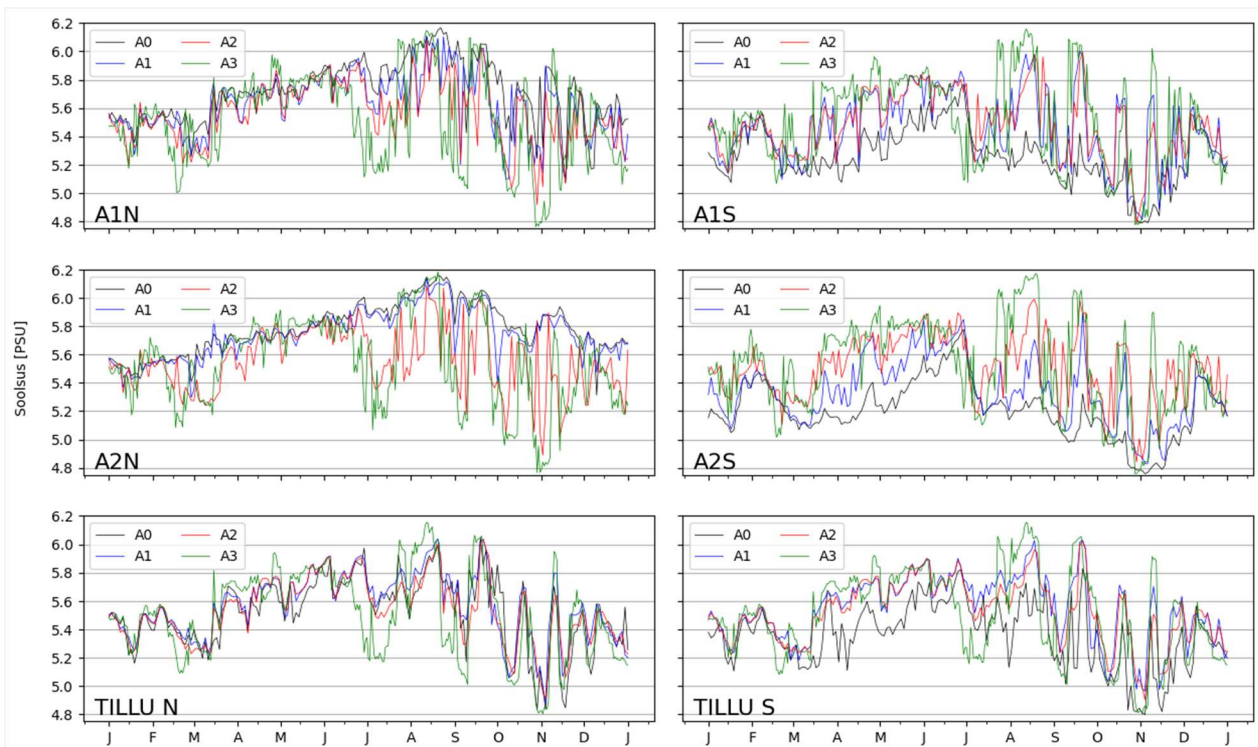
Joonisel 3.1.2.1 on toodud ööpäeva keskmise temperatuuri ajaline käik mõlema tammi ava läheduses ja lisaks mõlemalt poolt Tillunire kanalit 2020. aastal. Üldiselt ööpäevased keskmised temperatuurid erinevad alternatiivide vahel vähe. Suurim lühiajaline erinevus praeguse olukorra (A0) ja alternatiivi A2 vahel on kuni 1,2 °C; ruutkeskmine erinevus 0,3 °C. See näitab, et kuigi lateraalne veevahetus paraneb avade tegemisega märgatavalt, ei avalda see väga suurt mõju temperatuuri ööpäevaste keskmiste aegridadele. See on seletatav atmosfääri mõjude (sooja vood) märgatava olulisusega madalas rannikumeres võrreldes hüdrodünaamiliste mõjudega (transport ja segunemine) temperatuurile. Meri on väga madal ka mitmed kilomeetrid tammist loodes ja kagus. See tähendab, et olenemata suurenenud veevahetusest on vee viiheaeg madalas väinas piisavalt pikk, et vesi saab tunduvalt kiiremini soojeneda/jahtuda kui näiteks Liivi lahe või Väinamere avaosas. Ilma tammita arvutuses on erinevused praeguse olukorraga (A0) suuremad - ruutkeskmine erinevus oli 0,81 °C. Samas tuleb silmas pidada, et simulatsioon ei suuda täielikult tabada temperatuuri äärmuslike maksimume, samuti alahindab mudel temperatuuri ööpäevaseid käike. Seega võib arvata, et tegelikud mõjud temperatuuri aegridadele on mõnevõrra suuremad kui simulatsioon näitas. Võib eeldada, et tänu veevahetuse suurenemisele ei ole soojenemised-jahtumised nii mitmepäevases ajamastaabis aga ka ööpäevased nii tugevad kui praegu.

Joonisel 3.1.2.2 on toodud ööpäeva keskmise soolsuse ajaline käik valitud jaamades praeguse olukorra (A0) ja alternatiivide A1 ja A2 korral 2020. aastal. Oluline on märkida, et äärmiselt kohtspetsiifilise ja

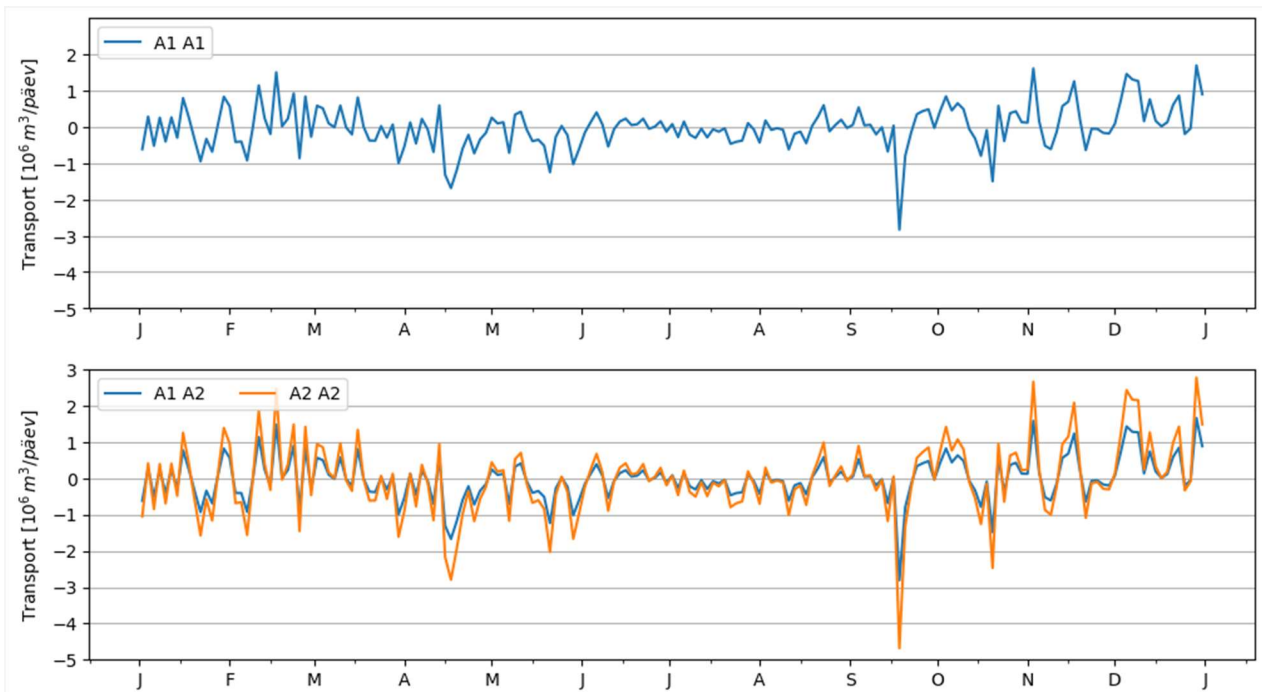
Läänemere mõistes haruldase soolsuse maksimumi teket ei suutnud simulatsioon reprodutseerida. Soolsuses on tammi lähedases piirkonnas oluliselt suuremad erinevused alternatiivide vahel võrreldes temperatuuriga, eriti alternatiivi A2 korral kui tammis on kaks ava. Veevahetus läbi tammi avade (Joonis 3.1.2.3) põhjustab magedama Liivi lahe veemassi ja soolasema Väinamere veemassi intensiivsemat transporti ja segunemist. Jooniselt on samuti näha, et läbi Saaremaa poolse tammiava on veevahetus veidi intensiivsem. Voolamisega Väinamere suunas kaasneb soolsuse vähenemine tammist põhjapoolsetes jaamades (A1N ja A2N), maksimaalselt 1 PSU (A2N, alternatiiv A2). Juhul kui voolamine on Liivi lahe poole, suureneb soolsus tammist lõunapoolsetes jaamades (A1S ja A2S), maksimaalselt 0,7 PSU. Tammi puudumisel (A3) on suurim soolsuse erinevus 1,1 PSU. Kuna simulatsioon ei produtseeri aurumisest põhjustatud tammiäärset soolsuse maksimumi, siis võib eeldada, et tegelikult uute avade olemasolul tammiäärne soolsus kahaneb, mõlemal pool tammi. On tõenäoline, et ilma tammita sellist soolsuse maksimumi ei tekiks.



Joonis 3.1.2.1. Veesamba ööpäevase keskmine temperatuuri ajaline käik valitud jaamades (vt Joonis 2.2.5.1) 2020. aastal. A0 tähistab praegust olukorda, A1 ja A2 tähistavad vastavaid alternatiive ja A3 teoreetilist olukorda kui tammi ei ole.

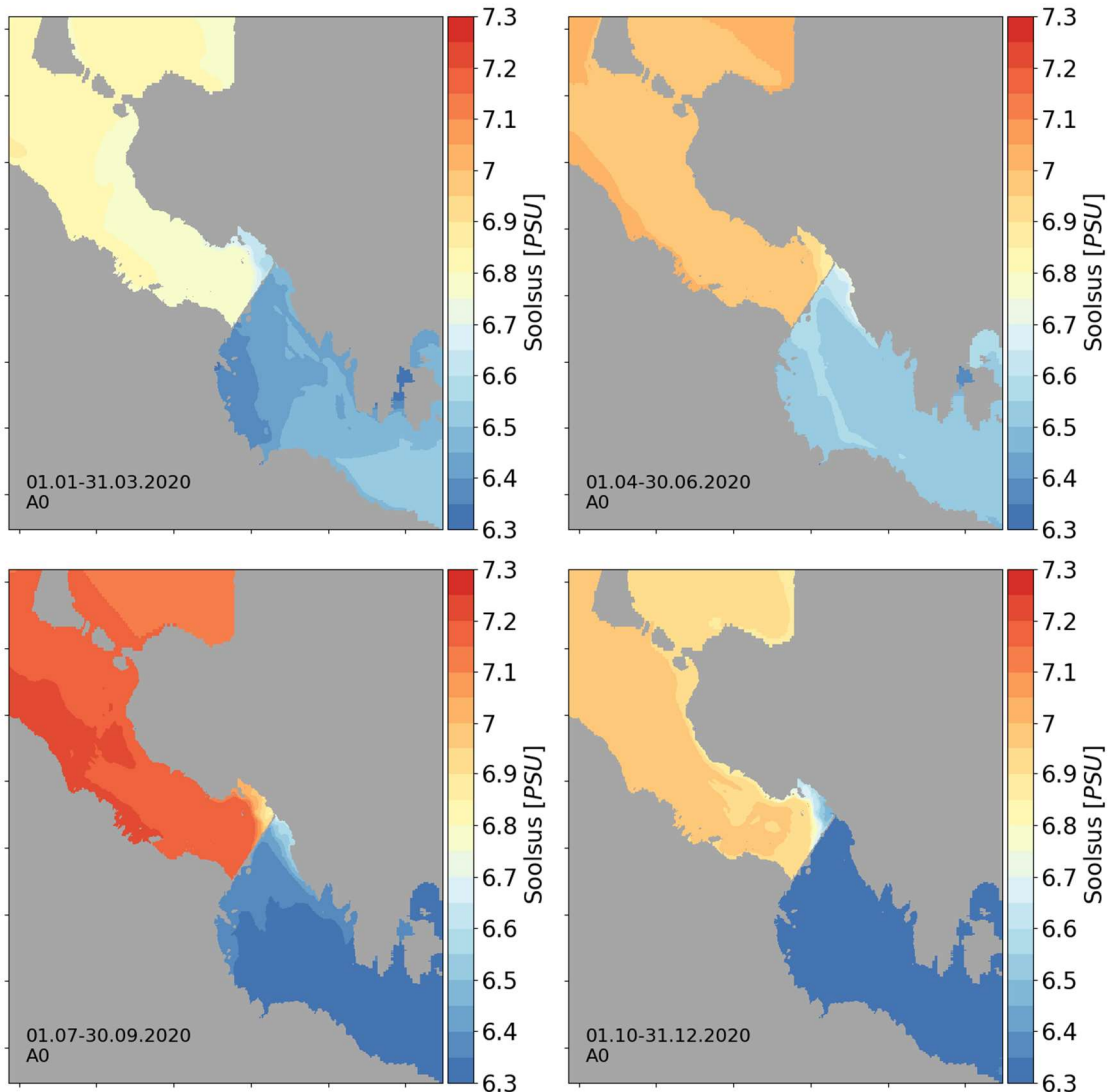


Joonis 3.1.2.2. Veetsamba ööpäevase keskmine soolsuse ajaline käik valitud jaamades (vt Joonis 2.2.5.1) 2020. aastal. Must joon näitab soolsuse ajalise käigu praegustel tingimustel (A0), sinine joon alternatiivi A1, punane joon alternatiivi A2 ja roheline joon teoreetilist olukorda kui tammi ei ole (A3).



Joonis 3.1.2.3. Vee transpordi ajaline käik läbi Muhu poolse tammi ava A1 alternatiivi A1 korral (A1A1, ülemine paneel). Alumisel paneelil on toodud vee transport läbi Muhu poolse tammi ava A1 alternatiivi A2 korral (A1A2, sinine joon) ja läbi Saaremaa poolse tammi ava A2 alternatiivi A2 korral (A2A2, oranž joon, A2A2). Positiivne transport on Väinamere poole.

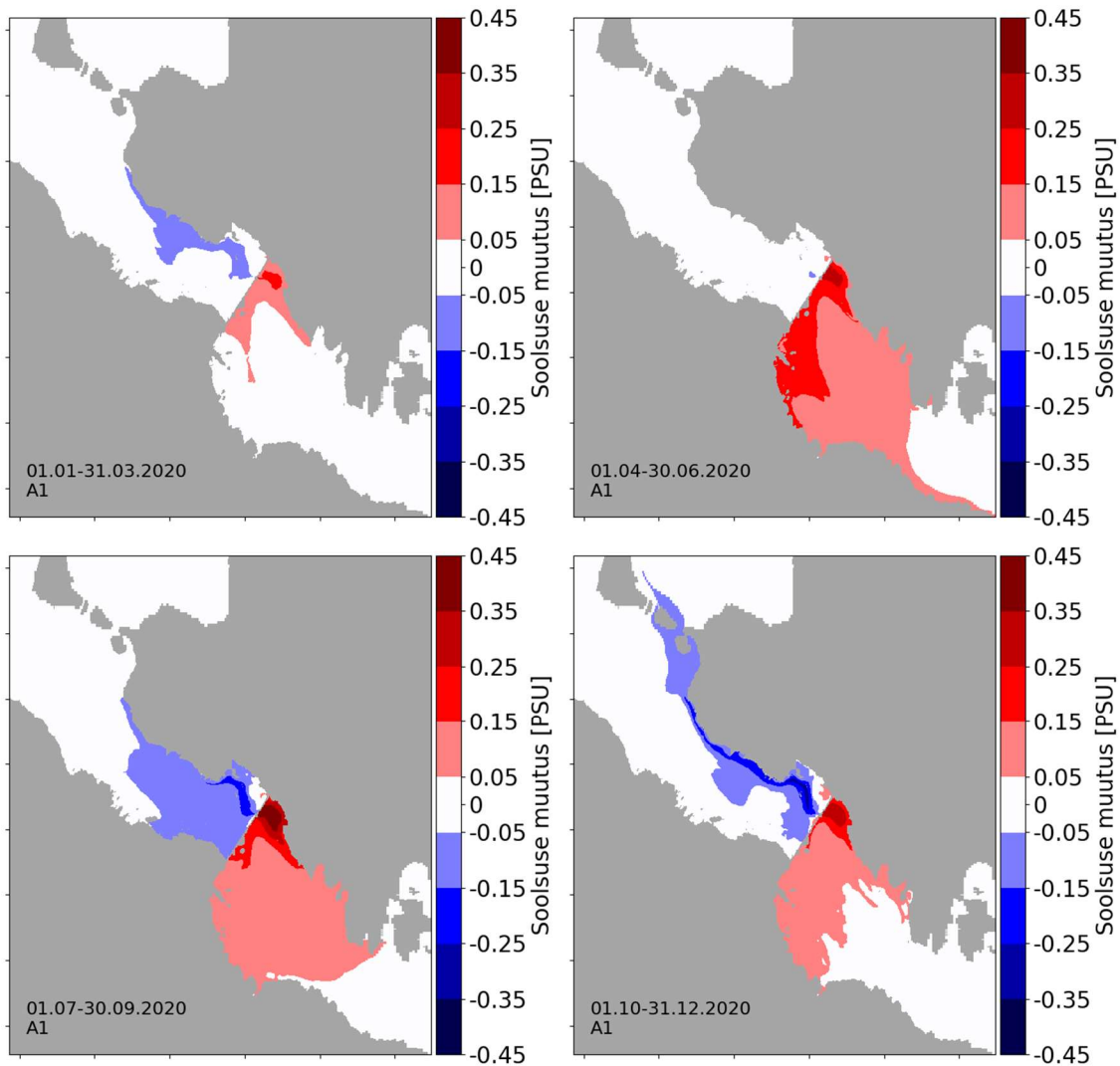
Edasi vaatleme, kuidas muutuvad kvartalite keskmised pinnasooluse jaotused Väikeses väinas praeguses olukorras ja millised on sooluse muutused praeguse olukorra suhtes alternatiivide A1 ja A2 korral ning ilma tammita (A3) juhul kvartalite kaupa. Kõigis kvartalites on praeguses olukorras keskmine soolus kõrgem väina põhjapoolsemas osas ning väiksem lõunapoolse basseini (Joonis 3.1.2.4). Suurim keskmine soolus põhjapoolse basseini on suvel (juuli-september) ning väiksem talvel (jaanuar-märts). Lõunabasseinis on soolused väiksemad aasta teises pooles. Lokaalset sooluse maksimumi tammi lähedal, mida näitasid mõõtmised, simulatsiooni kolmanda kvartali keskmisest välja ei joonistu. Sellegipoolest annab simulatsioon aimu, kuidas mõjutab avade rajamine üldist sooluse jaotust väinas.



Joonis 3.1.2.4. Kvartalite keskmise pinnakihi sooluse jaotus praeguses olukorras (A0).

Ühe avaga alternatiivi (A1) korral toimuvad suurimad muutused pinnasooluses aasta teises pooles (Joonis 3.1.2.5). Esimeses kvartalis väheneb soolus piki Muhu rannikut Väinamere suunas kuni 0,15 PSU. Lõuna pool kasvab soolus ava vahetus läheduses kuni 0,25 PSU, tammi ümbruses ning piki Muhu rannikut lõuna suunas on muutus kuni 0,15 PSU. Nii põhja- kui lõunabasseini keskosas jäävad muutused alla 0,05 PSU. Teises kvartalis suureneb soolus tammi ava ümbruses kuni 0,35 PSU, lõunabasseini keskosas ja piki Saaremaa rannikut Liivi lahe suunas kuni 0,15 PSU. Põhjapoolse basseini soolus praktiliselt ei muutu – ainult Tillunire ja tammi ava juures on näha kerget muutust. Kolmandas kvartalis väheneb soolus põhjapoolse basseini tammi ava vahetus läheduses kuni 0,25 PSU, keskosas on muutus kuni 0,15 PSU. Lõunabasseinis suureneb soolus tammi ava ja Tillunire ümbruses kuni 0,45 PSU. Pidades silmas, et simulatsioon alahindab lokaalset

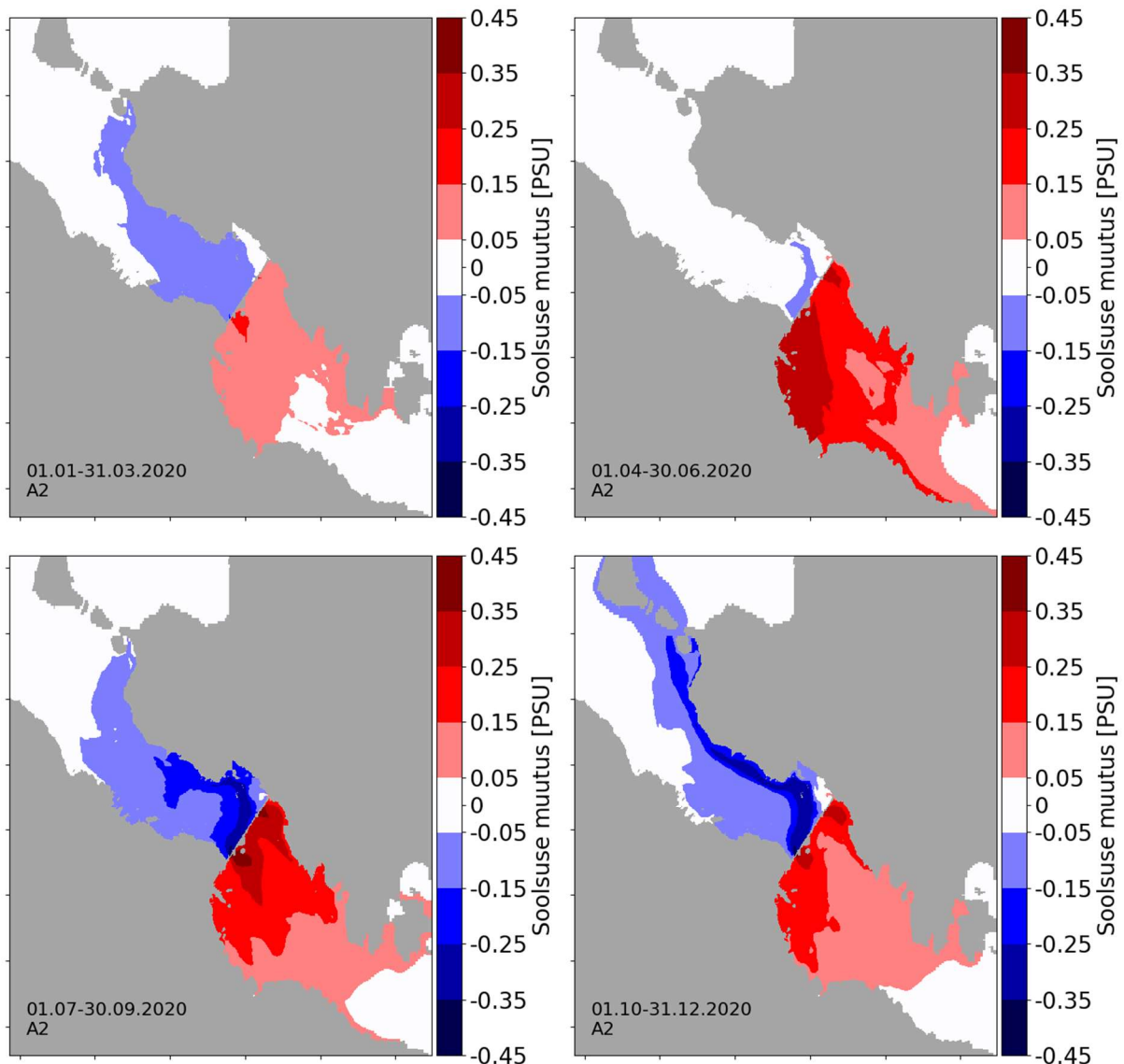
sesoonset soolsuse maksimumi teket, on viimane hinnang küllaltki suure määramatusega. On võimalik, et veevahetuse paranemine tammilähedast soolsust tegelikult isegi vähendab. Lõunabasseini keskosas jääb muutus alla 0,15 PSU. Viimases kvartalis väheneb põhjabasseinis soolsus piki Muhu rannikut maksimaalselt 0,25 PSU. Lõunabasseinis soolsus suureneb tammi ava ümbruses kuni 0,35 PSU, basseini keskosas suureneb soolsus kuni 0,15 PSU.



Joonis 3.1.2.5. Kvartalite keskmise soolsuse muutus alternatiivi A1 korral praeguse olukorra suhtes.

Kahe avaga alternatiivi korral (A2) väheneb soolsus esimeses kvartalis põhjabasseinis tammi lähedal ja keskosas ning piki Muhu rannikut kuni 0,15 PSU, loode suunas on muutused väiksemad kui 0,05 PSU (Joonis 3.1.2.6). Lõunabasseini tammi lähedasel alal keskosas suureneb soolsus kuni 0,15 PSU ning Saaremaa poolse ava vahetus läheduses on suureneb soolsus kuni 0,25 PSU. Teises kvartalis suureneb lõunabasseini soolsus enim – kuni 0,35 PSU tammi avade juures ja piki Saaremaa rannikut. Väiksemad soolsuse muutused on tammist eemal kagu suunas. Põhjabasseinis on märgata soolsuse muutusi vaid tammi läheduses, kus soolsus väheneb kuni 0,15 PSU. Kolmandas kvartalis väheneb põhjabasseini soolsus tammi lähedal kuni 0,35 PSU, laiemal alal on muutused mitte rohkem kui 0,15 PSU. Tammist lõuna pool tammi avade ümbruses suurenevad soolsuse väärtused vähemalt 0,45 PSU. Ka siin tuleb märkida, et kuna simulatsioon alahindab lokaalset sesoonset soolsuse maksimumi teket, ei pruugi viimane hinnang olla väga usaldusväärne. On võimalik, et veevahetuse paranemine tammilähedast soolsust isegi vähendab. Liivi

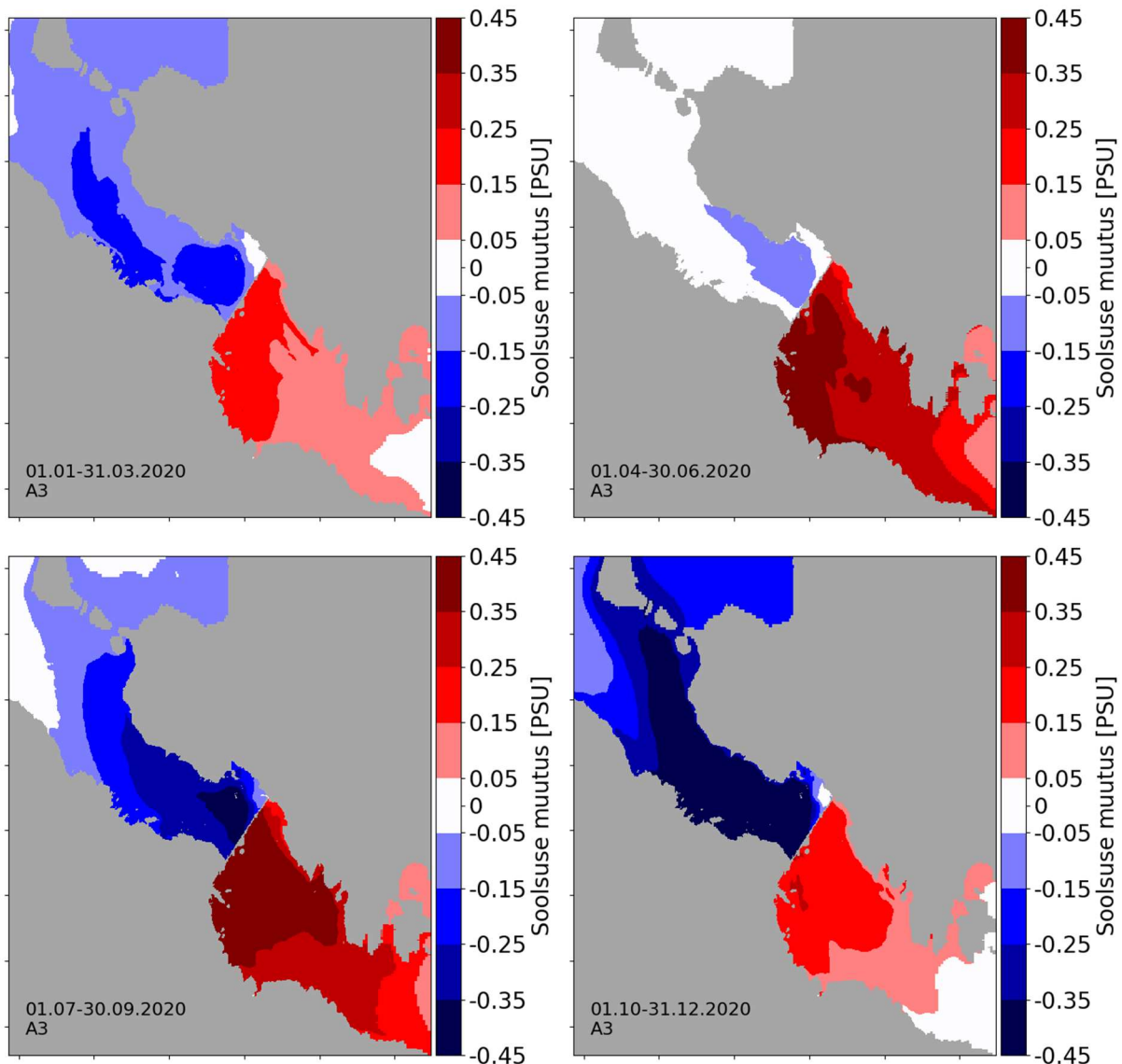
lahe suunas väheneb soolsuse muutus kuni 0,15 PSU. Neljandas kvartalis väheneb soolsus põhjabbasseinis tammi läheduses ja piki Muhu rannikut kuni 0,35 PSU, basseini keskosas kuni 0,15 PSU. Lõunabbasseinis suureneb soolsus tammi avade läheduses kuni 0,35 PSU, piki Saaremaa rannikut 0,25 PSU ja ülejäänud väina osas kuni 0,15 PSU.



Joonis 3.1.2.6. Kvartalite keskmise soolsuse muutus alternatiivi A2 korral praeguse olukorra suhtes.

Ilma tammita arvutuses (A3) väheneb soolsus esimeses kvartalis terve põhjabbasseini ulatuses vähemalt 0,15 PSU, v.a. Tillunire vahetus läheduses (Joonis 3.1.2.7). Basseini keskosas on soolsuse vähenemine kuni 0,25 PSU. Tammi asukohast lõuna pool suureneb soolsus kuni 0,25 PSU. Liivi lahe poole on muutus väiksem – kuni 0,15 PSU. Teises kvartalis suureneb soolsus lõunabbasseinis Saaremaa ranniku pool vähemalt 0,35 PSU ning terve basseini ulatuses vähemalt 0,25 PSU. Põhjabbasseini keskosas väheneb soolsus kuni 0,15 PSU, kuid üldiselt jäävad muutused põhjabbasseinis alla 0,05 PSU. Aasta teises pooles on muutused märgatavalt suuremad – kolmandas kvartalis suureneb soolsus kuni poole lõunabbasseini ulatuses 0,35 PSU ning suurem mõju on ka kaugematel aladel. Ka siin tuleb märkida, et kuna simulatsioon alahindab lokaalset sesoonset soolsuse maksimumi teket, siis tammi lähedal kirjeldatud soolsuse tõusu tegelikult aset ei leia. Tõenäoliselt ilma tammita lokaalset aurumisest tingitud soolsuse maksimumi ei teki ja tammi eemaldamine viiks tammist lõunas oleval alal hoopis soolsuse vähenemiseni. Põhjabbasseinis tammi asukoha läheduses väheneb soolsus kuni 0,45 PSU ning suuremad muutused on ka kaugemal Väinamere suunas.

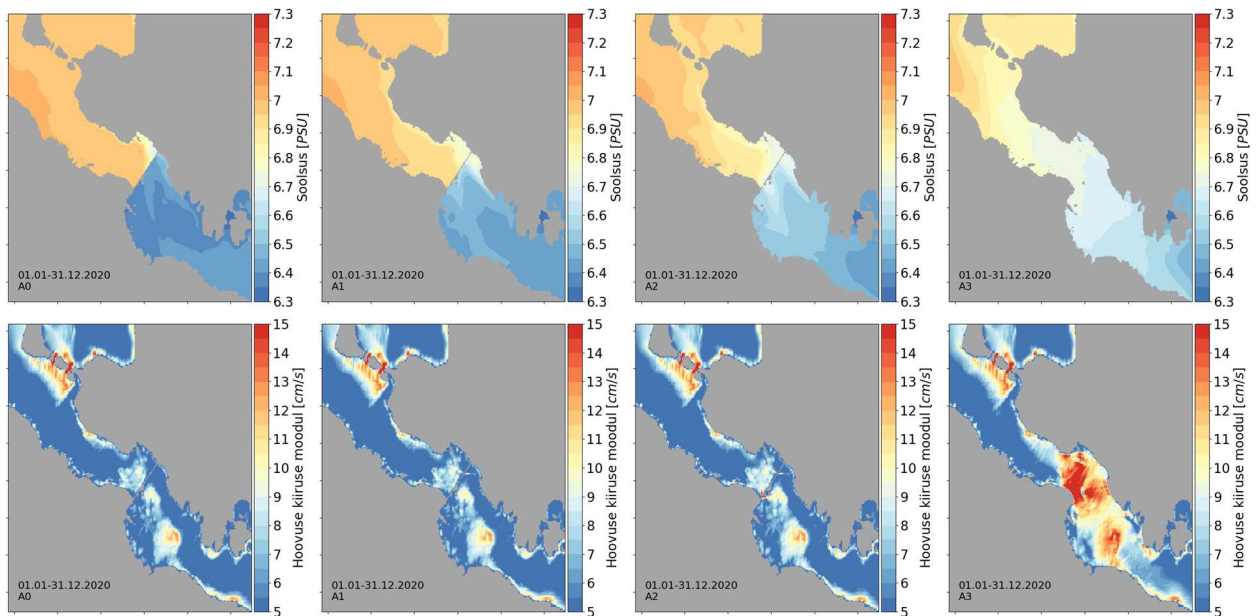
Viimases kvartalis on peaaegu terve põhjapassein vähemalt 0,35 PSU magedam. Lõunabasseini tammi lähedasel alal ja keskosas suureneb soolsus kuni 0,25 PSU, vähenedes Liivi lahega külgneval suureneb soolsus 0,15 PSU.



Joonis 3.1.2.7. Kvartalite keskmine soolsuse muutus ilma tammita arvutuses (A3) praeguse olukorra suhtes.

Järgnevalt vaatleme pinna soolsuse aasta keskmisi jaotusi väinas praeguse olukorra, kahe alternatiivi ja tammi puudumise korral koos hoovuse kiiruse aasta keskmise mooduli jaotustega väinas. Keskmine soolsus on suurem Väikese väina põhja- ja väiksem lõunabasseinis, kuid avade tegemisega erinevused vähenevad (Joonis 3.1.2.8, ülemised paneelid). Hoovuse kiiruse aasta keskmine moodul leitakse päeva keskmiste kiiruste andmetest, st lühema perioodiga kiirusvälja muutused on välja filtreeritud. Hoovuse kiiruse keskmise mooduli väärtused praeguses olukorras on üldiselt suurusjärgus 5 cm/s, suurenedes tammi lähedal 9 cm/s ja lõunabasseini keskosas (madal mereala) suureneb kiiruse moodul 10-12 cm/s (joonis 3.1.2.8, alumised paneelid). Alternatiivi A1 korral on aasta keskmise kiiruse mooduli muster sarnane praeguse olukorraga, kuid Muhu poolse tammi ava ümbruses on näha suuremaid väärtusi. Ka alternatiivi A2 korral on kiiruse mooduli üldine muster sarnane alternatiiviga A1, kuid lisanduvad suuremad kiiruse mooduli väärtused Saaremaa poolse tammi ava juures, kuni 15 cm/s. Juhul kui tammi ei ole muutub kiiruse mooduli muster oluliselt. Tammi praeguse asukaha ümbruses suurenevad kiiruse mooduli väärtused kuni 15 cm/s, kusjuures suurte väärtustega ala ulatub lõunabasseinis kaugemale. Samuti on lõunabasseini keskosas suured kiiruse mooduli väärtused.

Üldiselt võib öelda, et tammi avade tegemise korral väheneb aasta keskmine soolsus väina põhja- ja suureneb väina lõunapoolses osas ning aasta keskmiste pinnahoovuste mooduli struktuuris olulisi muutusi täheldada ei saa. Erandiks on avade vahetus läheduses olev mereala.

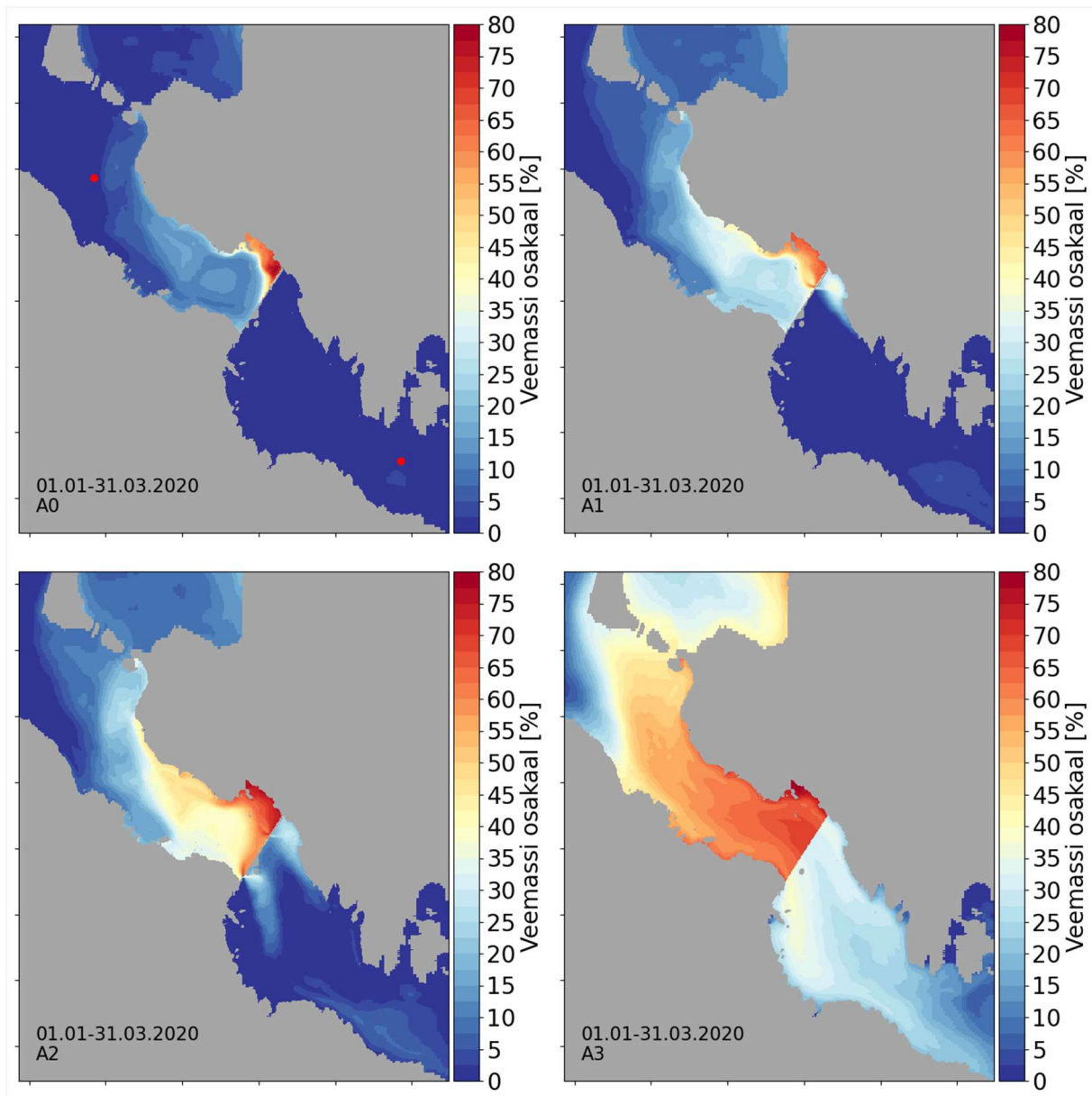


Joonis 3.1.2.8. Aasta keskmine soolsuse jaotus (ülemine rida) ja aasta keskmise hoovuse kiiruse mooduli jaotus (alumine rida) praegusel olukorral (A0), alternatiivide A1 ja A2 korral ja kui tamm puudub (A3).

Joonistel 3.1.2.9. - 3.1.2.12 on toodud Väinamere ja Liivi lahe veemasside osakaalud vastavalt Väikese väina lõuna- ja põhjapasseinis erinevate alternatiivide korral. Veemassid on defineeritud praeguse olukorra (A0) kvartali keskmiste soolsuste järgi (punaste punktidega märgitud asukohtades, joonistel ülemine vasak paneel). Soolsuse väärtused, mis on väiksemad kui lõunapoolse punkti soolsus või viimasega võrdsed, vastavad 100% Liivi lahe veemassile ning soolsuse väärtused, mis on kõrgemad kui põhjapoolse punkti soolsus või viimasega võrdsed, vastavad 100% Väinamere veemassile. Vahepealsete väärtuste jaoks on arvatud osakaalud lineaarselt.

Esimeses kvartalis praeguses olukorras (A0) on lõunabasseinis Väinamere vee osakaal väga väike - ainult üksikutes punktides ning Tillunire vahetus läheduses on soolsuses eristatav Väinamere vett. Seevastu põhjapasseinis on Liivi lahe veemassi osakaal märgatav. Tillunire vahetus läheduses rohkem kui 80%, vähenedes piki Muhu looderannikut osakaaluni 15%. Ühe ava tekitamisel (alternatiiv A1) suureneb Väinamere veemassi osakaal tammi läheduses lõunabasseinis väärtuseni 35% ning väheneb Liivi lahe veemassi osakaal põhjaosas avade vahetus läheduses, kuid suureneb märgatavalt terves põhjapasseinis.

Kahe ava korral (alternatiiv A2) on Väinamere veemass lõunabasseinis tuvastatav mõlema ava läheduses ning põhjapasseinis Liivi lahe veemass osakaaluga suuremad ka kui 50% kogu basseini lõunaosas. Ilma tammita (A3) olukorras on Liivi lahe veemassi osakaal põhjapasseini suurem kui 60% ning Väinamere osakaal terves lõunabasseinis suurem kui 20%.

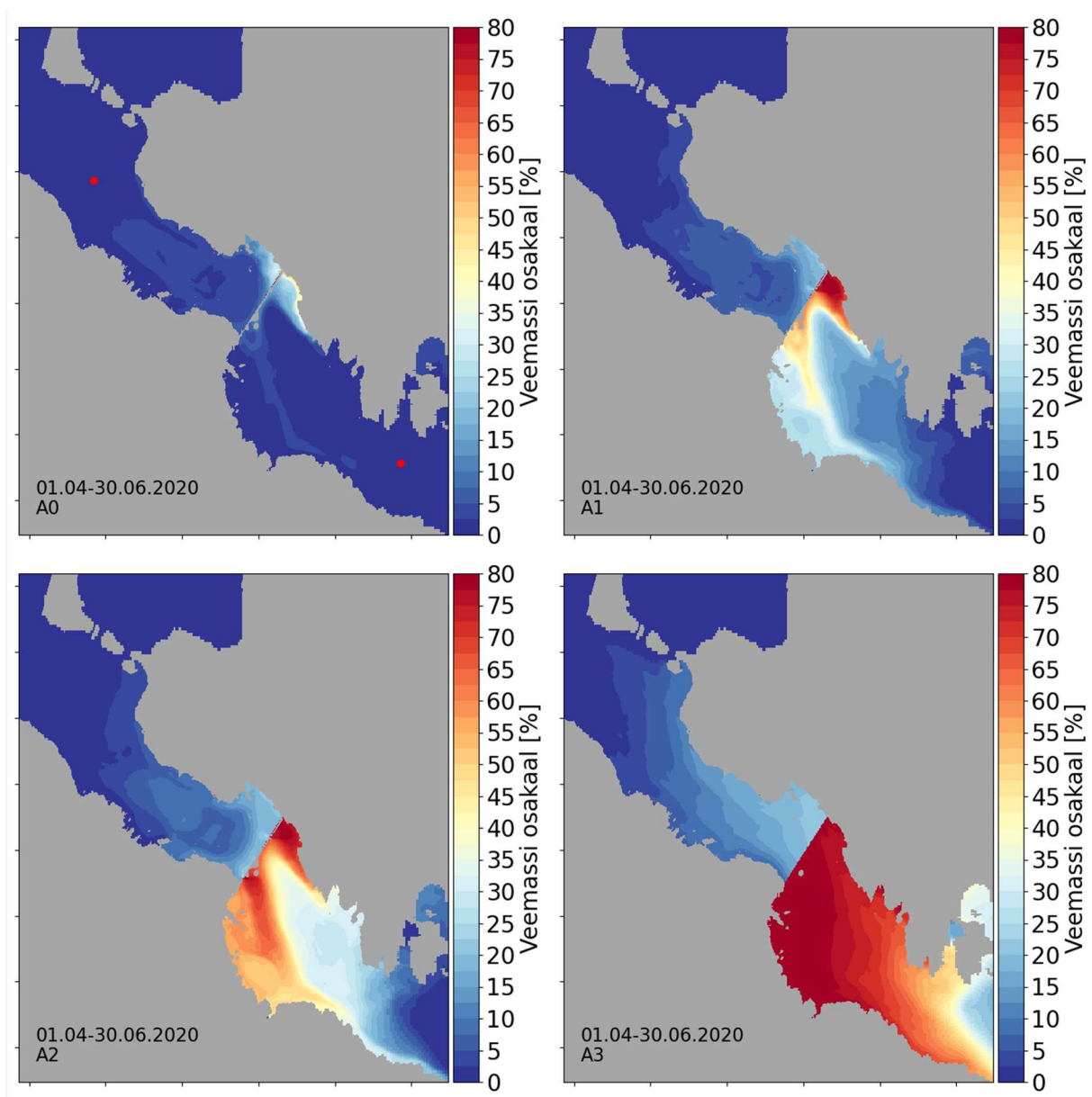


Joonis 3.1.2.9. Esimese kvartali (01.01 – 31.03.2020) veemasside osakaal Väikeses väinas praeguses olukorras (A0), alternatiivide A1 ja A2 korral ning ilma tammita (A3) korral. Väina lõunabasseinis on näidatud Väinamere veemassi osakaal, põhjapasseinis Liivi lahe veemassi osakaal. Veemassi soolsuse defineerimisel kasutatud asukohad on toodud üllemisel vasakul paneelil (A0).

Teises kvartalis on praeguses olukorras (A0) Liivi lahe veemassi osakaal põhjapasseinis madalam kui esimeses kvartalis, ainult Tillunire läheduses ulatuvad väärtused ~35%-ni. Lõunabasseinis on Tillunire läheduses piki Muhu rannikut Väinamere veemassi osakaal 40% vähenedes kagu suunas kiiresti väärtusteni alla 3%. Ühe avaga alternatiivi (A1) korral väheneb Liivi lahe veemassi osakaal Tillunire vahetus läheduses võrreldes praeguse olukorraga (A0), kuid suureneb terve põhjapasseini ulatuses. Tammist lõuna pool on Väinamere veemassi osakaal märgatavalt suurenenud- Tillunire vahetus läheduses ulatuvad väärtused üle 80%. Kõrgemad väärtused levivad ka piki Muhu rannikut kagu suunas ja piki tammi Saaremaa poole.

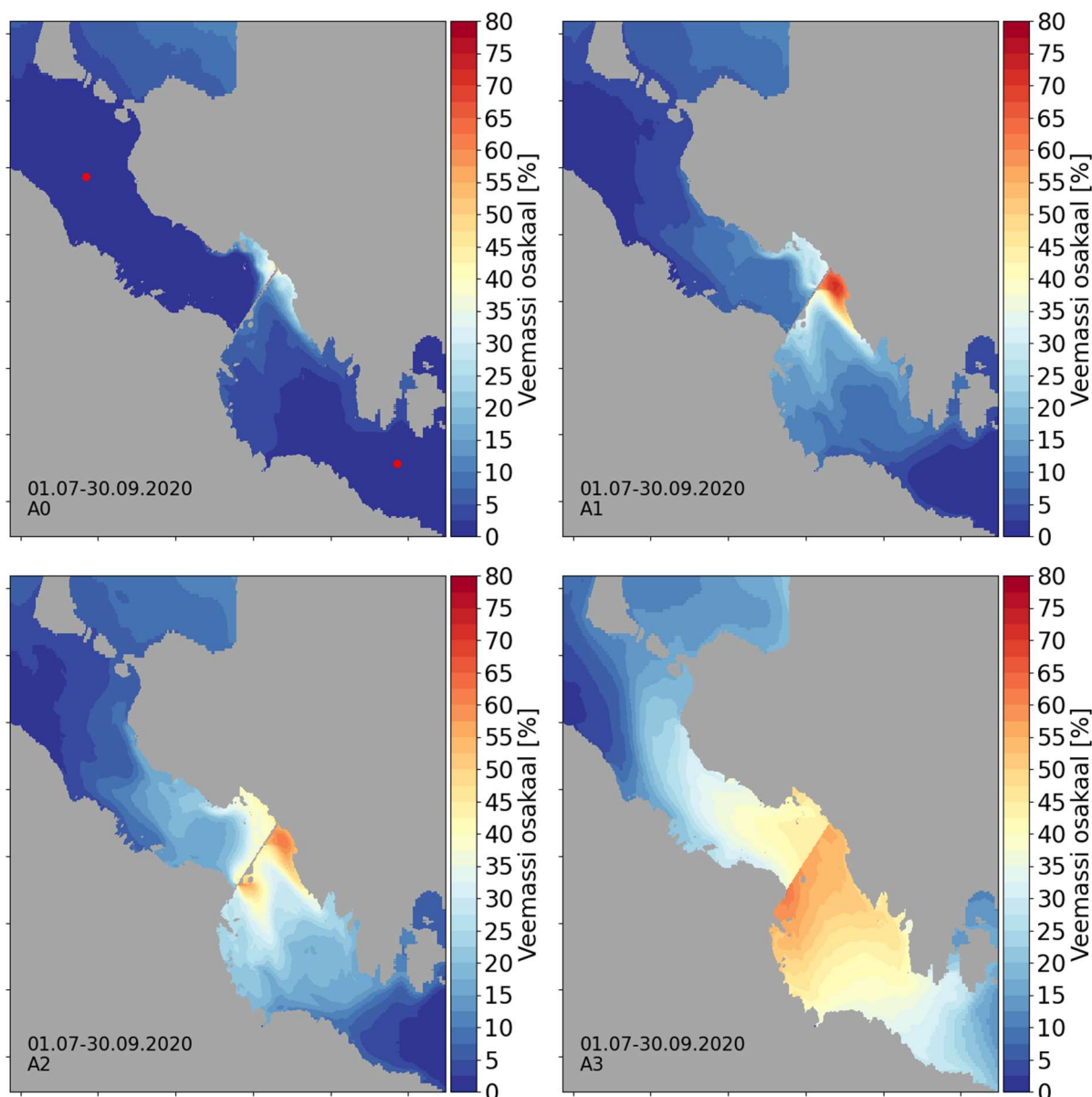
Kahe avaga alternatiivi (A2) korral suurenevad veemasside osakaalud tammi ümbruses veelgi, põhjapasseinis on mõlema ava vahetus läheduses väärtused ~30%. Lõunabasseinis on avade vahetus läheduses väärtused kõrgemad kui 80%. Terve lõunabasseini ulatuses on Väinamere veemassi osakaal

suurem Saaremaa pool ning väheneb Liivi lahe suunas. Tammi puudumisel (A3) on Liivi lahe veemassi osakaal 30%, Väinamere veemassi osakaal kõrgem kui 80%.



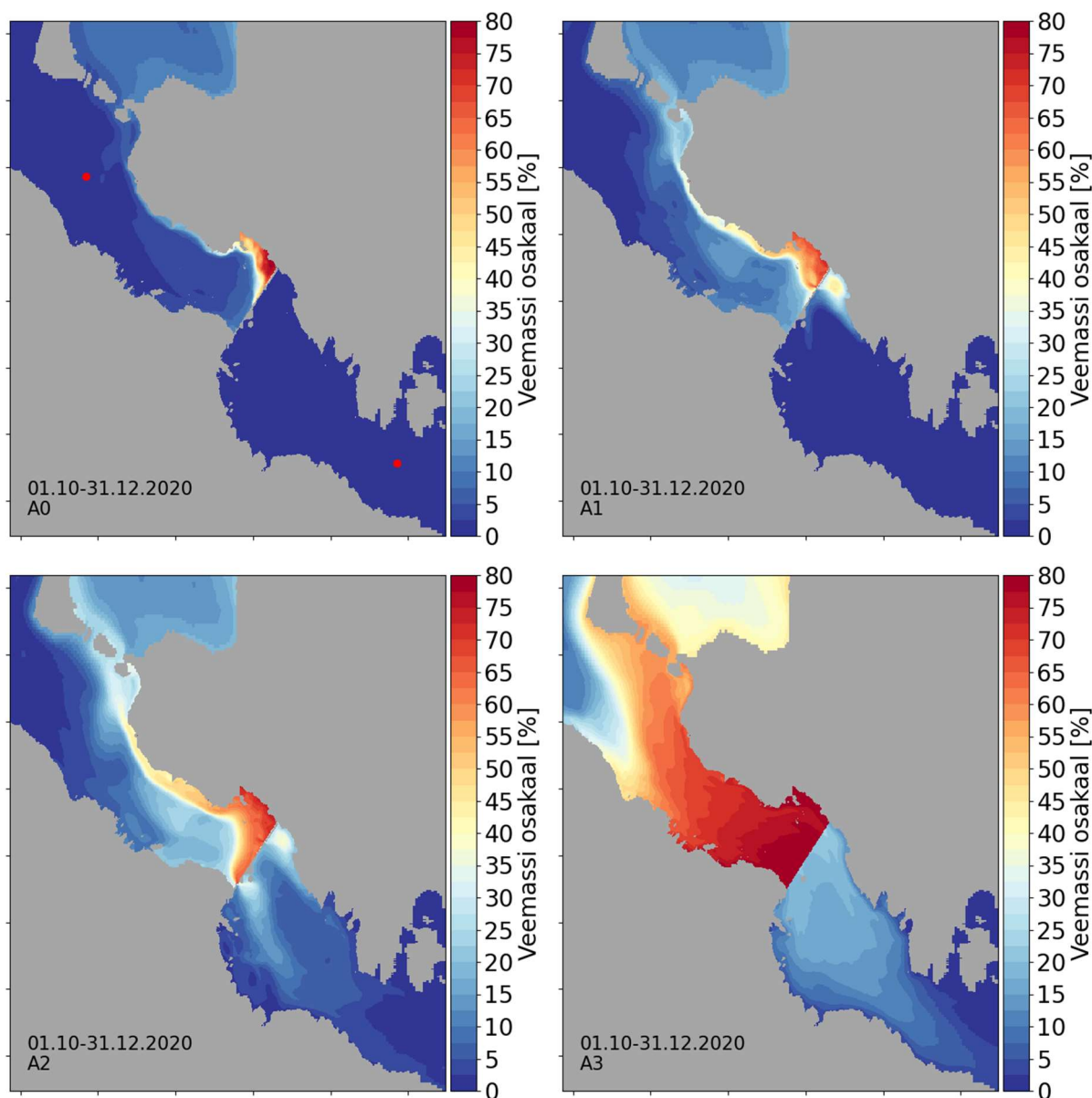
Joonis 3.1.2.10. Teise kvartali (01.04 – 30.06.2020) veemasside osakaal Väikeses väinas praeguses olukorras (A0), alternatiivide A1 ja A2 korral ning ilma tammita (A3) korral. Väina lõunabasseinis on näidatud Väinamere veemassi osakaal, põhjabasseinis Liivi lahe veemassi osakaal. Veemassi defineerimisel kasutatud soolsuste asukohad on toodud ülemisel vasakul paneelil (A0).

Veemasside osakaalud basseinides kolmandas kvartalis on ümberpööratud võrreldes esimese kvartaliga. Liivi lahe veemassi osakaal on suurem põhjabasseinis ainult Tillunire lähistel, samas kui Liivi lahe veemassi osakaal lõunabasseinis on tuvastatav ka tammist eemal. Samas, juba ühe ava tegemisega jaotused ühtlustuvad st. tammi vastaspoolelt pärit veemasse on näha mõlemal pool tammi, kuid enam on suurenenud Väinamere veemasside osakaal lõunabasseinis.



Joonis 3.1.2.11. Kolmanda kvartali (01.07 – 30.09.2020) veemasside osakaal Väikeses väinas praeguses olukorras (A0), alternatiivide A1 ja A2 ning ilma tammita (A3) korral. Väina lõunabasseinis on näidatud Väinamere veemassi osakaal, põhjapoolses Liivi lahe veemassi osakaal. Veemassi defineerimisel kasutatud soolsuste asukohad on toodud ülemisel vasakul paneelil (A0).

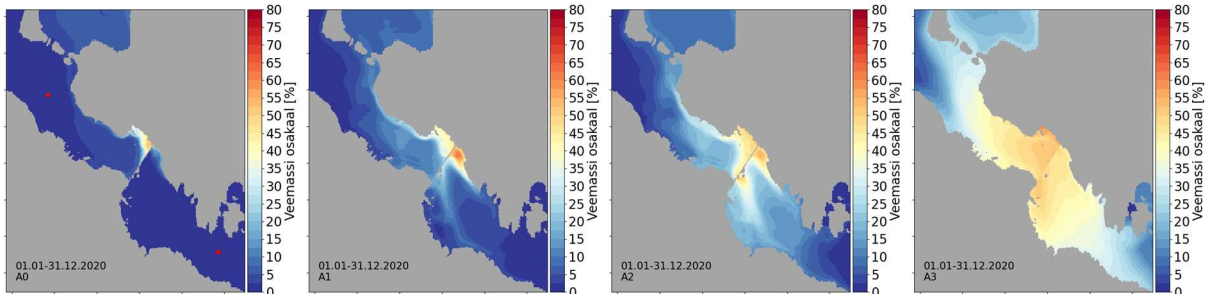
Neljanda kvartali veemasside osakaalude jaotus praeguses olukorras (A0) on sarnane esimese kvartali jaotusega, Väinamere osakaal lõunabasseinis olematu, Liivi lahe veemassi osakaal põhjapoolses väiksem kui esimeses kvartalis, aga siiski märgatav. Eriti Tillunire vahetus läheduses. Ühe ava tekitamisel (A1) suureneb ka Väinamere veemasside osakaal lõunabasseinis, kuid oluliselt suureneb Liivi lahe veemasside osakaal põhjapoolses. Kahe ava korral (A2) osakaalud suurenevad oluliselt. Ilma tammita olukorra (A3) puhul kasvab Liivi lahe veemassi osakaal vähemalt väärtuseni 50% terves Väikeses väina põhjaosas ning vähemalt väärtuseni 80% tammi vahetus läheduses ning Väinamere veemasside osakaal väärtuseni 30% tammi lähistel lõunabasseinis ja vähemalt väärtuseni 20% lõunabasseini kaugeimates osades.



Joonis 3.1.2.12. Neljanda kvartali (01.10 – 31.12.2020) veemasside osakaal Väikeses väinas praeguses olukorras (A0), alternatiivide A1 ja A2 korral ning ilma tammita (A3) korral. Väina lõunabasseinis on näidatud Väinamere veemassi osakaal, põhjapasseinis Liivi lahe veemassi osakaal. Veemassi defineerimisel kasutatud soolsuste asukohad on toodud ülemisel vasakul paneelil (A0).

Joonisel 3.1.2.13 on toodud veemasside osakaalud terve 2020. aasta jaoks kõikide käsitletud alternatiivide korral. Alternatiivi A0 korral on Väinamere veemass Väikese väina lõunabasseinis tagasihoidlik – ainult olemasoleva kanali vahetus läheduses on põhjapasseini veemassi näha. Põhjapasseinis on Liivi lahe veemassi levik laiaulatuslikum, osakaal ulatub Tillunire lähistel kuni 50%. Näha on Liivi lahe vee levikut piki Muhu rannikut Kõinastu suunas. Avast kaugemal, põhjapasseini keskosas, jääb osakaal alla 10%. Alternatiivi A1 korral on mõlemal pool tammi veemasside osakaalud oluliselt suurenenud. Suurimad väärtused on lõunabasseinis Tillunire ja uue ava ümbruses, kus Väinamere veemassi osakaal ulatub 60 protsendini ning avast eemal, lõunabasseini keskosas, vähemalt 15%-ni. Ka põhjapasseinis suureneb Liivi lahe veemasside osakaal selgelt juba ühe ava korral. Ava vahetus läheduses väärtuseni kuni 45% ning põhjapasseini keskosas väärtuseni 20%. Lisaks suureneb ka kaugus tammist, milleni tammi vastaspoolelt pärit veemass tuvastatav on.

Kahe ava korral levivad nii Liivi lahe kui ka Väinamere veemassid tammist oluliselt kaugemale. Veelgi kaugemale levivad veemassid ilma tammita variandi korral, kus suurimad väärtused on üle 50% mõlemal pool tamm. Viimane tähendab sisuliselt, et praegu tammi poolt tekitatud horisontaalne veemasside järsk gradient kaob.



Joonis 3.1.2.13. 2020. aasta veemasside osakaal Väikeses väinas praeguses olukorras (A0), alternatiivide A1 ja A2 korral ning ilma tammita (A3) korral. Väina lõunabasseinis on näidatud Väinamere veemassi osakaal, põhjabasseinis Liivi lahe veemassi osakaal. Veemassi defineerimisel kasutatud soolsuste asukohad on toodud vasakpoolsel paneelil (A0).

Kokkuvõttes võime öelda, et tammil on väina füüsikalistele näitajatele oluline mõju. Ilma tammita läbiks väina hoovus, olles eriti tugev madalamates piirkondades, sh. praeguses tammi asukohas. Väinas oleks tunduvalt ühtlasem soolsuse jaotus ja tammi piirkonnas ei tekiks suvisel ajal lokaalset aurumisest tingitud soolsuse maksimumi. Arvatavasti oleksid ka temperatuuri muutused aeglasemad ja mitte nii suure amplitudiga. Tammi puudumisel oleksid väinas ilmselt sarnane vee karakteristikute gradient nagu Suures väinas. Gradient oleks väga liikuv, selle asukoht muutuks seoses basseini omavõnkumistega aga sünoptiliste tuulesündmustega. Samuti oleks gradiendil valitseva tuulte tõttu sesoonsus.

Tänapäeval on väinas kiired temperatuuri muutused. See avaldub nii tugeva ööpäevase käiguna kui ka mitmepäevaste kuuma/külmalainete tagajärjel tekkiva soojenemise/jahtumisenä. Ilmselt avade tegemine siin mingisugust tagasihoidliku mõju avaldab. Temperatuuri muutused ei oleks nii järsud ja muutlikkuse amplituud oleks veidi väiksem. Avade rajamine ühtlustab kahe tammiosa vahelist soolsuse erinevust. See tähendab, et Liivi lahte jääv väinaosa muutub veidi soolasemaks ning Väinamere osa veidi magedamaks. Suvine lokaalne soolsuse maksimum tammi ääres tänu paranenud veevahetusele tõenäoliselt väheneb. Kuna simulatsioon ei suuda täielikult tabada temperatuuri äärmuslikke maksimume ega soolsuse lokaalset maksimumi, siis ei ole võimalik kvantitatiivset hinnangut mõjule anda. Il alternatiivi puhul oleks mõju suurem kui I alternatiivi puhul.

Hoovuse kiiruse keskmise mooduli väärtused praeguses olukorras on üldiselt suurusjärgus 5 cm/s, suurenedes tammi lähedal 9 cm/s ja lõunabasseini keskosas (madal mereala) suureneb kiiruse moodul 10-12 cm/s. Alternatiivide rakendumise korral jääks väina üldine hoovuste struktuur sarnaseks praeguse olukorraga. Oluliselt muutuksid hoovused vaid avade lähistel.

Väike 4 m Tillunire kanali mõju oli mõõtmiste põhjal näha üle 2 km kaugusele. Seda kinnitavad ka tammi vastaspoolelt pärit veemassi leviku analüüs simulatsiooni andmete põhjal. Esimeses ja neljandas kvartalis on selgelt näha Liivi lahe vee levikut Väinameres piki Muhu rannikut. Teises ja kolmandas kvartalis on mõju näha mõlemal pool tamm, st. nii Väinamere veemassi mõju Liivi lahes, aga ka vastupidi.

Et selgitada nii väikese ava mõju jõudmist suhteliselt kaugemale, on oluline märkida, et iga edasi-tagasi võnkumisega segatakse tammiga omavahel eraldatud väinaosade vett. Selline võnkumine kumulatiivse vee voona ja ainult hoovusandmeid vaadates võib näida ebaoluline (sest toimub vee edasi-tagasi pendeldamine), kuid tuleb silmas pidada, et tammiga tekitatud kunstlikes lahtedes on ka iseseisvad tsirkulatsioonid. See tähendab, et kanalis toimuv edasi-tagasi liikumine haarab iga võnkega erinevate omadustega vett. Teisisõnu, vesi, mis voolas pulsatsioonina Liivi lahest Väinamerre, seguneb Väinamere veega või kantakse avast eemale ning võnke vastasfaasis saabub Väinamerest Liivi lahte segunenud või

hoopis teiste omadustega veemass. Seega on läbi väikese ava toimuva veevahetuse olemus hoopis teistsugune võrreldes näiteks Suure väinaga.

Eelkirjeldatu põhjal saab ka selgitada uute avade suhteliselt suurt mõju veemasside jaotustele. Juba ühe ava rajamisel oleks esimeses ja neljandas kvartalis Liivi lahe veemassi osakaal ca pooles väina loodeosas üle 30%. Teises kvartalis oleks arvestatav osa väina kaguosas mõjutatud Väinamerest pärit veemassiga. Kolmandas kvartalis oleks tammi vastaspoolelt pärit veemassi levik mõlemal pool väina tagasihoidlikum, kuid ikkagi arvestatav. Kahe ava rajamisel oleks veemasside osakaal tammi vastaspoolel veelgi suurem. Oluline on märgata tammi vastaspoolelt pärit veemasside leviku sesoonsust. Teises ja kolmandas kvartalis, bioloogiliselt aktiivseimal perioodil suureneb avade rajamisel oluliselt Väinamere veemassi osakaal ja levik Liivi lahes, eriti väina kaguosas tammlähedases pooles. Varasemate uuringute põhjal on just väina seda osa peetud kõige enam tammi poolt mõjutatuks. Ka käesoleva uuringu põhjaelustiku mõõdistus viitab viimasele. Avade rajamisel tekkiv Väinamere veemassi tänasest tunduvalt suurem osakaal ja suurem veevahetus mõjuvad siin merekeskkonna seisundile positiivselt.

Väinatamm mõjutab ka lainetust ja veetaseme jaotuseid, kuid antud töös me neid aspekte ei käsitlenud. Mõju lainetusele on küllalt selge. Kuna tamm on ees, siis laine sealt edasi ei levi. Tillunire on kaarjas kanal, ka sealt läbi tuulelainetus ei levi. Kui teha 28 m ava, siis lokaalne mõju tammist allatuult jäävale väinaosale on olemas. Võttes arvesse mereala madalust ja ava suurust võrreldes väina enda gabariitidega, siis on avade rajamise mõju ikkagi tagasihoidlik ja lokaalne.

Tammi ja sellesse avade rajamise mõju veetaseme jaotustele on analüüsinud TÜ teadlased (MTÜ Eurohouse, 1999). Üldiselt erinevad kahe väinaosa vahelised veetasemed harva enam kui 20-30 cm, kuid nt. 1995. a. oli erinevus enam kui 1 m kümnel korral. Leiti, et kaks 18 m laiust ava veetaseme muutlikkust oluliselt ei mõjuta, sest suured veeseisude vahed taanduvad kiiremini kui avadest läbi voolav vesi jõuaks kahe väinaosa vahel veetasemed ühtlustada. Ka kahe 28 m ava puhul peab see järeldus ilmselt suures osas paika.

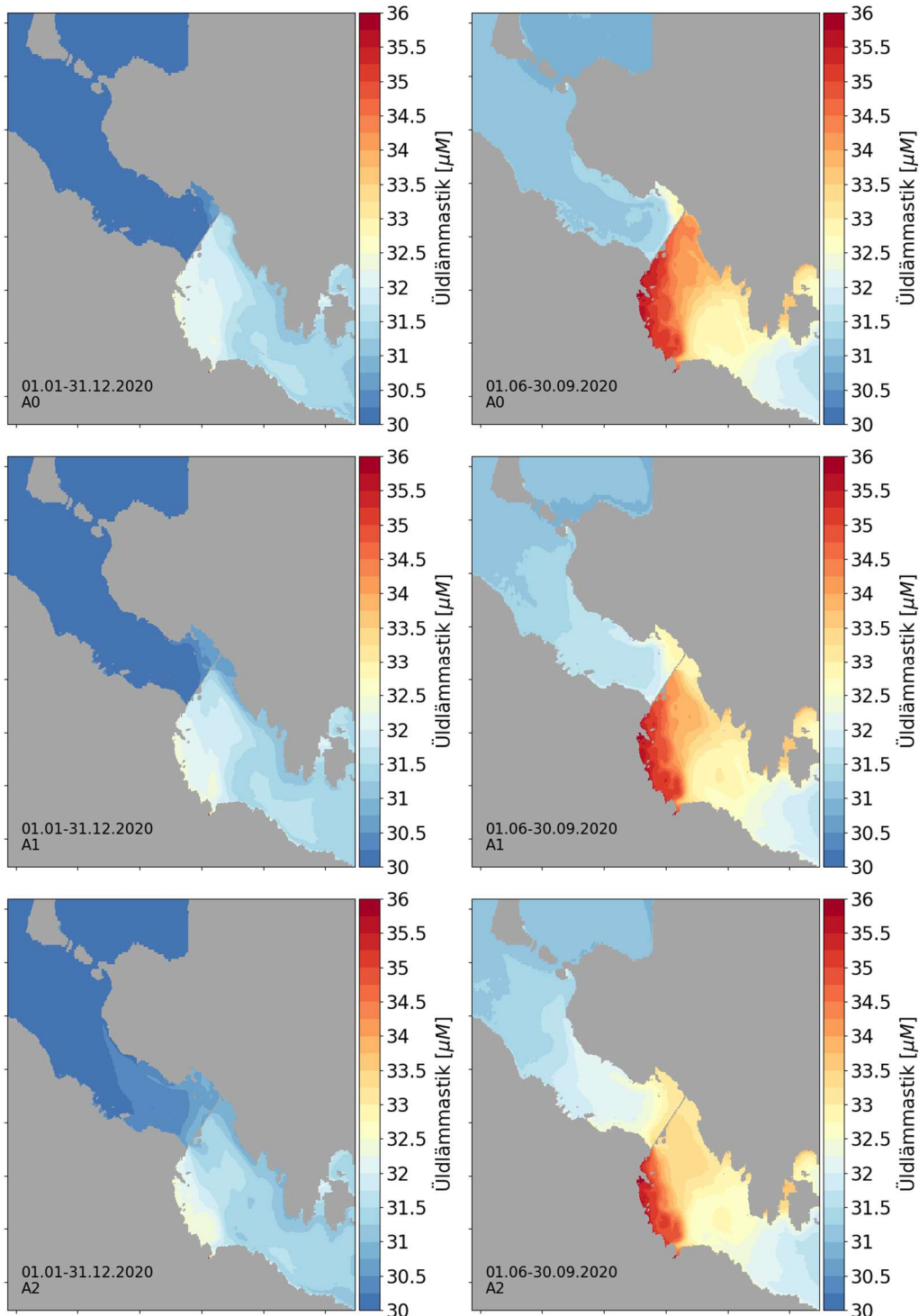
3.1.3. Vee kvaliteet

Joonistel 3.1.3.1 ja 3.1.3.2 on toodud modelleeritud keskmiste üldlämmastiku ja üldfosfori kontsentratsioonide jaotused Väikese väina kõrglahutusega arvutuse piirkonnas praeguses olukorras (AO) ning alternatiivide A1 ja A2 korral kogu arvutusperioodile ja kuude vahemikule juuni-september. Joonistel 3.1.3.3 ja 3.1.3.4 on toodud üldlämmastiku ja üldfosfori kontsentratsioonide muutused avade rajamisel.

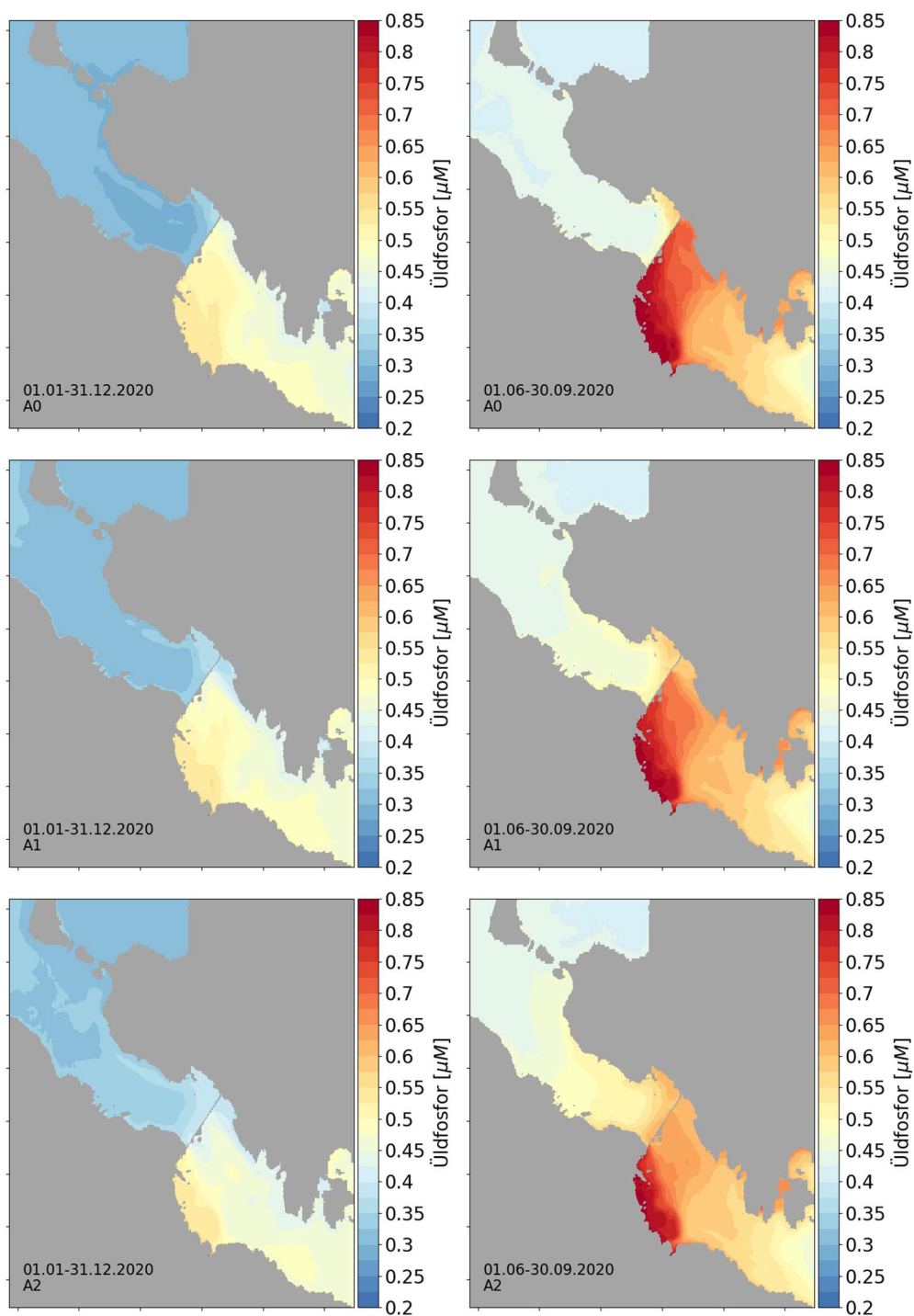
Üldlämmastiku aasta keskmised kontsentratsioonid on üldiselt madalad. Suuremad üldlämmastiku kontsentratsioonid on väina lõuna- ja väiksemad väina põhjapoolses osas kõikide arvutuste korral. Samuti on näha tammi avade mõju tammi lähedal. Suvised üldlämmastiku sisaldused on kõrgemad väina Liivi lahe poolses osas tammi lähedal. Väinamere pool tammilähedasi kõrgeid väärtuseid (nagu tuli välja mõõtmistest) simulatsioon ei näita. Modelleerimistulemused viitavad, et tammi avade rajamine vähendab üldlämmastiku kontsentratsioone gradiente kahe väinaosa vahel tammi ümbruses. Võib eeldada, et mõõtmistega registreeritud kõrged tammilähedased üldlämmastiku sisaldused avade rajamisega vähenevad. See tähendab, et tammist vahetult loodes üldlämmastik mitte ei kasva nagu simulatsioon näitab, vaid tõenäoliselt kahaneb. Samas ei põhjusta veevahetuse suurenemine olulist üldlämmastiku tõusu naaberladel, sest tammiäärse veemaht võrreldes sügavate aladega on väike.

Sarnaselt üldlämmastiku kontsentratsiooni jaotusele on ka üldfosfori kontsentratsioonid simulatsioonis suuremad väina lõunapoolses osas (joonis 3.1.3.2). Suuremad üldfosfori kontsentratsioonid on väina lõuna- ja väiksemad väina põhjapoolses osas kõikide arvutuste korral. Samuti on näha tammi avade mõju tammi lähedal. Suvised üldfosfori kontsentratsioonid on kõrgemad, ja samuti on kõrgemad kontsentratsioonid väina Liivi lahe poolses osas tammi lähedal. Tammi avade tekitamine vähendab

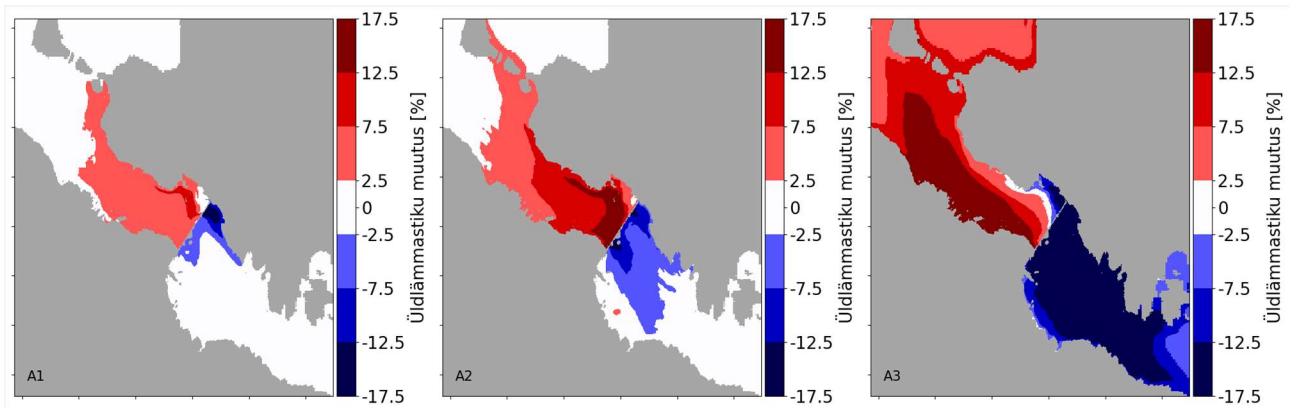
üldfosfori kontsentratsiooni gradienti kahe väinaosa vahel tammi ümbruses. Üldfosfori kontsentratsioonid vähenevad mõnevõrra lõunaosas nii alternatiivi A1 kui ka alternatiivi A2 korral ning suurenevad põhjaosas. Seda seletada Liivi lahe ja Väikese väina põhjaosa vahelise veevahetuse intensiivistumisega. Ilmselt on vähenemine/suurenemine tagasihoidlikum kui simulatsioon näitab, sest mõõtmistega nii tugevat üldfosfori gradienti (nagu simulatsioon näitab) me ei tuvastanud.



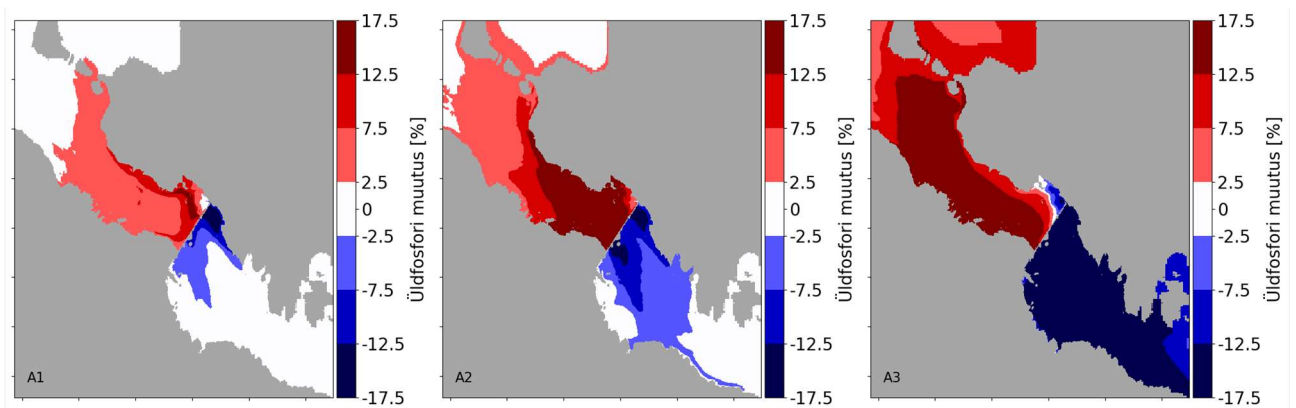
Joonis 3.1.3.1. Üldlammastiku kontsentratsiooni aasta keskmiste väärtuste jaotused praeguses olukorras (A0) ja alternatiivide A1 ja A2 korral (vasakpoolsed paneelid). Üldlammastiku kontsentratsiooni keskmiste väärtuste jaotused perioodil juuni-september praeguses olukorras (A0) ja alternatiivide A1 ja A2 korral (parempoolsed paneelid).



Joonis 3.1.3.2. Üldfosfori kontsentratsiooni aasta keskmiste väärtuste jaotused praeguses olukorras (A0) ja alternatiivide A1 ja A2 korral (vasakpoolsed paneelid). Üldfosfori kontsentratsiooni keskmiste väärtuste jaotused perioodil juuni-september praeguses olukorras (A0) ja alternatiivide A1 ja A2 korral (parempoolsed paneelid).



Joonis 3.1.3.3. Üldlämmastiku aasta keskmiste kontsentratsioonide suhteliste muutuste jaotused alternatiivide A1 ja A2 korral ning tammi puudumisel (A3) korral võrreldes praeguse olukorraga (A0). Alad, kus muutus oli väiksem kui 2,5% on valged.



Joonis 3.1.3.4. Üldfosfori aasta keskmiste kontsentratsioonide suhteliste muutuste jaotused alternatiivide A1 ja A2 ning tammi puudumise (A3) korral võrreldes praeguse olukorraga (A0). Alad, kus muutus oli väiksem kui 2,5% on valged.

Järgnevalt vaatleme kuidas muutuvad Väikese väina veekogumite (põhjabassein ja lõunabassein) suvised (juuni-september) keskmised üldlämmastiku ja üldfosfori kontsentratsioonid alternatiivide A1 ja A2 korral ja tammi puudumisel (Tabel 3.1.3.1) ja võrdleme neid rannikuvee pinnaveekogumite ökoloogiliste seisundiklasside piiridega (Tabel 2.2.1.2). Praeguses olukorras ja alternatiivide A1 ja A2 korral kuuluvad mõlema veekogumi keskmised üldlämmastiku ja üldfosfori kontsentratsioonid klassi 'kesine', st tammi avade tegemine ühe aasta jooksul veekogumite üldainete keskmistele kontsentratsioonidele märgatavat mõju ei avalda. Pikemal perioodil võib mõju keskkonnaseisundile avalduda. Ilma tammita arvutuse korral ilmnes väike mõju üldlämmastiku keskmisele kontsentratsioonile ning suurem mõju üldfosfori keskmisele kontsentratsioonile lõunabasseinis, kus keskkonnaseisund muutus 'heaks'.

Tabel 3.1.3.1. Modelleeritud üldlämmastiku ja üldfosfori põhjabasseini ja lõunabasseini keskmised kontsentratsioonid suvisel perioodil (01.06–30.09.2020) praeguses olukorras (A0), alternatiivide A1 ja A2 korral ning ilma tammita (A3).

	Põhjabassein				Lõunabassein			
	A0	A1	A2	A3	A0	A1	A2	A3
Üldlämmastik [mg/l]	0,44	0,44	0,44	0,44	0,47	0,47	0,46	0,44
Üldfosfor [mg/l]	0,014	0,014	0,015	0,014	0,021	0,020	0,019	0,014

Kokkuvõttes, tammi avade tegemine ühe aasta jooksul veekogumite üldainete keskmistele kontsentratsioonidele märgatavat mõju ei avalda. Pikemal perioodil võib positiivne mõju ikkagi avalduda. Tammi kõige tugevama mõju all olev piirkond on tammilähedane ala, kus üldlammastik oli tunduvalt kõrgem kui tammist eemal. Simulatsioon ei näita sellist lokaalset maksimumi, kuid mudelarvutusega saadud tendentsid viitavad, et tammi lähedal, eriti avade läheduses üldlammastiku sisaldused langevad. Tammist loodes paraneb veevahetus 45% ja kagus ligikaudu 32%. Samas ei põhjusta veevahetuse suurenemine olulist üldlammastiku tõusu naaberladel, sest tammiäärse ala maht võrreldes sügavamate kõrvalaladega on väike. Mõju hapniku jaotustele me käesolevas töös eraldi ei uurinud, kuid lähtudes mõõtmisandmetest ning veemasside ja veevahetuse analüüsist, võib järeldada, et avade rajamisel kevad-suvine tugev hapniku ööpäevane käik muutub mõnevõrra väiksemaks. Samuti võib järeldada, et külmemal perioodil vaadeldud hapnikuvaegus mõnevõrra taandub. Kvantitatiivset hinnangut me sellele positiivsele mõjule hapniku sisalduste osas olemasoleva materjali põhjal anda ei saa.

3.1.4. Põhjaelustik

Kahe km ulatuses mõlemal poolt tammi on põhjataimestiku kooslus oma struktuurilt üsna sarnane. Suures osas esineb määndvetikaid ja õistaimi. Esimesed on eutrofeerumisest tingitud tagajärgede suhtes tundlikumad (põhiliselt tänu veeläbipaistvuse kahanemisele, Van Den Berg, 1998). Põhjaloomastiku osas leiti tammist lõunas puhast veekogu iseloomustavaid liike neli, põhjaosas leiti neid kaheksa.

Väikeses väinas on väga spetsiifilised tingimused, nagu madal sügavus ja piiratud veevahetus, lisaks on tammi läheduses täheldatud toitainete kõrgemad kontsentratsioonid kui kaugemates punktides. Suurem toitainete sisaldus ja hapniku tingimuste järsud muutused tammi otseses läheduses on märk potentsiaalselt suuremast eutrofeerumise poolt tingitud koormusest põhjakooslustele. Mida suurem mitmeaastaste liikide osakaal põhjataimestiku üldbiomassis, seda kõrgeim on ökoloogilise seisundiklass rannikuvee pinnaveekogumis (Keskkonnaministri 16.04.2020. a määrus nr 19). Olemasolevate andmete põhjal on mitmeaastaste vetikate kõrgeim osakaal põhjataimede kooslustes täheldatud ainult tammist kaugemates punktides. Sellist mitmeaastaste ja üheaastaste liikide jaotust ei saa otseselt siduda tammi olemasoluga. Nimelt on mitmeaastaste liikide nagu põisadru levikule oluline ka kõva põhjasubstraadi olemasolu. Samas soodustab tamm pehmematerjali settimist, võrreldes tammieelse ajaga on väin hüdrodünaamiliselt tunduvalt vähem aktiivne piirkond ja settimine tõenäoliselt intensiivsem.

Avade rajamise mõju põhjataimestikule sõltub hüdrodünaamilise režiimi ja põhjasubstraadi struktuursetest muutustest. Alternatiiv II puhul oleme hinnanud veevahetuse suurenemist ligikaudu 30% tammist põhjas ja 45% tammist lõunas (tammi vahetuses läheduses). Mõju ulatust põhjataimestikule ei ole võimalik kvantitatiivselt hinnata, kuid võib eeldada, et teatud pikaajaline positiivne mõju põhjataimestikule ikkagi aset leiaks. Positiivne mõju on suurem II alternatiivi korral ja väiksem I alternatiivi korral.

Selgrootetest filtreerijad (rannakarp, balti lamekarp), kes asustavad tammist kõige kaugemad elupaikad, tammiavad ei mõjuta. Samas südakarp, keda on täheldatud tammi otseses läheduses madalas vees, võib muutuda oma elupaikades veelgi arvukamaks rikastades kalade toidubaasi, kui hapniku ja temperatuuri kõikumised vähenevad. Pikas perspektiivis soodustab avade rajamine tammi läheduses madalas vees selliste suurselgrootute liikide levikut, mis on eutrofeerumise suhtes kõige tundlikumad nagu putukavastsed ja kohalikud kirpvähid. Mõju on suurem II alternatiivi korral ja väiksem I alternatiivi korral.

Esineda võib lühiajaline ehitusaegne mõju (lokaalne hägususe kasv, setetest toitainete eraldumine), mis on suurem II alternatiivi puhul, väiksem I alternatiivi puhul. Samas tuleb silmas pidada, et väinas esineb looduslikult väga sageli setete resuspensiooni ja hägususe tõusu. Teiseks, paigaldati 2019. aastal väina, Väinamere poolde, Muhu-Saaremaa merekaabel. Selle töö käigus tekkiva heljumi hulk oli ilmselt suurem ning see oli palju laiemat ulatusega kui põhjustaks avade ehitamine. Merekaabli paigalduse arvestatavaid mõjusid põhjaelustikule me antud uuringus ei tuvastanud. Uuringus kogutud ohtlike ainete

konsentratsioonid on alla sihtarvude, mistõttu ei ole oodata ka reostuse teket. Seega võib eeldada, et ehitusaegne mõju on vaid ajutine ja arvestades loodusliku varieeruvust ebaoluline.

Kokkuvõttes võib järeldada, et avade rajamine võib tõenäoliselt anda teatud positiivset mõju läbi veevahetuse parendamise ja hüdrodünaamilise aktiivsuse osalise taastamise tammi läheduses. Mõju on suurem II alternatiiviga, väiksem I alternatiiviga. Ehitusaegne mõju põhjaelustikule on tõenäoliselt ebaoluline.

3.1.5. Kalastik

Käesolevas töös on kirjeldatud Väikese väina hetkeseisu kalastiku kevadist aspekti ja võrreldi väina läbiva tammiga eraldatud põhja- ja lõunapoolse piirkonna kalastiku erinevusi. Arvukuselt domineerisid ahvenlaste ning karplaste sugukondade liigid – ahven, kiisk, viidikas, hõbekoger ja särg. Tavalised olid ka meritint, haug ja säinas. Biomassist moodustasid enamuse suuremakasvulised kalaliigid - hõbekoger, ahven, haug ja säinas. Väinatammiga eraldatud väina põhja – ja lõunapoolsete alade kalastiku erisused olid kalastiku statistilise koondanalüüsi andmetel vähesed. Küll aga olid täheldatavad erinevused mõnede liikide paiknemises – ahven oli arvukam tammist lõuna pool, haug ja säinas tammist põhja pool väinas. Merelised liigid – räim, kilu ja lest – olid valdavalt esindatud põhjapoolsel alal, kus suurema avameremõju tõttu on merevee soolsus mõnevõrra kõrgem. Ohustatud merisiia säilinud koelmualade esinemine leidis jooksva niisaga isassiigade tabamisega kinnitust mõlemal pool Väinatammi.

Käesolevale uuringule, samuti kohalike elanike ja kalastajatelt pärinevatele andmetele tuginedes saab öelda, et mingil määral toimub kalade liikumine väina põhja- ja lõunapoolse osa vahel Muhu rannikul asuva „Tillunire“ kanali kaudu ka tänapäeval. Kogutud andmed näitavad, et tamm on kaladele siiski liigist sõltuva raskusastmega rändetakistuseks. Et hinnata, mil määral erinevad liigid läbivoolu rändeks kasutavad, tuleks kasutada kalaloendurit või viia läbi spetsiaalsed kalastiku-uuringud läbivoolus pikema perioodi jooksul. Suuremad, väina avaosas paiknevad läbivoolud oleksid kindlasti positiivse mõjuga kalade rännetele, aidates leida sobivaimaid toitumis- ja koelmualasid ning vähendada võimaliku geneetilise isoleerituse määra kohalikes kalapopulatsioonides. Väina avaosas paiknevaid tammiavasid läbiks ka sellised mereliigid nagu räim, kilu, tuulehaug ja lest, kes kitsast „Tillunirest“ praegu ilmselt läbi rännata ei suuda.

Läbiviidud uuringu andmetel esines säilinud siikoelmuid ning kudevaid isendeid mõlemal pool tammi. Koelmute esinemine tammi vahetus läheduses oli positiivne üllatus, kuna eeldasime, et hea õnne korral võivad siikoelmud olla säilinud pigem väina suudmetes. Siikoelmute olukorra halvenemist pärast läbipääsude rajamist ei ole ilmselt põhjust eeldada, kuna koelmute mudastumise ja hapnikuvaeguse tekkimise oht väheneks.

3.1.6. Linnustik ja mereimetajad

Võimalikud mõjud linnustikule ja mereimetajatele võivad avalduda nii ehituse kui ka kasutuse ajal.

Madalaveeline Väike väin on atraktiivne rändepeatuskoht veelindudele. Väina keskosa tammist lõunas pakub häid toitumiskohti rändel olevatele kurvitsalistele. Rannaniitudel ja laidudel pesitsevad linnuliigid, kes kasutavad madalat rannikumerd toitumiskohtadena (Keskkonnaamet, 2014). Hetkel on suureks ohuks väinas peatuvatele ja pesitsevatele veelindudel Väikest väina poolitav kõrgepingeliin. Kõrgepingeliini täielik eemaldamine ja asendamine kaabliga on pikemaajalisem tegevus ning vajab suuremaid investeeringuid. Sellegipoolest on Elering 2020 aasta sügisel eemaldanud kõrgepingeliini kuuest faasijuhtmest kolm, samuti piksekaitsetrossi ning markeerinud ülejäänud juhtmed linnupeletitega.

Tammiavade ehitamisega seotud tegevustel võib tekkida teatud lisamüra. Arvestades tammil toimuvat igapäevast liikluskoormust on see siiski ebaoluline. Transpordiameti andmetel liigub maanteel keskmiselt ligikaudu 3000 autot päevas (Teede Tehnokeskus, 2020). Teatud mõju võib tuleneda ka suurenenud paadiliiklusest. Võrreldes tammil toimuva maismaaliiklusega on see siiski marginaalne.

Hoiuala maismaa-osa elupaikadest on suurimaks väärtuseks Väikest väina ümbritsevad rannaniidud, kus pesitsevad paljud kaitsealused linnuliigid. Väikese väina laidudel pesitsevaid linde mõjutavad ennekõike laidude kinnikasvamine, liiga varajane karjatamine, väikekiskjate röövlus ja häirimine laidude küllastajate poolt. Selle leevendavaks meetmeteks on laidude hooldamine, karjatamise alustamine peale pesitsusaega, röövloomade tõrje ja sadamatesse ning randumiskohtadesse üles panna laidude küllastamise vältimist soovitavad sildid (Keskkonnaamet, 2014).

Väikeses väinas esineb mereimetajatest viiherhülgeid ja hallhülgeid. Hallhülgeid võib kohata Väikese väina lõunaosas peamiselt kevadel ja hilissügisel, kuni jää tekkimiseni. Tasub märkida, et Väikese väina hoiualal nende puhkepaiku pole (Keskkonnaamet, 2014).

Viiherhülge puhkealaks on Muhu lõunarannikust 1-2 kilomeetri kaugusel asuvad Võilaiu ja Pühadekared. Peamised viiherhülgeid ohustavad tegurid on merekeskkonna reostus ja kliima soojenemine, ka häirimine, hukkumine kalurite mõrdades, merre ehitatav infrastruktuur (tuulepargid, sillad jms), laevateede käigushoidmine talvel (Keskkonnaamet, 2014).

Tammiavasid saaksid läbida vaid väikese süvisega alused, millel puudub avamere võimekus. Seega võib eeldada, et Pühadekare piirkonda neist enamus ei külasta. Pealegi kulgeb tänasel päeval ümber Pühadekare väheldane paadiliiklus Suure väina ja Lõunaranna sadama vahel. Seega ilmselt ei avalda avade rajamisega tekkiv täiendav paadiliiklus hüljestele olulist mõju. Teatud kaudne positiivne mõju võib tekkida läbi toidubaasi parendamise. Avade rajamine parandaks kalade rännet, mis omakorda võib potentsiaalselt viia sobivaimate toitumis- ja koelmualade asustamiseni.

Kokkuvõttes võib järeldada, et linnustikule on mõju ebaoluline. Võrreldes tammil toimuva maismaaliiklusega on ajutine ehitismüra ja ka hilisem täiendav paadiliiklus ebaoluline. Hüljestele võib teatud positiivne mõju tekkida läbi kalastiku seisundi paranemise.

3.1.7. Natura ala

Väikese väina loodusala kuulub Natura 2000 võrgustiku alade hulka (rahvusvahelise koodiga EEO40486). Hoiuala kaitse on reguleeritud looduskaitseaduse paragrahvis 32. Hoiualal on keelatud nende elupaikade ja kasvukohtade hävitamine ja kahjustamine, mille kaitseks hoiuala moodustati ning kaitstavate liikide oluline häirimine, samuti tegevus, mis seab ohtu elupaikade, kasvukohtade ja kaitstavate liikide soodsa seisundi. Väikese väina hoiuala hõlmab Muhu saart ja Saaremaad lahutava Väikese väina ja sellega piirnevaid rannaalasid kokku 16 643,3 hektaril (joonis 3.1.7.1.) (Keskkonnaamet, 2014). Väikese väina hoiuala on kaitse alla võetud Vabariigi Valitsuse 27. juuli 2006. a määrusega nr 176 „Hoiualade kaitse alla võtmine Saare maakonnas”.

Hoiuala on osa Saaremaa ja Muhu lõunarannikule iseloomulikust pärandkultuurimaastikust, kus vastavalt rannatüüpidele vahelduvad erinevad poollooduslikud kooslused – rannaniidud, lood, kadastikud. Ajalooliselt on mereäärseid alasid kasutatud peamiselt karjatamiseks ja roolõikuseks (Keskkonnaamet, 2014).

Väikese väina hoiuala eesmärk on nõukogu direktiivi 92/43/EMÜ I lisas nimetatud elupaigatüüpide – rannikulõugaste (1150*), laiade madalate lahtede (1160), esmaste rannavallide (1210), merele avatud pankrandade (1230), väikesaarte ning laidude (1620), rannaniitude (1630*), kadastike (5130), lubjarikkal mullal kuivade niitude (6210*), lubjavaesel mullal liigirikaste niitude (6270*), loodude

(6280*), puisniitude (6530*), lääne-möökhuga lubjarikaste madalsoode (7210*), liigirikaste madalsoode (7230), vanade loodumetsade (9010*), vanade laialehiste metsade (9020*), puiskarjamaade (9070) ja II lisas märgitud liikide – emaputke (*Angelica palustris*), kauni kuldkinga (*Cypripedium calceolus*) ja madala unilooga (*Sisymbrium supinum*) elupaikade kaitse, samuti nõukogu direktiivi 79/409/EMÜ I lisas nimetatud linnuliikide ja I lisas nimetamata rändlinnuliikide elupaikade kaitse.

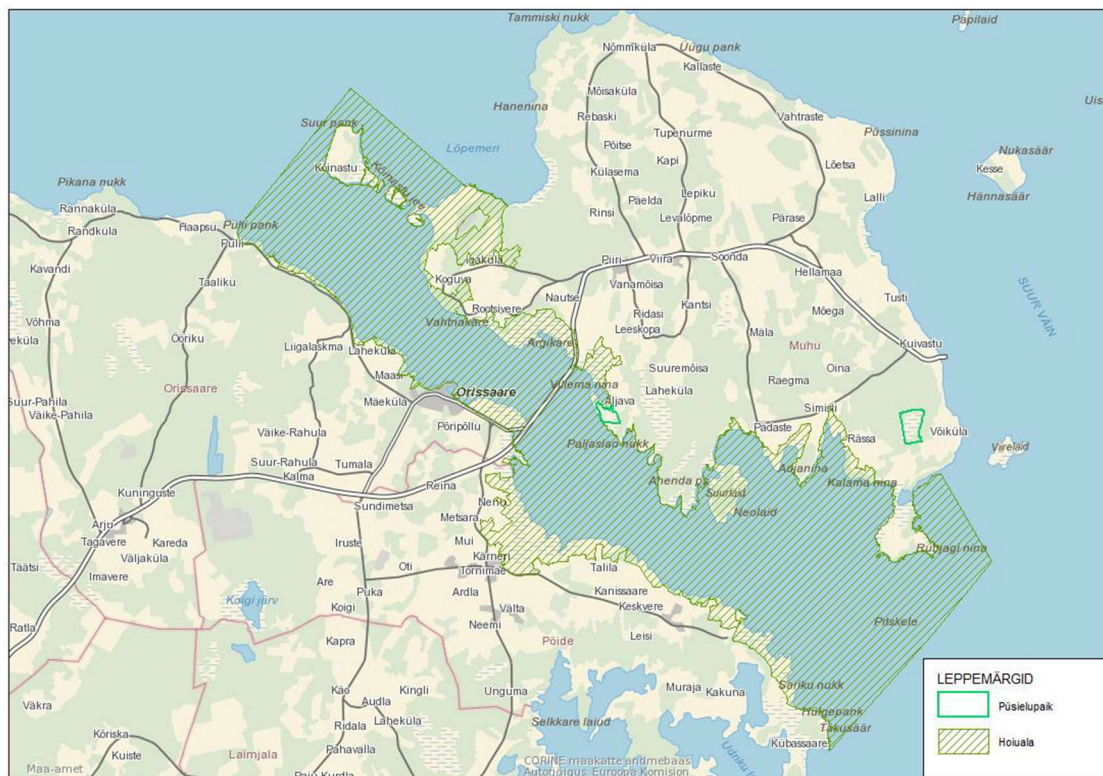
Linnuliigid, kelle elupaiku kaitstakse, on: hüüp (*Botaurus stellaris*), kümnokk-luik (*Cygnus olor*), väikeluik (*Cygnus columbianus bewickii*), laululuik (*Cygnus cygnus*), hallhani (*Anser anser*), valgepõsk-lagle (*Branta leucopsis*), viupart (*Anas penelope*), rääkspart (*Anas strepera*), soopart (*Anas acuta*), luitsnokk-part (*Anas clypeata*), punapea-vart (*Aythya ferina*), tuttvart (*Aythya fuligula*), hahk (*Somateria mollissima*), sõtkas (*Bucephala clangula*), rohukoskel (*Mergus serrator*), aul (*Clangula hyemalis*), roo-loorkull (*Circus aeruginosus*), liivatüll (*Charadrius hiaticula*), kiivitaja (*Vanellus vanellus*), niidurüdi (*Calidris alpina schinzii*), mustsaba-vigle (*Limosa limosa*), suurkoovitaja (*Numenius arquata*), punajalg-tilder (*Tringa totanus*), kivirullija (*Arenaria interpres*), väikekajakas (*Larus minutus*), naerukajakas (*Larus ridibundus*), kalakajakas (*Larus canus*), tutt-tiir (*Sterna sandvicensis*), jõgitiir (*Sterna hirundo*), randtiir (*Sterna paradisaea*), väiketiir (*Sterna albifrons*), vööt-põõsalind (*Sylvia nisoria*) ja punaselg-õgija (*Lanius collurio*).

Piirkonnas (maismaal) on ka kaitsealused Aljava kääpaliste ja Merikotka püsielupaigad. Aljava kääpaliste püsielupaiga maa-ala kuulub sihtkaitsevööndisse. Püsielupaigas kehtib „Looduskaitseeaduses” sätestatud kaitsekord selle määruse erisustega. Väikese väina hoiuala, Aljava kääpaliste püsielupaiga ja Või merikotka püsielupaiga kaitsekorralduskava 2014-2023 kohaselt on väinatammi avade projekteerimine hinnatud III prioriteedi tegevusena. Kolmas prioriteet on kaitsekorralduskavas defineeritud kui soovituslik tegevus ehk tegevus, mis aitab kaudselt kaasa väärtuste säilimisele ja taastamisele ning ohutegurite kõrvaldamisele. Seega võib eeldada, et avade rajamine omab kaitsealustele kaudset positiivset mõju.

Väinas (merealal) puuduvad praegu looduskaitse taustaga liikumispiirangud.

Tammiavade rajamine aitab vähendada tammi kui tehisobjekti mõju piirkonnas. Paranev veevahetus vähendab kõrge toitainete sisaldusega ala tammi lähistel. See omakorda peaks vähendama sealset produktsiooni ja orgaanilise materjali settimist, mudastumist. Seega võib eeldada, et mereliste elupaikadele on tammiavade rajamisel kaudne positiivne mõju.

Tammiavade rajamine võib endaga kaasa tuua Väikese väina hoiuala suurema kasutustiheduse suurenenud paadiliikluse läbi. Samas, võrreldes tammil toimuva tiheda maanteeliiklusega (ca 3000 sõidukit päevas) ei ole täiendav väikealuste liiklus merel ilmselt oluline.



Joonis 3.1.7.1. Väikese väina hoiuala, Aljava kápaliste ja Või merikotka püselupaikade asend (Keskkonnaamet, 2014).

Kokkuvõttes võib öelda, et hoiualale võib teoreetiliselt kaasuda väheldane negatiivne mõju läbi mõnevõrra suurenenud väikekaluste liikluse piirkonnas. Samas tammil toimuva tiheda maismaaliikluse foonil ei ole täiendav väikekaluste liiklus merel ilmselt oluline. Seda mõju on võimalik veelgi leevendada, kui suunata alused märgistatud paaditeele või rakendada kõige tundlikemale aladele liikumispiiranguid. Negatiivse mõju kaalub üles avade rajamise positiivne mõju merelistele elupaikadele. Paranev veevahetus vähendab mudastumist. Lisaks võib kaudne positiivne mõju aset leida Aljava kápaliste püselupaiga ja Või merikotka püselupaikadele. Avade rajamine on vastavalt kaitsekorralduskavale prioriteetne tegevus.

3.2. Sotsiaalmajanduslik

keskkond

Väikese väina hoiulaga piirnevad Saaremaa vald ja Muhu vald on suhteliselt hõredalt asustatud, keskmine asustustihedus on vastavalt 11,4 in/km² ja 9,2 in/km² (Statistikaameti rahvaloenduse veebilehed – Muhu, Saaremaa). Administratiivselt asub 1543 ha hoiualast Muhu vallas ja 1287 ha Saaremaa vallas. Asustus on piirkonnas hajus. 82% hoiuala maismaaterriitoriumist on eraomandis. Maakasutuse sihtotstarbelt on valdavalt tegemist maatulundusmaaga, väiksemal määral on elamu-, transpordi-, üldkasutatavat, äri-, sihtotstarbeta ja tootmismaad (Keskkonnaamet, 2014).

Mereala täidab erinevaid sotsiaalseid vajadusi ning mõjutab nii otseselt kui kaudselt inimeste heaolu. Tegemist on Saaremaa idaosa ja Muhumaa kutseliste kalurite jaoks ühe olulisima kalapüügi piirkonnaga (Keskkonnaamet, 2014). Meri pakub erinevaid inimese heaoluks vajalikke ressursse või merekeskkonnast tulenevaid võimalusi. Sellest tulenevalt on tekkinud erinevaid merekasutusi, nagu laevasõit, kalapüük ning

erinevad puhke- ja spordivõimalused. Eesti merekultuuri loovad väga erinevad mereala ja ranniku kasutajad: kalurid, puhkajad, surfarid, sukeldujad, väikelaevaomanikud jt.

Tõenäoliselt on tammil ja selle avadel mõju ka sotsiaalmajanduslikule keskkonnale. Laiema avaliku huvi kõrval on oluline arvestada ka kohalike kogukondade huvidega, kelle heaolu, sissetulek ja identiteet sõltub otseselt merealal kavandatavast. Suurimat huvi väina tammi avamisele on üles näidanud Väikese Väina Selts, kelle soov on, et tamm oleks vähemalt osaliselt avatud.

Pikaajalised avade rajamise sotsiaalsed mõjud on aimatavad projekti käigus läbi viidud küsitluse tulemustes. Kohalikud inimesed on väina tammi avade rajamisest huvitatud. Avade olemasolust sõltub küsitlusele vastanute arvates nii piirkonna merekeskkonna kui ka sotsiaalmajanduslik heaolu. Lisaks eeldatavale positiivsele merekeskkonna mõjule, peavad kohalikud elanikud oluliseks tammi avamist paadiliiklusele. See omakorda oleks potentsiaalselt oluline nii turismi, kalapüügi kui ka merepääste seisukohast. Siin on oluline, et täna on piirkonnas sügavused väga madalad. Kui süvendada paaditee ja see ka märgistada, siis oleks mõju ilmselt reaalne ja arvestatav. Täna on põhimõtteliselt madala kaatriga ka läbi Tillunire sõita, kuid see vajab eriti tammist põhjas väga head kohalike olude tundmist. Antud uuringu esimese kaardistuse tegime kahes osas: kõigepealt kaguosa, seejärel võtsime paadi merest välja ja veeskasime selle uuesti Orissaares ning möödistasime väina loodeosa. Ülejäänud veeparameetrite kaardistuste puhul läbisime väinatammi Tillunire kaudu, seejuures mõnel juhul isegi ca 10-20 cm veetasemega alla keskmise. Madalas, eriti Tillunirest loodes oli kohati liikumine keeruline. Meie kogemuse põhjal võiks arvata, et kui väikest süvendust (nt. kuni 1 m või ainult 0,7 m) avadest kuni vastava isobaadini ei tehta, siis suurt paadiliiklust läbi avade olema ei saa. Tõenäoliselt ei oleks sellisel juhul avadel olulist rolli ka merepääste seisukohalt. Haagisel, nt. Orissaare päästekomandost, saab kiiremini kaguossa. Lisaks, mõlemal pool tammi on Muhu Merepääste Seltsil alused olemas. Põhimõtteliselt võiks sellise paaditee tegemist kaaluda. Väiksema kulu ja ehitusaegse mõjuga oleks paaditee rajamine Muhupoolesele avasse.

Väin on hästi kaitstud avamere lainetuse eest, sh. edelast ja läänest puhuvate tuultega, mis on Läänemere piirkonna sagedaseim tuulesuund. Eranditeks on kagu- ja kirdetormid, kuid ka nende tuultega on tänu tammile pool merealast intensiivse lainetuse eest kaitstud. Kirjeldatud põhjustel on väina mereala hea potentsiaaliga merematka piirkond. Matkad kajakkidega on Eesti merepiirkondades tõusutrendis ning madal ja lainetuse eest suhteliselt hästi kaitstud väin annab selle hobiga tegelemiseks head võimalused. Avade rajamine võimaldab otse väina keskelt tammi läbimist. Praegu on alternatiiviks tammi ületamine jala või Muhu külje alt läbi Tillunire. Sarnane efekt on avade rajamisel ka teistele väikealuste kasutajatele. Mõju oleks suurem kui avadest alates süvendada paaditee keskmise veetaseme suhtes teatud sügavuseni, nt. 0,7 m või 1 m.

Ehitusaegsed mõjud on seotud liikluspiirangutega. Samas, isegi kui arvestada, et kiiruspiirang 30-50 km/h kehtib kogu tammil, kulub selle läbimiseks praeguse 1,5 minuti (90 km/h) asemel 4 minutit. Avade ehituse lõigud on lühikesed ning ruumi piisavalt, et hoida kaks sõidusuunda pidevalt avatuna. Kui mullet ei laiendata (st. teed ei tõsteta) toimuvad ehitustööd ühe ehitushooajaga (vahemikus aprill – oktoober) ning kui mullet laiendatakse siis kaks ehitushooaega.

Vastavalt Keskkonnaameti (2014) koostatud raportile kuuluvad Väikese väina hoiuala huvigrupi:

- Keskkonnaamet – kaitseala valitseja. Keskkonnaameti eesmärk on tagada ala eesmärgiks olevate väärtuste soodne seisund. Tammiavade rajamine vähendaks kaitsealal oleva tehistakistuse mõju.
- Poollooduslike koosluste hooldajad – huvitatud loomakasvatusest, poollooduslike koosluste hooldusest ja sellega seotud toetustest. Otsene mõju puudub.
- RMK – loodushoiutööde läbiviija riigi maadel, piiritähiste paigaldaja ja hooldaja. Otsene seos puudub.
- Muhu vald, Saaremaa valla piirkonnad Orissaare ja Pöide – huvitatud oma territooriumi tasakaalustatud arengust ja elanike heast käekäigust. Muhu ja Saaremaa vald on andnud oma

toetuskirjad käesolevale uuringule, mistõttu võib eeldada, et tammiavade rajamisest ollakse huvitatud.

- Maaomanikud ja kohalikud elanikud – huvitatud oma maa heaperemehelikust kasutamisest ja elukeskkonna paranemisest, osa on näidanud huvi tammiavade rajamise kohta.
- Jahimehed – Väikese väina hoiuala jaguneb nelja jahipiirkonna – Orissaare, Tornimäe, Liiva ja Tamse vahel, mida majandavad vastavad jahiseltsid (nt Orissaare Jahimeeste Selts). Otsest mõju tammiavade rajamine sellele huvigrupile ei avalda.
- Kalurid – huvitatud kalavarude heast seisundist, kalasadamate olemasolust. Kalurid võivad olla avade rajamisest mõjutatud. Avade rajamisega võivad kaasneda suurenenud kalavarud. Lisaks, võivad avad lubada (eriti kui süvendatakse ja märgistatakse paaditee) mugavamalt ühest väinaosast teise sõita.
- Sadamad – huvitatud sadamate kordategemisest ja käigushoidmisest/kasutamisest. Lõunaranna sadam, Koguva sadam, Muhu Merepääste Selts. Võibolla mõningane sesoonne mõju suurenenud mereturismi läbi.
- Roovarumise ja kasutamisega tegelevad ettevõtted – huvitatud pilliroo varumisest rookatuste, roomattide jms tootmise eesmärgil. Ei ole ette näha, et paranenud veevahetus pillirookasvule terves väinas pärssivalt mõjuks, nii et tõenäoliselt tammiavade rajamine neid ettevõtteid ei mõjuta.
- Meritsi saabuvad turistid – suhteliselt väikesearuuline huvigrupp, kes läbivad Väikese väina põhjapoolse osa, et jõuda Orissaare jahisadamasse ja Kõinastule. Huvitatud hoiualale jääva veeteo kasutamisest ja puhtast loodusest. Võibolla mõningane sesoonne mõju suurenenud mereturismi läbi.

Kokkuvõttes võib öelda, et Väikese väina tammiavade rajamine omab kohalikele piirkonnale positiivset mõju. Avade rajamine toob endaga kaasa paranenud veevahetuse ja rändetakistuse osalise eemaldamise, mis omakorda soodustab kalavarude suurenemist, millest võidavad eelkõige kohalikud kalurid. Samuti avaldub positiivne mõju kohalikele kogukondadele, kelle heaolu, sissetulek ja identiteet sõltub otseselt merealal kavandatavast. Madal ja lainetuse eest suhteliselt hästi kaitstud väin annab mereturismiga tegelemiseks head võimalused, mis omakorda soodustab väikesadamate ja majutusasutuste külalastatavust.

3.3. Alternatiivlahenduste võrdlus

Järgnevalt võrdleme alternatiivide mõju erinevate kriteeriumite alusel mõjumaatriksi (tabel 3.3.1) abil (Pöder, 2018). Analüüsitud on nelja alternatiivi:

- 0-alternatiiv: avasid ei rajata,
- I-alternatiiv: rajatakse ava Muhu-poolsele ümbersõidule. Ava kõrgus veetasemega 0,2 m oleks 1,37 m.
- II-alternatiiv: rajatakse kaks ava (Muhu-poolsele ja Saaremaa-poolsele) ümbersõidule (joonis 3.3.2). Ava kõrgus veetasemega 0,2 m oleks 1,37 m.
- II+-alternatiiv: rajatakse kaks ava (Muhu-poolsele ja Saaremaa-poolsele) ümbersõidule (joonis 3.3.2). Lisaks tõstetakse Muhu poolse silla jaoks teed, nii et alt läbipääsu kõrgus on 2,7 m (0,2 m veetaseme juures); merd süvendatakse 0,7 m keskmise veetaseme suhtes.

I ja II alternatiivides kasutatakse 28 m raamsilda(sid), mis on tammiga samas tasapinnas. Olemasolevate eskiiside variantidest vastab I- ja II alternatiiv lahendusele 2C (Stricto Project OÜ, 2019).

II+ alternatiivi puhul tõstetakse Muhu poolse silla ehitusel teepinda, et alt saaks suuremad alused läbi, samuti süvendatakse paaditeed sügavuseni 0,7 m. II+ vastab lahendustele 2A ja 2B (Stricto Project OÜ,

2019). Looduskeskkonna ja sotsiaalmajandusliku pikaajalise mõju seisukohast ei ole vahet, kas 2A või 2B. II ja II+ alternatiivi pikaajaline keskkonnamõju on sisuliselt sama. Veidi suurem paadiliiklus võrreldes II-alternatiiviga on ilmselt ebaoluline. Paadiliiklus oleks kontsentreeritud vaid 20 m laiusele paaditeele, st. suures osas väinas oleks olukord endiselt sama. Süvenduse mõjud on samuti tõenäoliselt tagasihoidlikud. Esiteks oleks süvenduse maht väike, vaid 9 000 m³. Teiseks esineb piirkonnas tihti looduslikult kõrge heljumi kontsentratsioon. See arvamus ei pea paika, kui süvendust on vaja sagedasti (nt. iga aasta) korrata.

I-alternatiivi maksumus on ligikaudu 1,4 miljonit EUR ja II-alternatiivi maksumus 2,8 miljonit EUR. II+ alternatiivi maksumuseks kujuneks ca 4,2 miljonit EUR, millele lisanduks süvenduse kulu.

Mõjumaatriksis hinnatakse alternatiive kuue kriteeriumi alusel. Igal kriteeriumil on kaalud, mis saadi läbi etalon-kriteeriumi valimise. Tsiteerime järgnevalt KMH käsiraamatut (Pöder, 2018). Etalon on kriteerium, mille taseme muutus madalaimast kõrgeimani (s.o antud alternatiivide hulgas maksimaalses ulatuses) oleks kõige soovitatavam. Sellele kriteeriumi kaalule omistatakse 100 punkti. Seejärel tuleb otsustada, millisele kriteeriumile vastavuse muutumine madalaimast kuni parimale tasemele on järgmine eelistus. Sellele omistatakse punktid, mis väljendavad selle muutuse suhtelist tähtsust võrreldes etaloniga, s.t 100 punkti saanud kriteeriumiga. Seda protseduuri jätkatakse, kuni kõik kriteeriumid on võrreldud olulisima kriteeriumiga. Seejärel normeeritakse igale kriteeriumile omistatud punktid, nii et nende summa võrdub ühega (Mustajoki et al., 2005).

Antud töös pidasime oluliseks etalon-kriteeriumiks „veevahetus, hüdrodünaamika ja hüdrograafilisi tingimused”. Tamm on Eesti mereala üks suurima mõjuga objekt kriteeriumile. See on ka põhjus, miks on kaalumisel tammiavade rajamine kui merekeskkonda parendav meede. Oluliselt järgmised kriteeriumid olid vee kvaliteet ja kalastik; Natura kaitse eesmärgid, ja sotsiaalmajanduslik keskkond. Väikseima kaaluga hindasime põhjaelustikku ning linnustiku ja mereimetajaid piirkonnas.

0-alternatiivi puhul hindasime mõjud veevahetusele, vee kvaliteedile ja kalastikule oluliselt negatiivseks. Põhjaelustiku ning linnustiku ja mereimetajate puhul ei ole tammi mõju nii suur, st hindasime mõju väheoluliseks, kuid negatiivseks. Natura kaitse-eesmärkide ja sotsiaalmajanduse puhul on mõju tõenäoliselt oluline, aga seda on keeruline kvantifitseerida. Näiteks ei ole selge, kui palju läbisõidu puudumine tammist ja väina mudastumine kohalikku elu ja turismi arendamist ikkagi pärsib.

I-alternatiivil on positiivne mõju kõikide kriteeriumite järgi ning see on suurim kalastikule. II-alternatiivi puhul on mõju oluline veevahetusele, hüdrodünaamikale ja hüdrograafilistele tingimustele; vee kvaliteedile ja kalastikule. Ülejäänud kriteeriumite põhjal on mõju tagasihoidlikum. II+-alternatiivile on positiivne mõju veidi suurem kui II-alternatiivi puhul sotsiaalmajanduslikule keskkonnale.

Positiivne tervikmõju looduskeskkonnale on suurim alternatiividel II ja II+, mõnevõrra väiksem on positiivne mõju I-alternatiivi puhul, kuid see on ikkagi arvestatav. Negatiivne on mõju 0-alternatiivi puhul. Sarnane on tervikmõju muster alternatiivide lõikes, kui arvesse võtta ka sotsiaalmajanduslikud mõjud. See on igati oodatav, sest sotsiaalmajandusliku mõju kaal võrreldes looduskeskkonnaga on väike ning mõjud nii looduskeskkonnale kui ka sotsiaalmajanduslikule keskkonnale on sama märgiga.

Tabel 3.3.1. Mõju maatriks. Alternatiivide võrdlusel on kasutatud mõju olulisuse skaalat: väga oluline positiivne mõju (3), oluline positiivne mõju (2), väheoluline positiivne mõju (1), mõju puudub (0), väheoluline negatiivne mõju (-1), oluline negatiivne mõju (-2), väga oluline negatiivne mõju (-3).

Kriteerium	Kaal	0- alternatiiv	I- alternatiiv	II- alternatiiv	II+-alternatiiv
		v			

Veevahetus, hüdrodünaamika (hoovused ja lainetus) ja hüdrograafilised tingimused	0,27	-2	1,5	2	2
Vee kvaliteet	0,22	-2	1,5	2	2
Põhjaelustik	0,05	-1	1	1	1
Kalastik	0,22	-2	2	2	2
Linnustik, mereimetajad	0,05	-1	1	1	1
Natura kaitse-eesmärgid	0,11	-1,5	1	1	1
Sotsiaalmajanduslik keskkond	0,08	-1,5	1	1	1,5

Tabel 3.3.2. Mõju tervikhinnangud.

	0- alternatiiv	I- alternatiiv	II- alternatiiv	II+- alternatiiv
Looduskeskkond	-1.82	1.50	1.76	1.76
Sotsiaalmajanduslik keskkond	-1.50	1.00	1.00	1.50
Mõjud kokku	-1.80	1.46	1.70	1.74

4. Täiendavad uuringud, leevendavad meetmed ja seire

Enne ehitustööde algust võib kaaluda sügavamast setteprofiili(de)st ohtlike ainete määramise. See annaks kindluse, et avade rajamisega liigutatav sete ei ole reostunud. Käesoleva uuringu eelarvesse see töö ei mahtunud. Kui selgub, et sete on reostunud, siis tuleks vältida sette kaadamist merre. Samuti tuleks ehituse ümbrus meres piirata poomidega, mis lokaliseeriks heljumi leviku.

Teisi täiendavaid keskkonnakaitsest lähtuvaid uuringuid enne avade rajamist meie hinnangul teha vaja ei ole. Antud töös tehtud mõjuanalüüs näitab, et avade rajamise mõju merekeskkonnale ja sotsiaalmajanduslikule keskkonnale on positiivne. Seega ei pea me KMH protseduuri rakendamist avade rajamise tegevusele otstarbekaks. Keskkonnamõju eksperthinnang, kui see peaks vajalik olema, saab tugineda antud töö tulemustele.

Viimast meetet võib kaaluda ka siis kui sete ei ole reostunud. See vähendaks oluliselt heljumi levimist ümbritsevale merealale.

Kuna tegemist on olulise kudealaga, siis tuleks tööde teostamist vältida aprillist juuni lõpuni ning alates oktoobri lõpust kuni jääkatte tekkimiseni Väinamerel ja Liivi lahe põhjaosas. Kui kasutatakse tõkkepoomi, siis võiks ajalise piirangu ümber vaadata.

Juhul kui rajatakse paaditee, siis on paadiliiklusest tuleva negatiivse mõju vähendamiseks võimalik liiklus koondada faarvaatritele, mis on tähistatud navigatsioonimärgistusega.

Ehitusaegne seire

Esimese ava rajamise ajal tuleks teha heljumi leviku seiret. Seire peaks andma vajadusel täiendavad suunised leevendavate meetmete osas teise ava rajamisel. Seire raames tuleks teha vähemalt kuus ruumilist kaardistust erinevate meteoroloogiliste tingimustega, et hinnata heljumi leviku suund ja ulatus eriolukordades. Samuti tuleks teha hägususe püsिमõõtmised meresüüa koelmualade lähistel mõlemal pool tammil.

Ehitusjärgne seire

Kui avasid ei rajata üheaegselt samal hooajal, st. kõigepealt rajatakse üks ava, siis on soovitatav alljärgnevad seiretegevused läbi viia peale esimese ava rajamist. Seire tulemuste põhjal tuleb otsustada, kas ka teise ava rajamisel on vaja korraldada seiret ja mis kujul. Kui tehakse kaks ava samal hooajal, siis on soovitatav teha seire peale mõlema ava rajamist.

Peale avade rajamist tuleks korraldada füüsikaliste ja biogeokeemiliste väljade kaardistused ja aegridade mõõtmised. Mõõtmised tuleks läbi viia analoogselt käesolevale uuringule, st. ruumilised kaardistused üle kogu väina vähemalt kuuel korral ning aegridade mõõtmised tammi lähedal. Parameetrite valik peaks olema sama, mis käesolevas uuringus.

Soovituslik on peale ava(de) rajamist seirata põhjaelustikku avade läheduses piki väina. Põhjakoosluste Läänemere võtmeliike nagu põisadru või määndvetikaid saaks uurida efektiivselt mittelõhkuvate meetoditega nt. korraldades videosüsteemidega visuaalseid transekte, mis annavad võimalust hinnata koosluste seisundi ja ruumilist paiknemist. Teostades vaatlusi erinevatel hooajadel saab hinnata võimalikke ajalisi muutusi põhjataimestiku katvuses peale avade rajamist. Põhjaelustiku liigilise koosseisu määramiseks oleks soovituslik koguda ka kvalitatiiivseid proove sama meetodika järgi, mida kasutati käesolevas uuringus.

Soovitatav on hinnata tammiava(de) mõju kalastikule, sealhulgas merisiia koelmutele. Kalastiku seirel kasutada sama meetodikat, mida kasutati käesolevas uuringus, et saadud andmed oleksid võrreldavad ajaga kui avasid veel ei olnud.

5. Järgnevad tegevused

Käesolev uuring näitab, et avade rajamisel oleks positiivne mõju merekeskkonnale. See aitaks vähendada tammi kui tehiskivistuse mõjusid, eriti tammi vahetus läheduses. Järgnevalt kirjeldame edasisi vajalikke tegevusi ja asjaolusid seoses avade rajamisega. Ehitustegevuse detailid on esitatud lisa 1 toodud aruande (koostanud Stricto Projekt OÜ) põhjal.

Käesolevas töös käsitlesime ühe 28 m ava (I alternatiiv) ja kahe 28 m ava (II alternatiiv) keskkonnamõjusid. Positiivne mõju on suurem kui rajatakse kaks ava (28 m). Merekeskkonna mõttes ei ole olulist vahet, kas 28 m sild on teepinnaga samas tasapinnas või on see tõstetud. Mõlemal juhul töötavad avad tammi negatiivseid mõjusid vähendava meetmena. Teepinna tõstmisel on mõtet, kui süvendatakse ka paaditee. Meie uuring näitab, et kohalikel elanikel ja ka potentsiaalsetel mereturistidel on märgistatud läbisõidu vastu huvi olemas. Ilmselt ergutaks see ka kohalikku turismi ja väikesadamate külastatavust. Nt. 0,7 m sügavuse paaditee rajamiseks tuleks kohati süvendada 700 m pikk lõik Liivi lahe osas ja 1200 m Väinameres. Erinevad allikad pakuvad paaditee minimaalseks laiuseks ca 20 m (Schwarzenegger et al., 2005; Liikennevirasto, 2017). Võttes arvesse keskmised sügavused lõikudel saame, et süvendada tuleks ca 9 000 m³. 1 m sügavuse puhul oleks maht 23 000 m³.

Ühe samas tasapinnas oleva silla eeldatav maksumus koos käibemaksuga on tänaseid ehitushindu arvestades ligikaudu 1,3 miljonit EUR ja tõstetud teepinnaga sild ligikaudu 3,6 miljonit EUR. II alternatiivi puhul oleks seega teega samas tasapinnas oleva kahe silla hinna maksumus ca 2,6 miljonit EUR. Kui rajada Muhu poole tõstetud teepinnaga sild ja Saaremaa poole praeguse teega samas tasapinnas sild, siis tuleks kogumaksumus ligikaudu 3,9 miljonit EUR.

Lisaks sillaehitusele tuleb ära vedada ümbersõidukaared. Ühe kaare maht on ligikaudu 20 000 m³ ning selle ära vedamine võib maksta kuni 120 000 EUR koos käibemaksuga.

Antud töö koostamise ajal on menetlemisel Merestrateegia meetmekava uuendus, mille üks välja pakutud meetmetest on „Väikese väina maanteetammi avade rajamine veevahetuse parandamiseks ja väina avamiseks kalade rändeteena“. Kui meede kinnitatakse, siis oleks selle rakendajaks Transpordiamet.

Nagu ülal selgitatud, merekeskkonna seisukohalt ei ole olulist vahet, kas teetasapinda tõstetakse, st. tehakse veidi kõrgem sild või mitte. Edasi on vaja otsustada, kas ja millise gabariidiga võimaldatakse veesõidukite läbipääsu ehk teisisõnu – kas ja kui palju ikkagi tõstetakse olemasolevat teepinda. Vastavalt sellele selgub ehitusmaksumus. Järgnevalt saab koostada eskiisprojekti ning seejärel saab koostada eelprojekti ja läbi viia uuringud; sh. kolmandate osapoolte tagasiside analüüsimine, projekteerimiseks vajalike ehitusgeoloogiliste uuringute ja geotehniliste arvutuste koostamine; tugevus- ja püsivusarvutuste koostamine ja aruannete vormistamine; sillakonstruktsioonide, sõidutee ning kõige kaasneva projekteerimine eelprojekti mahus; üldsõnalise ehitustööde kava koostamine mahus, mis võimaldab läbi viia keskkonnamõjude eelhinnangut; ehitusloa taotlemine.

Käesoleva uuringu tulemuste valguses me ei näe, et avade rajamiseks on vaja läbi viia keskkonnamõjude hindamise protseduur. Oleme mõjusid erinevatele keskkonna elementidele vaadelnud ja võib järeldada, et avade rajamise mõju on positiivne, seejuures on merekeskkonnale positiivne mõju suurem alternatiiv II puhul. Kohalikele elanikkonnale on positiivne mõju suurem kui alternatiiv II täiendada Muhu poole kõrgema ava tegemisega ja paaditee rajamisega. Isegi paaditee rajamise puhul oleks süvendusmaht alla 10 000 m³. Vastavalt Keskkonnamõju hindamise ja keskkonnasüsteemi seadusele on mere süvendamine alates pinnase mahust 10 000 m³ automaatselt keskkonnamõjuga tegevus .

Tammiavade projekteerimiseks ja planeerimise tegevuste ajalised kestused võiksid olla suurusjärgus:

- Lähteülesande sõnastamine 3 kuud
- Eskiisprojekti koostamine 3 kuud
- Eelprojekt ja selleks vajalikud uuringud 6 kuud
- Ehitusloa taotlemine 1-2 kuud
- Ehitushanke menetlus 1 kuu

Ehitustegevuseks kuluv aeg sõltub väga suurel määral sellest, kas valitakse mulde tõstmist ja laiendamist nõudev lahendus või mitte.

Üldiselt öelduna peaks arvestama, et kui mullet ei laiendata toimuvad ehitustööd ühe ehitushooajaga (vahemikus aprill – oktoober) ning kui mullet laiendatakse siis kaks ehitushooaega. Mulde laiendamise korral võib juhtuda, et mulle tuleb jätta vajuma ajutise kattega ning seetõttu võib katte kvaliteet kaheaastasel ehitusperioodil olla tavapärasest kehvem. Samas on lõigud lühikesed ning ruumi piisavalt, et hoida kaks sõidusuunda pidevalt avatuna.

Seega kui alustada lähteülesande sõnastamisega 2022. alguses, võiks sügiseks 2023 teega samas tasapinnas avad valmis olla.

Kasutatud kirjandus

- Adamiec, E., Jarosz-Krzemińska, E., & Wieszala, R. (2016). Heavy metals from non-exhaust vehicle emissions in urban and motorway road dusts. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(6), 1–11. <https://doi.org/10.1007/S10661-016-5377-1/FIGURES/7>
- Alomary, A., & Belhadj, S. (2007). Determination of heavy metals (Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn) by ICP-OES and their speciation in Algerian Mediterranean Sea sediments after a five-stage sequential extraction procedure. *Environ Monit Assess*(135), 265–280.
- Altakon OÜ. (2009). Sõitjate ja veoste üle Suure väina veo perspektiivse korraldamise kava koostamine ja keskkonnamõju strateegiline hindamine – merepõhja setete analüüs.
- Astok, V., Otsmann, M., & Suursaar, Ü. (1999). Water exchange as the main physical process in semi-enclosed marine systems: the Gulf of Riga case. *Hydrobiologia*, 393.
- Brodecka-Goluch, A., Majewski, P., Bolalek, J., & Klusek, Z. (2013). Geochemical and acoustic evidence for the occurrence of methane in sediments of the Polish sector of the southern Baltic Sea. *Oceanologia*, 55(4), 951-978.
- Bruggeman, J., & Bolding, K. (2014). A general framework for aquatic biogeochemical models. *Environmental Modelling & Software*, 61, 249-265. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.04.002>
- Burchard, H., & Bolding, K. (2002). GETM, A General Estuarine Transport Model: Scientific Documentation. Tech. Rep. EUR 20253 EN, Eur. Comm.
- Canuto, V. M., Howard, A., Cheng, Y., & Dubovikov, M. S. (2001). Ocean Turbulence. Part I: One-Point Closure Model—Momentum and Heat Vertical Diffusivities. *J. Phys. Oceanogr.*, 31, 1413-1426. [https://doi.org/10.1175/1520-0485\(2001\)031<1413:OTPIOP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(2001)031<1413:OTPIOP>2.0.CO;2)
- Clarke, K., & Gorley, R. (2015). PRIMER version 7: User manual/tutorial. PRIMER-E. 192.
- Corson OÜ. (2012). Pärnu sadama laevatee süvendamise keskkonnamõju hindamise aruanne. Töö nr 1102. <https://old.envir.ee/sites/default/files/kmharuanne26.02.2012.pdf>
- D'Avanzo, C., Kremer, J., & Wainright, S. (1996). Ecosystem production and respiration in response to eutrophication in shallow temperate estuaries. *Marine Ecology Progress Series*, 141(1–3), 263–274. <https://doi.org/10.3354/MEPS141263>
- Folger, D. W. (1972). Characteristics of estuarine sediments of the United States. Professional Paper, 742, 92.
- Grasshoff, K., Kremling, K., & Ehrhardt, M. (1999). Methods of Seawater Analysis: Third, Completely Revised and Extended Edition. *Methods of Seawater Analysis: Third, Completely Revised and Extended Edition*, 1–600. <https://doi.org/10.1002/9783527613984>
- Grinsted, A. (2015). Projected Change—Sea Level. In C. BACC II Author Team, Springer International Publishing (Ed.), *Second Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin, Regional Climate Studies* (pp. 253–263). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16006-1_14
- Gräwe, U., Holtermann, P., Klingbeil, K., & Burchard, H. (2015). Advantages of vertically adaptive coordinates in numerical models of stratified shelf seas. *Ocean Modelling*, 92, 56–68. <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2015.05.008>
- HELCOM. (2009). Biodiversity of the Baltic Sea. An integrated thematic assessment on biodiversity and nature conservation in the Baltic Sea. *Baltic Sea Environment Proceedings No. 116B*. <https://helcom.fi/wp-content/uploads/2019/08/BSEP116B.pdf>

- HELCOM. (2010). Hazardous substances in the Baltic Sea. An integrated thematic assessment of hazardous substances in the Baltic Sea. Baltic Sea Environment Proceedings No. 120B. <https://helcom.fi/media/publications/BSEP120B.pdf>
- HELCOM. (2015). Guidelines for coastal Fish monitoring sampling methods of HELCOM. <https://helcom.fi/media/publications/Guidelines-for-Coastal-fish-Monitoring-of-HELCOM.pdf>
- Hendrikson & Ko. (2006/2007). Muhu valla arengukava ja üldplaneeringu keskkonnamõju strateegilise hindamise aruanne.
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., et al. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146 (730), 1999–2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>
- Hofmeister, R., Burchard, H., & Beckers, J.-M. (2010). Non-uniform adaptive vertical grids for 3D numerical ocean models. *Ocean Modelling*, 33(1–2), 70–86. <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2009.12.003>
- Ishiwatari, R., & Uzaki, M. (1987). Diagenetic Changes of Lignin Compounds in a More Than 0.6 Million-Year-Old Lacustrine Sediment (Lake Biwa, Japan) . *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 51(2), 321–328.
- Janssen, F., Schrum, C., & Backhaus, J.O. (1999). A climatological data set of temperature and salinity for the Baltic Sea and the North Sea. *Deutsche Hydrographische Zeitschrift*, 51 (5). <https://doi.org/10.1007/BF02933676>
- Keskkonnaamet. (2014). Väikese väina hoiuala, Aljava käpaliste püsielupaiga ja Või merikotka püsielupaiga kaitsekorralduskava 2014-2023. <https://infoleht.keskkonnainfo.ee/GetFile.aspx?fail=-481838668>
- Klima- og forurensningsdirektoratet. (2011) Bakgrunnsdokumenter til veiledere for risikovurdering av forurenset sediment og for klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. TA2803. Klima- og forurensningsdirektoratet. Oslo, Norja.
- Kuresoo, A., & Luigujõe, L. (2008). Väinamere linnustiku ülevaade. http://lifempa.balticseaportal.net/media/upload/File/Deliverables/MP%20Vainamere/Annex3_migratory_birds.pdf
- Liblik, T., & Lips, U. (2006). Analysis of hydrometeorological conditions for environmental impact assesment of reconstruction of Rohuküla and Heltermaa harbors. *Eesti Mereakadeemia Toimetised*, 3.
- Liblik, T., Skudra, M., & Lips, U. (2017). On the buoyant sub-surface salinity maxima in the Gulf of Riga. *Oceanologia*, 59(2), 113–128. <https://doi.org/10.1016/J.OCEANO.2016.10.001>
- Liikennevirasto. (2017). Veneväylien suunnitteluohjeet. Liikenneviraston ohjeita 38/2017. https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2017-38_venevaylien_suunnitteluohjeet_web.pdf
- Lijzen, J.P.A., Baars, A.J., Otte, P.F., Rikken, M.G.J., Swartjes, F.A., Verbruggen, E.M.J., van Wezel, A.P. (2001). Technical evaluation of the intervention values for soil/sediment and groundwater. Human and ecotoxicological risk assessment and derivation of risk limits for soil, aquatic sediment and groundwater. *Advance in Earth Sciences*. 16.
- Lükk, V., & Kallas, R. (2016). Liiklus Väinatammil merd ei reosta. *Teeleht*, 85, 20-22.
- Maanteeamet. (2011). Sõitjate ja veoste üle Suure väina veo perspektiivse korraldamise kava. https://www.mnt.ee/sites/default/files/elfinder/article_files/plan_november_est_final.pdf
- Madsen, K. S., Høyer, J. L., Suursaar, Ü., She, J., & Knudsen, P. (2019). Sea Level Trends and Variability of the Baltic Sea From 2D Statistical Reconstruction and Altimetry. *Frontiers in Earth Science*, 7, 243. <https://doi.org/10.3389/FEART.2019.00243/BIBTEX>

- Martiny, A. C., Vrugt, J., & Lomas, M. (2014). Concentrations and ratios of particulate organic carbon, nitrogen, and phosphorus in the global ocean. *Scientific Data*, 1(1):140048).
- Men, C., Liu, R., Wang, Q., Guo, L., & Shen, Z. (2018). The impact of seasonal varied human activity on characteristics and sources of heavy metals in metropolitan road dusts. *Science of The Total Environment*, 637–638, 844–854. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2018.05.059>
- MTÜ Eurohouse. (1999). Väikese väina tammi avade ehitamise eeltööd (lõpparuanne).
- Mustajoki, J., Hämäläinen, R., & Salo, A. (2005). Decision Support by Interval SMART/SWING – Incorporating Imprecision in the SMART and SWING Method. *Decision Analysis*, 36(2), 317–339.
- Neumann, T. & Fennel, W., & Kremp, C. (2002). Experimental simulations with an ecosystem model of the Baltic Sea: A nutrient load reduction experiment. *Global Biogeochemical Cycles*, 16 (3), 7-1. <http://dx.doi.org/10.1029/2001GB001450>
- Neumann, T., & Schernewski, G. (2008). Eutrophication in the Baltic Sea and shifts in nitrogen fixation analyzed with a 3D ecosystem model. *Journal of Marine Systems*, 74, 592-602. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2008.05.003>
- OSPAR Commission. (2020). Background document on Tributyltin (TBT) in sediment, Swedish Quality Standard. Hazardous Substances & Eutrophication, 762. <https://www.ospar.org/documents?v=43227>
- Otsmann, M., Suursaar, Ü., & Kullas, T. (2001). The oscillatory nature of the flows in the system of straits and small semienclosed basins of the Baltic Sea. *Continental Shelf Research*, 21(15), 1577–1603. [https://doi.org/10.1016/S0278-4343\(01\)00002-4](https://doi.org/10.1016/S0278-4343(01)00002-4)
- Paal, J. (2007). Loodusdirektiivi elupaigatüüpide käsiraamat. Tallinn: Auratrükk.
- Prahl, F. G., Sparrow, M. A., Eversmeyer, B., Ertel, J. R., & Goni, M. A. (1994). Terrestrial organic carbon contributions to sediments on the Washington margin. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58(14), 3035–3048.
- Pöder, T. (2018). Keskkonnamõju hindamise käsiraamat (uuendatud 2018). http://www.envir.ee/sites/default/files/kmh_kasiraamat_tp_2018.pdf
- Redfield, A. (1934). On the Proportions of Organic Derivatives in Sea Water and Their Relation to the Composition of Plankton. *James Johnstone Memorial Volume*, 176-192.
- Schwarzenegger, A., Chrisman, M., & Tsuneyoshi, R. (2005). Layout and Design Guidelines for Marina Berthing Facilities. <https://chetaero.files.wordpress.com/2016/11/guide05.pdf>
- Skudra, M., & Lips, U. (2017). Characteristics and inter-annual changes in temperature, salinity and density distribution in the Gulf of Riga. *Oceanologia*, 59(1), 37–48. <https://doi.org/10.1016/J.OCEANO.2016.07.001>
- Smagorinsky, J. (1963). General circulation experiment with the primitive equations. I. The basic experiment. *Mon. Weather Rev.* 91, 99–164. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1963\)091<0099:GCEWTP>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1963)091<0099:GCEWTP>2.3.CO;2)
- Statistikaameti rahvaloenduse veebileht (Muhu). (2021, 1. september). Rahvaloendus, Saare maakond, Muhu vald. <https://www.stat.ee/et/avasta-statistikat/piirkonnad/saare-maakond/muhu-vald>
- Statistikaameti rahvaloenduse veebileht (Saaremaa). (2021, 1. september). Rahvaloendus, Saare maakond, Saaremaa vald. <https://www.stat.ee/et/avasta-statistikat/piirkonnad/saare-maakond/saaremaa-vald>
- Stricto Project OÜ. (2019). Väikese väina tammiavade tehnilise lahenduse võrdlev analüüs.

- Suuroja, S., Heinsalu, A., Alliksaar, T., et al. (2016). Hinnangu andmine merekeskkonna ökosüsteemipõhiseks korraldamiseks Soome lahe merepõhja ja setete näitel (SedGoF). Aruanne. https://www.kik.ee/sites/default/files/uuringud/aruanne_sedgof_30.06.2016.pdf
- Suursaar, Ü., Kullas, T., & Otsmann, M. (2009). The possible effect of re-opening of the Väike Strait (Baltic Sea): Results of high-resolution modelling. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 125, 381–392. <https://doi.org/10.2495/WRM090341>
- Svendsen, L., & Gustafsson, B. (2021). Waterborne nitrogen and phosphorus inputs and water flow to the Baltic Sea 1995-2019.
- Tallinna Tehnikaülikool. (2016). Eesti merestrategie meetmekava Eesti mereala hea keskkonnaseisundi saavutamiseks ja säilitamiseks keskkonnamõju strateegiline hindamine.
- Tallinna Tehnikaülikool. (2019). Väikese väina ühenduse modelleerimine ja tulemuste analüüs. Coast4US. Aruanne.
- Tallinna Tehnikaülikool. (2021). Prioriteetsete ainete ja toiteainete vertikaalsest jaotusest Väinameres ja Liivi lahes.
- Tallinna Tehnikaülikool. (2021). Siseveekogude ja mere veenormide vahelised seosed ja võrreldavus. Aruanne.
- TÜ Eesti Mereinstituut. (2009). Väikese väina seisundi parandamise võimaluste uuring. Aruanne.
- TÜ Eesti Mereinstituut. (2013). Rannikumere ülevaateseire. Aruanne.
- TÜ Eesti Mereinstituut. (2016). Loodusdirektiivi mereliste elupaigatüüpide looduskaitse seisundi hindamise kriteeriumid ja soodsa seisundi võrdlusväärtused. Aruanne.
- TÜ Eesti Mereinstituut. (2017). Riiklik rannikumere seire. Aruanne.
- TÜ Eesti Mereinstituut. (2020). Väärtuslike mereliste elupaigatüüpide hindamise puudujäkide kõrvaldamine. Aruanne.
- Teede Tehnokeskus. (2020). Liiklussagedus põhi- ja tugimaanteedel 2020. aastal. Liiklusloendus 2020. aastal. https://www.mnt.ee/sites/default/files/lisa_10_liiklussagedus_pohi-ja_tugiteedel.pdf
- Thoreson, G. (1996). Guidelines for coastal fish monitoring. Swedish Board of Fisheries. Kustrapport 1996:2.
- Umlauf, L., & Burchard, H. (2005). Second-order turbulence closure models for geophysical boundary layers. A review of recent work. *Continental Shelf Research*, 25, 795-827. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2004.08.004>
- Van Den Berg, M. S., Scheffer, M., Coops, H., Simons, J. (1998). The role of characean algae in the management of eutrophic shallow lakes. *J. Phycol.* 34, 750–756. <https://doi.org/10.1046/j.1529-8817.1998.340750.x>
- Vetemaa, M., Eschbaum, R., Verliin, A., Albert, A., Eero, M., Lillemägi, R., et al. (2006). Annual and seasonal dynamics of fish in the brackish-water Matsalu Bay, Estonia. *Ecology of Freshwater Fish*, 15(2), 211–220. <https://doi.org/10.1111/J.1600-0633.2006.00134.X>
- Yang, J., Zhang, B., Peng, X., Wang, H., Li, Z., Cai, W., & Fang, H. (2014). Sediment Quality Assessment for Heavy Metal Contamination in the Dongzhai Harbor (Hainan Island, China) with Pollution Indices Approach. *The Open Chemical Engineering Journal*, 8, 32-37.
- Yuen, J. Q., Olin, P. H., Lim, H. S., Benner, S. G., Sutherland, R. A., & Ziegler, A. D. (2012). Accumulation of potentially toxic elements in road deposited sediments in residential and light industrial neighborhoods of Singapore. *Journal of Environmental Management*, 101, 151–163. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2011.11.017>

Lisa 1. Stricto Project OÜ, 2021. Tammiavade projekteerimisest ja planeerimisest (toodud eraldi dokumendina).

Lisa 2. TÜ Eesti Mereinstituut, 2021. Kalastiku uuring Väikeses väinas (toodud eraldi dokumendina).

Lisa 3. Setteproovidest määratud ohtlike ainete, raskemetallide ja osakeste granulomeetrised originaalandmed.

Lab Report No	Lims Code	Unit	LOR	PR20C7041	PR20C7041	PR20C7041	PR20C7041	PR20C7041	PR20C7041	PR20C7041	PR20C7041
Lab Sample No				001	002	003	004	005	006	007	008
Client Sample No				VAIKE 05	VAIKE 14	VAIKE 18	VAIKE 30aI	VAIKE 30uI	VAIKE 31aI	VAIKE 31uI	VAIKE 126
Station											
Sample Date				09/12/2020	10/12/2020	11/12/2020	12/12/2020	13/12/2020	14/12/2020	15/12/2020	15/12/2020
Top Depth											
Bottom Depth											
Arsenic	S-METAXHB1	mg/kg DW	0.50	<0,50	<0,50	0.81	<0,50	<0,50	1.6	<0,50	<0,50
Cadmium	S-METAXHB1	mg/kg DW	0.40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40
Chromium	S-METAXHB1	mg/kg DW	0.50	4.01	26.5	10.8	19.4	7.83	23.8	12.6	6.2
Copper	S-METAXHB1	mg/kg DW	1.00	1.5	12.5	5.2	9.3	4.3	13	7.5	2.7
Lead	S-METAXHB1	mg/kg DW	1.00	1.6	6.1	4.5	6	3.5	9.3	8.5	2.2
Mercury	S-HG-AFSHB	mg/kg DW	0.01	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0.012	0.011	<0,010
Nickel	S-METAXHB1	mg/kg DW	1.00	2	14.9	6.1	11.7	4.6	14.7	7.2	3.4
Zinc	S-METAXHB1	mg/kg DW	3.00	10.4	42	22.8	31.5	17.6	44	31.1	11.8
Phosphorus	S-P2O5-PHO	% DW	0.05	<0,050	<0,050	<0,050	0.069	0.058	0.065	0.053	0.067
Phosphorus		mg/kg DW		500	500	500	690	580	650	530	670
Phosphorus (as P2O5)	S-P2O5-PHO	% DW	0.10	<0,10	<0,10	<0,10	0.16	0.13	0.15	0.12	0.15
Total Nitrogen as N	S-NTOT-PHO	mg/kg DW	50	365	301	307	774	1150	1240	1110	432
Total Organic Carbon	S-TOC1-IR	% DW	0.10	0.2	0.28	0.61	1.8	1.1	1.87	1.24	0.78
Dibutyltin	S-OSNGAE	µg/kg DW	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Diocetyltn	S-OSNGAE	µg/kg DW	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Diphenyltin	S-OSNGAE	µg/kg DW	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Monobutyltin	S-OSNGAE	µg/kg DW	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Monooctyltin	S-OSNGAE	µg/kg DW	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Monophenyltin	S-OSNGAE	µg/kg DW	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Tetrabutyltin	S-OSNGAE	µg/kg DW	1	1.18	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Tributyltin	S-OSNGAE	µg/kg DW	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Tricyclohexyltin	S-OSNGAE	µg/kg DW	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Triphenyltin	S-OSNGAE	µg/kg DW	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
PCB 101	S-PCBGMS05	mg/kg DW	0.002	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020
PCB 118	S-PCBGMS05	mg/kg DW	0.002	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020
PCB 138	S-PCBGMS05	mg/kg DW	0.002	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020
PCB 153	S-PCBGMS05	mg/kg DW	0.002	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020
PCB 180	S-PCBGMS05	mg/kg DW	0.002	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020
PCB 28	S-PCBGMS05	mg/kg DW	0.002	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020
PCB 52	S-PCBGMS05	mg/kg DW	0.002	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020
C10 - C12 Fraction	S-TPHFID01	mg/kg DW	2.00	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
C10 - C40 Fraction	S-TPHFID01	mg/kg DW	20	<20	<20	<20	<20	<20	69	42	<20
C12 - C16 Fraction	S-TPHFID01	mg/kg DW	3.00	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0
C16 - C35 Fraction	S-TPHFID01	mg/kg DW	10	<10	<10	<10	<10	<10	56	36	<10
C35 - C40 Fraction	S-TPHFID01	mg/kg DW	5.00	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	10.5	<5,0	<5,0
Dry matter @ 105°C	S-DRY-GRCl	%	0.10	72.60%	65.30%	67.30%	66.90%	50.10%	61.90%	58.60%	56.50%
Fraction 0.002-0.004 mm	S-GSAT-GR	%	0.01	0.09%	5.09%	0.61%	7.68%	2.84%	3.74%	1.54%	0.54%
Fraction 0.004-0.008 mm	S-GSAT-GR	%	0.01	0.42%	4.59%	1.82%	14.90%	6.10%	7.88%	4.18%	1.42%
Fraction 0.008-0.016 mm	S-GSAT-GR	%	0.01	0.98%	2.56%	3.10%	16.80%	7.72%	10.70%	7.48%	2.59%
Fraction 0.016-0.032 mm	S-GSAT-GR	%	0.01	1.22%	2.46%	4.04%	18.00%	11.00%	13.00%	11.10%	4.56%
Fraction 0.032-0.063 mm	S-GSAT-GR	%	0.01	4.06%	3.40%	5.55%	18.20%	16.50%	12.80%	14.00%	6.40%
Fraction 0.063-0.125 mm	S-GSAT-GR	%	0.01	7.23%	3.00%	4.90%	8.06%	10.10%	4.97%	7.04%	4.09%
Fraction 0.125-0.25 mm	S-GSAT-GR	%	0.01	68.60%	10.10%	9.01%	4.12%	15.40%	5.93%	8.71%	15.50%
Fraction 0.25-0.5 mm	S-GSAT-GR	%	0.01	16.20%	30.60%	17.00%	6.77%	22.10%	22.20%	28.50%	36.20%
Fraction 0.5-1 mm	S-GSAT-GR	%	0.01	1.16%	22.40%	11.00%	1.35%	3.18%	2.86%	6.45%	15.50%
Fraction 1-2 mm	S-GSAT-GR	%	0.01	<0,01 %	6.28%	5.98%	1.35%	3.00%	2.67%	3.47%	9.06%
Fraction < 0.002 mm	S-GSAT-GR	%	0.01	0.03%	6.60%	0.11%	1.47%	0.66%	1.03%	0.29%	0.11%
Fraction > 2 mm	S-GSAT-GR	%	0.01	<0,01 %	1.79%	36.90%	1.35%	1.41%	12.20%	7.19%	3.88%
Acenaphthene	S-PAHGMS05	mg/kg DW	0.01	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0.018	<0,010
Acenaphthylene	S-PAHGMS05	mg/kg DW	0.01	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Anthracene	S-PAHGMS05	mg/kg DW	0.01	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0.023	0.017	<0,010
Benz(a)anthracene	S-PAHGMS05	mg/kg DW	0.01	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0.136	0.092	<0,010
Benzo(a)pyrene	S-PAHGMS05	mg/kg DW	0.01	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0.16	0.092	<0,010
Benzo(b)fluoranthene	S-PAHGMS05	mg/kg DW	0.01	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0.175	0.093	<0,010
Benzo(g,h,i)perylene	S-PAHGMS05	mg/kg DW	0.01	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0.098	0.052	<0,010
Benzo(k)fluoranthene	S-PAHGMS05	mg/kg DW	0.01	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0.062	0.047	<0,010
Chrysene	S-PAHGMS05	mg/kg DW	0.01	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0.182	0.097	<0,010
Dibenz(a,h)anthracene	S-PAHGMS05	mg/kg DW	0.01	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0.024	0.012	<0,010
Fluoranthene	S-PAHGMS05	mg/kg DW	0.01	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0.133	0.094	<0,010
Fluorene	S-PAHGMS05	mg/kg DW	0.01	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	S-PAHGMS05	mg/kg DW	0.01	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0.059	0.038	<0,010
Naphthalene	S-PAHGMS05	mg/kg DW	0.01	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Phenanthrene	S-PAHGMS05	mg/kg DW	0.01	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0.013	<0,010
Pyrene	S-PAHGMS05	mg/kg DW	0.01	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0.216	0.146	<0,010
Sum of 16 PAH	S-PAHGMS05	mg/kg DW	0.16	<0,160	<0,160	<0,160	<0,160	<0,160	1.27	0.811	<0,160