



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
EESTI MEREAKADEEMIA
Merenduskeskus

Laura Valk

**BATÜMEETRIA LIDARI KASUTAMISE VÕIMALUSED
EESTI RANNIKUVETES**

Lõputöö

Juhendajad: Priit Vellamäe

Dots. Inga Zaitseva- Pärnaste

Tallinn 2021

Olen koostanud töö iseseisvalt.

Töö koostamisel kasutatud kõikidele teiste autorite töödele, olulistele seisukohtadele ja andmetele on viidatud.

Laura Valk

(allkiri, kuupäev) /*allkirjastatud digitaalselt*/

Üliõpilase kood: 178329VDVR

Üliõpilase e-posti aadress: lauravalkk@gmail.com

Juhendaja Dotsent Inga Zaitseva-Pärnaste:

Töö vastab lõputööle esitatud nõuetele.

(allkiri, kuupäev) /*allkirjastatud digitaalselt*/

Kaitsmiskomisjoni esimees: Dotsent Inga Zaitseva-Pärnaste

Lubatud kaitsmisele.

Programmijuht, Inga Zaitseva-Pärnaste /*allkirjastatud digitaalselt*/

(ametikoht, nimi, allkiri, kuupäev)

Sisukord

Jooniste loetelu	5
Tabelite loetelu	6
Annotatsioon.....	7
Sissejuhatus	9
1 Aerolaserskaneerimine	11
1.1 Laserskannerite ajalugu Euroopas	12
1.2 Laserskanneri süsteem	13
2 Rahvusvahelised standardid	15
3 Aerolaserskaneerimine Eestis maismaal	17
4 Merepõhja mõõdistamine Eestis.....	18
4.1 Rannikualade mõõdistamine.....	18
4.2 Varasemad katsed batümeetrilise aerolaserskanneri kasutamisel	20
5 Empiiriline uurimus	21
6 Teiste Läänemere riikide kogemused batümeetrilise aerolaserskanneri kasutamisel	
22	
6.1 Soome	22
6.2 Rootsi.....	24
6.3 Saksamaa	24
6.3.1 Schleswig-Holstein liidumaa.....	25
7 Tingimused Eesti rannikuvetes.....	26
7.1 Randlatüübid.....	26
7.2 Vee läbipaistvus.....	27
7.3 Põhjataimestik	33
7.4 Jääkate	33
7.5 Lainetus	34
8 Ettepanekud	35
Kokkuvõte	36
Summary.....	38
Kasutatud allikad	40
Lisa 1 Teiste riikide kogemused.....	43
Lisa 2 Intervjuu küsimused.....	44

Lisa 3 Põhjataimestiku seire andmed	45
Lisa 4 Vee läbipaistvuse seire andmed.....	53

Jooniste loetelu

Joonis 1. Aerolaserskaneerimise tööpõhimõte	11
Joonis 2. Batümeetria LIDARi tööpõhimõte	13
Joonis 3. Batümeetria LIDARi eelis laevadelt merepõhja mõõdistamise ees	19
Joonis 4. Kassari saare ümbrus. Kollased planeeritud, rohelised mõõdistatud, andmed puhastatud ja kontrollitud, lillad pooleli (tuulevaiksem ilm, sügavam vesi).....	19
Joonis 5. Eri randlatüüpide levik Eesti rannikul. Rajoonide nimed on toodud tabelis...	26
Joonis 6. Secchi ketas	28
Joonis 7. Vee läbipaistvus Eru-Käsmu ja Narva-Kunda lahe rannikuvee seirekogumites 2020. aastal.	30
Joonis 8. Vee läbipaistvus Pärnu lahe rannikuvee seirekogumis 2020. aastal	30
Joonis 9. Vee läbipaistvus Hara-Kolga ja Muuga-Tallinna-Kakumäe lahe rannikuvee seirekogumites 2020. aastal	31
Joonis 10. Vee läbipaistvus Soela väina ja Kassari-Soela lahe rannikuvee seirekogumites 2020. aastal	31
Joonis 11. Vee läbipaistvus Väinamere rannikuvee seirekogumis 2020. aastal.....	32
Joonis 12. Vee läbipaistvus Liivi lahe kirdeosa rannikuvee seirekogumis 2020. aastal	32

Tabelite loetelu

Tabel 1. IHO standardid hüdrograafiliste mõõdistuste kvaliteedi hindamiseks	16
Tabel 2. Tabel randlatüüpide ligikaudsest protsentuaalsest hulgast rannikutüüpide piires Eesti rannikul.....	27
Tabel 3. Vee läbipaistvuse ja LIDARi mõõdistussügavuse arvatud suhe	29
Tabel 4. Beaufort'i skaala 0-3	34
Tabel 5. Põhjataimestiku seire andmed. Piirkond: Kolga laht, Kunda, Narva laht, Käsma laht, Letipea neem, Hara laht, Eru laht. Sügavus (m), üldkatvus (%)	45
Tabel 6. Põhjataimestiku seire andmed. Piirkond: Pärnu laht. Sügavus (m), üldkatvus (%)	48
Tabel 7. Põhjataimestiku seire andmed. Piirkonnad: Aegna, Muuga laht, Suurupi laht. Sügavus (m), üldkatvus (%)	50
Tabel 8. Põhjataimestiku seire andmed. Piirkond: Küdema laht. Sügavus (m), üldkatvus (%)	51
Tabel 9. Põhjataimestiku seire andmed. Piirkond: Vormsi. Sügavus (m), üldkatvus (%)	51
Tabel 10. Põhjataimestiku seire andmed. Piirkond: Liivi laht. Sügavus (m), üldkatvus (%)	52
Tabel 11. Vee läbipaistvuse seire andmed. Mõõdetud arvvärtus (m). Seirekogumid: Eesti rannikuvesi.....	53

Annotatsioon

Lõputöö eesmärk on uurida batümeetria LIDARi kasutamise võimalusi Eesti rannikuvetes, mille välja selgitamiseks viidi läbi empiiriline uuring intervjuude näol nii Eesti kui erinevate Läänemere-äärsete riikide hüdrograafiliste mõõdistuste teostamise eest vastutavate asutuste spetsialistidega, kellelt uuriti batümeetria LIDARiga töötamise kogemuste kohta. Teiste riikide kogemuste ja projektide kohta informatsiooni saamiseks saadeti intervjuu küsimused erinevate riikide vastavate asutuste hüdrograafia osakondade spetsialistidele e-maili teel ning esitati küsimused e-maili teel batümeetria LIDARi vajalikkuse ja rannikumere mõõdistamise kohta Eesti Transpordiameti merenduse ja veeteede teenistuse hüdrograafiaosakonna juhatajale. Erinevate riikide spetsialistide hinnangute põhjal on koostatud kokkuvõtlik analüüs, mis on abiks batümeetria LIDARi kasutamise võimalustest ülevaate saamisel. Samuti koguti lõputöö käigus kokku LIDARi tulemusi mõjutavate tegurite näitajad Eesti vetes, et teha järeldusi LIDARiga mõõdistamise võimalikkusest üldiselt. Andmed analüüsiti ja koondati kokku graafikuteks, et mõõtmistulemused oleksid välja toodud ülevaatlikult ja kokkuvõtvalt.

Käesolev lõputöö on ka sisendiks Transpordiameti merenduse ja veeteede teenistuse hüdrograafiaosakonnale batümeetria LIDARi vajalikkuse selgitamisel ja selle kasutamise planeerimisel. Kuna Eesti rannikualad on sügavusel alla 2 m mõõdistamata, on teema väga aktuaalne ja lõputöö on võimalikuks abiks batümeetria LIDARi projektide koostamisel.

Intervjuude tulemusena selgus, et batümeetria LIDAR on väga laialt levinud tehnoloogia rannikualade mõõdistamisel Läänemere-äärsete riikide seas. LIDARi süsteem on tänapäevase tehnoloogia juures end igati ära õigustanud ja kasutatakse laialdaselt kuni 10 m sügavuste merealade mõõdistamiseks. Batümeetria LIDARi eelis lehviksonari või mitmekiirelise kajaloodi ees on mõõdistamistöõde väiksem ajakulu. Samas on LIDARiga mõõdistamise puhul oluline arvesse võtta erinevaid tingimusi, näiteks vee läbipaistvus, laseri intensiivsus, põhjataimestiku üldkatvus, jääkate, lainetus ja merepõhja iseloom.

Intervjuu käigus Transpordiameti merenduse ja veeteede teenistuse hüdrograafia osakonna juhatajaga selgus, peale batümeetria LIDARi alla 2 m sügavuste rannikualade mõõdistamiseks teada pole, mis tähendab, et tegemist on Eestis väga vajaliku

tehnoloogiaga. Katsetusi on varem tehtud, kuid sellel ajal oli LIDARi süsteemi tehnoloogia niivõrd vähe arenenud, et tulemused polnud piisavalt head. Hetkel on tehnoloogia nii palju arenenud, et teema on taas aktuaalne ja batümeetria LIDARi kasutamise võimaluste uurimine Eesti rannikuvetes on aluseks LIDARi tehnoloogia kasutusele võtmisele.

Võtmesõnad: batümeetria, hüdrograafia, rannikumeri, LIDAR, tingimused Eesti rannikuvetes.

Sissejuhatus

Eestis on alla 2 meetri sügavused alad lehviksonariga mõõdistamata, sest endiselt puudub tehnoloogia, mille abil antud mõõdistustöid teostada. Nii madalad alad ei ole ligipääsetavad laevadelt ja kaatritelt, kuhu lehviksonarit või kajaloodi kinnitada. Selle tõttu on rannikualade sügavuspunktid sügavusega alla 2 meetri tänapäevase tehnoloogiaga merekaartide tarbeks mõõdistamata ja kaardile kandmata. Viimased andmed pärinevad nõukogude liidu ajast, mis ei ole tänapäeval enam väga täpsed ja on väikse tihedusega. Lisaks on rannikualadel mõõdistusalasid sügavusega kuni 5 meetrit, kus hoolimata tööde planeerimisest on madala veetaseme tõttu jäänud tööd sooritamata ning jäänud ootama kõrgemat veetaset või sobilikku ilma.

Rannikualade täielik mõõdistamine on vajalik. Nimelt madala rannikumere tõttu on väga paljude väikesadamate sissesõidud umbes 2 meetri sügavusega, mõned ka madalamad. Laevateede planeerimiseks on oluline teada ka madalaid sügavusi just väikelaevade tarvis, sest hobi korras sõitvaid väikelaevajuhte tuleb igal aastal juurde, kes sõidavad ka praegu kaardistamata aladel. Laevateede planeerimisel on oluline teada ka merepõhja sügavust navigatsioonimärkide paigaldamiseks. Kuna palju on rannikualadel madalikke, mille taga on ka sügavam ala ja madaliku tõttu pole võimalik sügavama alani kaatriga jõuda, siis madala rannikumere mõõdistamise vajalikkus ei ole vaid kuni 2 meetri sügavuseni, vaid vähemalt kuni 5 meetrini. Lisaks on väga suur huvi ka suplejate poolt teada ohutuse seisukohalt, kui sügav erinevates randades on ning kui kiirelt sügavaks minekuga arvestada tuleb.

Ainuke teadaolev lahendus nii madalate alade mõõdistamiseks on õhust. Seda saab teostada droonidele või lennukitele paigaldatud laserskanneri abil. Aerolaserskanneerimine ehk LIDAR on tänapäeval väga levinud nii maa mõõtmises kui merepõhja sügavuse ja iseloomu mõõdistamises. Maa-amet kasutab topograafia LIDARi süsteemi alates 2008. aastast. Veeteede Amet on varasemalt teinud katsetuse batümeetria LIDARiga, kuid sellel ajal oli laseri intensiivsus LIDARitel niivõrd madal, et katsetuse tulemused ei olnud piisavalt suure täpsusega, et antud tehnoloogiaga jätkata.

Teema on jälle aktuaalseks muutunud, sest LIDARite võimsus on tehnoloogia arenguga niivõrd palju kasvanud, et Läänemere-äärsete riikide seas on batümeetria LIDAR

muutunud väga populaarseks rannikualade mõõdistamise vahendiks. Sellepärast on oluline uurida, kas ka Eesti tingimustes on batümeetria LIDARit võimalik rahvusvahelistele standarditele vastavalt kasutada.

Töö eesmärk on uurida Läänemere-äärsete riikide hüdrograafiliste mõõdistustöödega tegelevate asutuste ekspertidelt nende kogemusi batümeetria LIDARiga rannikualade mõõdistamisel ja teha järeldused batümeetria LIDARi kasutusele võtmise mõistlikkusest Eestis. Lisaks uuritakse töös Eesti rannikualade tingimusi, millest batümeetria LIDARi ehk aerolaserskanneri töö kvaliteet sõltub.

Analüüsidest tingimusi Eesti rannikualadel ja mõõtmistulemusi antud näitajate puhul on võimalik teha järeldused batümeetria LIDARi võimalikkusest ja mõistlikkusest. Tuginedes mõõtmistulemustele ja intervjuudele teiste riikide ning Eesti antud valdkonna spetsialistidega, on töö kõige olulisem eesmärk anda soovitusel ja ettepanekud ning teha järeldused batümeetria LIDARiga mõõdistustööde planeerimise ajastusest, raskendavatest asjaoludest, mida silmas pidada ning mõistlikkusest Eesti tingimustes.

Lõputöö koosneb kaheksast peatükist ning on jagatud kolmeks mõtteliseks osaks: teoreetiline, meetodiline ja tulemuste osa. Teoreetilises osas tutvustatakse aerolaserskanneerimise olemust, ajalugu ja süsteemi, rahvusvahelisi standardeid hüdrograafilistele mõõdistustele, LIDARi kasutamist Eestis maismaal, merepõhja ja rannikualade mõõdistamist Eestis. Lisaks tuuakse välja Veeteede Ameti varasemad katsed batümeetria LIDARiga. Meetodilises osas kirjeldatakse töö käigus läbi viidud empiirilist uurimust ja andmete kogumise ning analüüsimise meetodeid. Tulemusi kirjeldavas, töö kolmandas osas analüüsitakse põhjalikult uuringu käigus läbi viidud intervjuu vastuseid ja Eesti rannikualade tingimusi, millest LIDARi tulemus sõltub. Viimases peatükis antakse hinnang batümeetria LIDARi kasutamise võimalustest Eestis koos konkreetsete ajaliste soovitustega, millest on kasulik lähtuda tööde planeerimisel tulevikus. Lisaks on välja toodud tegurid, mida silmas pidada tööde planeerimisel ja läbi viimisel, lähtudes teiste riikide kogemustest ja soovitustest.

Töö on sisendiks batümeetria LIDARi tehnoloogia projektide koostamisel selle tehnoloogia vajalikkuse põhjendamisel ja projektide ajastuse planeerimisel.

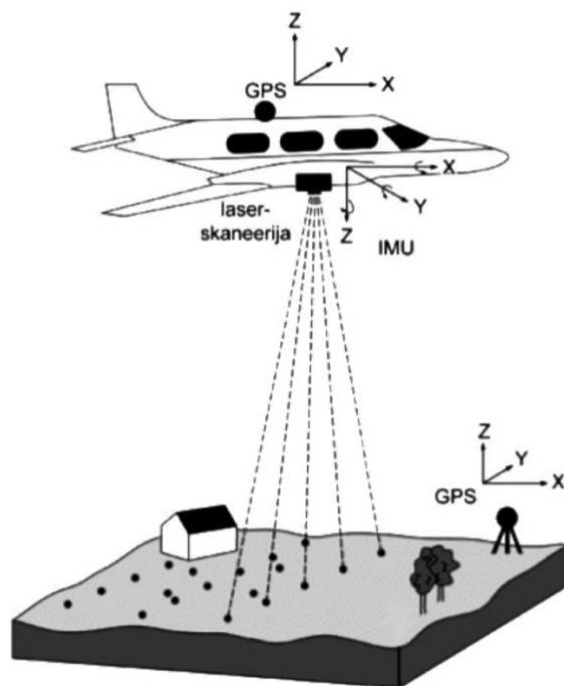
1 Aerolaserskaneerimine

„Batümeetria on hüdromeetria haru, mis tegeleb veekogude sügavuse mõõtmisega.” (Batümeetria).

Batümeetriline laserskaneerimine on laserskaneerimise meetod, mille käigus on võimalik madalate veekogude põhja iseloomu ja sügavust mõõdistada (Maas et al., 2018).

„Topograafia on maapinna täpse mõõdistamise ja kaardistamisega tegelev geodeesia haru.” (Topograafia).

Topograafilise ja batümeetrilise laserskaneerimise erinevus seisneb selles, et batümeetria LIDARi süsteem sisaldab kahte laserkiirt, millest üks jõuab veekogu põhjani välja ja teine peegeldab veekogu pinnalt tagasi. Topograafilise ehk aerolaserskaneerimise puhul on süsteemil üks laserkiir, mis peegeldab maapinnalt tagasi (Joonis 1). Batümeetrilise laserskanneri süsteemi täpsem kirjeldus on leitav peatükist 1.2 Laserskanneri süsteem.



Joonis 1. Aerolaserskaneerimise tööpõhimõte
Allikas: (Lillesand & Kiefer 2009)

Nii batümeetriline kui topograafiline laserskanneri ehk LIDARi süsteem sisaldab samu põhiüksusi: lasersaatja üksus, skanner, laservastuvõtja üksus ja erinevad abisüsteemid (White et al., 2011).

Aerolaserskanneri süsteemide levinumad tootjad hetkel on Leica (Leica Chiroptera 4X batümeetria-topograafia LIDAR) (Leica Chiroptera 4X Bathymetric & Topographic LIDAR), Velodyne (Velodyne LIDAR) (Highly resilient 3D LIDAR sensor with no visible rotating parts) ja RIEGL.

Tänapäeval on enamike batümeetria LIDARi süsteemidega võimalik saavutada hüdrograafias vajalik laseri intensiivsus, milleks on 1,5 Secchi ketast vee läbipaistvust ja mis on eelduseks piisavalt täpsele mõõdistustulemusele ning sellele, et laserkiir jõuaks merepõhjani.

1.1 Laserskannerite ajalugu Euroopas

1980. aastate keskel töötas Rootsi Kaitseuringute asutus koos ettevõttega Optech Incorporated välja FLASH LIDARisüsteemi, et hinnata objektide tuvastamist ja tekkiva batümeetria LIDARi tehnoloogia jõudlust. FLASHi edu viis 1990. aastate alguses Saab Instruments AB kahe identse Hawk Eye süsteemi väljatöötamiseni, mis tulenesid suuresti SHOALS-i disainist (Ameeriklaste välja töötatud batümeetria LIDARi süsteem) ja mille välja töötamise peamiseks alltoövõtjaks oli Optech. Rootsi Kaitseministeerium ostis neid süsteeme kaks- ühe Rootsi Kuningliku Mereväe jaoks, teise Rootsi Veeteede Ameti jaoks ja need paigutati 1994. ja 1995. aastal hüdrograafia ja allveelaevade tuvastamise eesmärgil.

2004. aastal moodustasid Airborne Hydrography AB, Rootsi TopEye AB ning Ühendkuningriigi Admiralty Holdings Limited koostöö Admiralty Coastal Surveys AB-ga, et luua ja toota batümeetria ja topograafia LIDARid nende uue Hawk Eye II LIDARisüsteemi ümber. Laserbatümeetria- ja topograafiasüsteemi Hawk Eye II testiti 2005. aastal Prantsusmaal, Saksamaal, Taanis, Eestis, Rootsis ja USA-s.

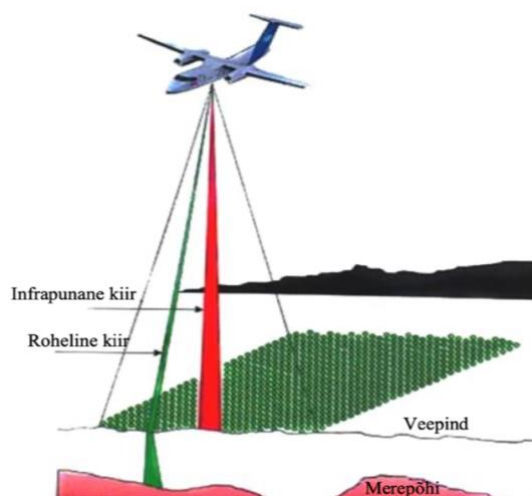
Chiroptera II ja Hawk Eye III on hiljutised madal- ja süvavee batümeetria LIDARi süsteemid, mille Leica AHAB andis välja 2013. ja 2015. aastal. Airborne Hydrography

AB ehitas Chiroptera Texase ülikooli jaoks. Chiroptera II järel alustas Leica Airborne Hydrography AB 2014. aastal HawkEye III-ga, mille laseril on eelkäijast suurem intensiivsus, sügavama vee kaardistamist.. Chiroptera II uurib maismaad ja madalat vett, HawkEye III aga sügavamat vett.

Olles juba varasemalt kogunud teadmisi õhus laserskaneerimise kohta, astus RIEGL 2008. aastal Austria Innsbrucki ülikooli algatatud uurimisprojekti kaudu batümeetria LIDARi süsteemide valdkonda. Algusest peale oli RIEGL-i eesmärgiks luua kõrge eraldusvõimega rannikualade batümeetria LIDAR. Erilist tähelepanu pöörati kompaktsusele ja riistvara kaalu minimeerimisele ning ühilduvusele RIEGL-i varem väljakujunenud riist- ja tarkvaralahendustega. Pärast uurimis- ja arendusetappi turustas RIEGL 2011. aastal VQ-820-G (Wozencraft et al., 2019).

1.2 Laserskanneri süsteem

Lasersaatja üksuses genereeritakse rohelise ja infrapunase lainepikkusega kõrgsageduslikke impulsse, millest roheline laserkiir jõuab veekogu põhjani ja tagasi. Punane laserkiir peegeldub veepinnalt tagasi ja selle abil on võimalik määrata lennuki asukohta veepinna suhtes. Roheline kiir on lainepikkusega 532 nm, mis on kõige optimaalsem lainepikkus veekeskkonna läbimiseks (Joonis 2). Laserkiirte impulsside abil on võimalik arvutada objektide kaugus lennukist (Austin & Petzold, 1984).



Joonis 2. Batümeetria LIDARi tööpõhimõte
Allikas: (Kala ja Kotsulim 2010, 60)

Skanneri seade määrab kindlaks lasermõõtmise mustri, samuti seadme ja veepinna vahekauguse. Suure ala lasermõõtmistega katmiseks peab skanner laserimpulsid laiali jaotama. Punktipilve konkreetne muster veepinnalt ei ole batümeetrilise kaardistamise jaoks eriti oluline, kui lasermõõtmiste ruumiline tihedus on mõõdukalt ühtlane ja tihedusega vähemalt 4-6 punkti/ m^2 (Guenther, 1985).

Lennuaparaadil asuv optiline vastuvõtja registreerib mõlemad tagasi peegeldunud impulsid. Tagasi jõudnud kiired on alati diameetrilt laiemad kui välja saadetud kiired, sest laserkiir hajub vees. Seetõttu peab vastuvõtja olema suurema diameetriga kui laseri väljasaatja. Sügavuse saab kindlaks määrata aja mõõtmisega, mis jääb nende kahe peegeldusmomendi vahele. Lisaks sügavuse määramisele saab ka impulsside tagasi jõudmise iseloomu abil kindlaks teha veepinna, merepõhja ja veesamba iseloomud. Silmas tuleb pidada erinevaid parandeid nagu süsteemi geomeetria, keskkonnamõjud valguskiire levimisele, lainetuse ja tõusu- mõõna mõjud (Pe'eri & Philpot, 2007).

2 Rahvusvahelised standardid

Hüdrograafiliste mõõdistustulemuste kvaliteedi hindamiseks on välja töötatud täpsusnõuded, mis IHO (*International Hydrography Organization*) poolt kinnitatud ning avaldatud eriväljaandes nr 44 (S-44).

Usaldusväärsete sügavusandmete kogumine, mis vastaks IHO standarditele, on LIDARi puhul seotud laseri ja valguse karakteristikute, andmekogumiselektroonika ning laserkiire ja keskkonnavaheliste füüsikaliste vastasmõjude täpse tundmisega. Kõik need faktorid kujutavad endast tõsiseid veeallikaid, mis tuleb minimaliseerida.

Et hüdrograafilised mõõdistused vastaksid kindlatele IHO poolt paika pandud klassidele, peavad olema täidetud kindlad kriteeriumid, mis on toodud Tabelis 1 (*International Hydrographic Organization, 2021*).

Tabel 1. IHO standardid hüdrograafiliste mõõdistuste kvaliteedi hindamiseks

Klass	Eksklusiiiv	Eri	1a	1b	2
Ala kirjeldus	piirkonnad, kus on ranged kiilualuse veesügavuse ja manööverdusvõime kriteeriumid	kriitilise kiilualuse veesügavusega alad (sadamad, kriitilised kanalid, ankrupaigad)	<100 m veesügavusega alad (sadamad, sadamale lähenemise kanalid, soovitatavad laevateed)	<100 m veelad, kus kiilualune veesügavus ei ohusta selles piirkonnas kasutatavaid pealveelaevu	üldiselt > 100 m veesügavusega alad, kus merepõhja üldkirjeldust loetakse piisavaks
Horisontaalne täpsus (95% tõenäosusega)	1 m	2 m	5 m + 5% sügavusest	5 m + 5% sügavusest	20 m + 10% sügavusest
Sügavuste täpsus (95% tõenäosusega)	a = 0.15 m b = 0.0075	a = 0.25 m b = 0.0075	a = 0.25 m b = 0.013	a = 0.5 m b = 0.013	a=1.0m b = 0.023
Lausmõõdistus	nõutav	nõutav	nõutav	pole nõutav	pole nõutav
Moodustise avastamine	> 0.5 m kuubikujulised moodustised	>1 m kuubikujulised moodustised	<40 m veesügavusel > 2 m kuubikujulised moodustised sügavamal 10% sügavusest	ei kohaldata	ei kohaldata
Soovituslik suurim mõõteliinide vahe	määramata, kuna nõutav on lausmõõdistus	määramata, kuna nõutav on lausmõõdistus	määramata, kuna nõutav on lausmõõdistus	LIDAR mõõdistusel punktide vahe 5x5m	neljakordne keskmine veesügavus
Laevatamiseks oluliste pinnavormide asukohamäärang	1 m	2 m	2 m	2 m	5 m
Laevatamiseks vähem oluliste pinnavormide asukohamäärang	5 m	10 m	20 m	20 m	20 m
Rannajoone asukohamäärang	5 m	10 m	10 m	10 m	10 m

Allikas: International Hydrographic Organization (2021, 12-15)

3 Aerolaserskaneerimine Eestis maismaal

Aerolaserskaneerimine on maailmas väga laialt levinud maamõõtmise meetod. Eestis on Maa-amet selliseid mõõdistuslende teostanud alates 2008. aastast. Kogu Eesti ala mõõdistamiseks LIDARi tehnoloogiaga kulub 4 aastat. Maa-ameti korraldatud lennud toimuvad kevadeti. Aastaks 2021 on toimunud ALS I (2008-2011), ALS II (2012-2015) ja ALS III (2017-2020) ringi (Aerolaserskaneerimise kõrguspunktid).

Aastatel 2008-2016 oli Maa-ameti kasutuses aerolaserskanner Leica ALS50-II, mis võimaldas mõõta kuni 6000 m kõrguselt, laserkiire skanneerimismuster oli sinusoidaalne ja maksimaalne vaateväli kuni 75 kraadi (Aerolaserskanner Leica ALS50-II (2008-2016)).

Leica ALS50-II vahetati aastal 2017 välja aerolaserskanner Riegl VQ-1560i vastu. Selle skanneri mõõdistuskõrgus ja ka maksimaalne vaateväli on väiksemad kui eelmisel kasutuses oleval skanneril- 60% peegelduvuse juures 4700 m ja 58 kraadi, kuid mõõtmisest saadav punkt pilv koos kõrgusandmetega täpsem tänu kahele laseri kanalile ja unikaalsele skanneerimismustrile, mis tekitab ebakorrapärase mustrit ja tänu sellele on võimalik väga detailselt koguda kõrgusinfot (Aerolaserskanner Riegl VQ-1560i).

4 Merepõhja mõõdistamine Eestis

Töö käigus viidi läbi intervjuu Transpordiameti merenduse ja veeteede teenistuse hüdrograafiaosakonna juhataja Peeter Välinguga. Intervjuu eesmärk oli küsida hüdrograafiliste mõõdistustega tegeleva asutuse juhtivalt eksperdilt arvamust batümeetria LIDARi kasutamise kohta (Lisa 2).

Meremõõdistamine koosneb neljast etapist: kavandamine, mõõdistamine, andmetöötlus ja andmeedastus.

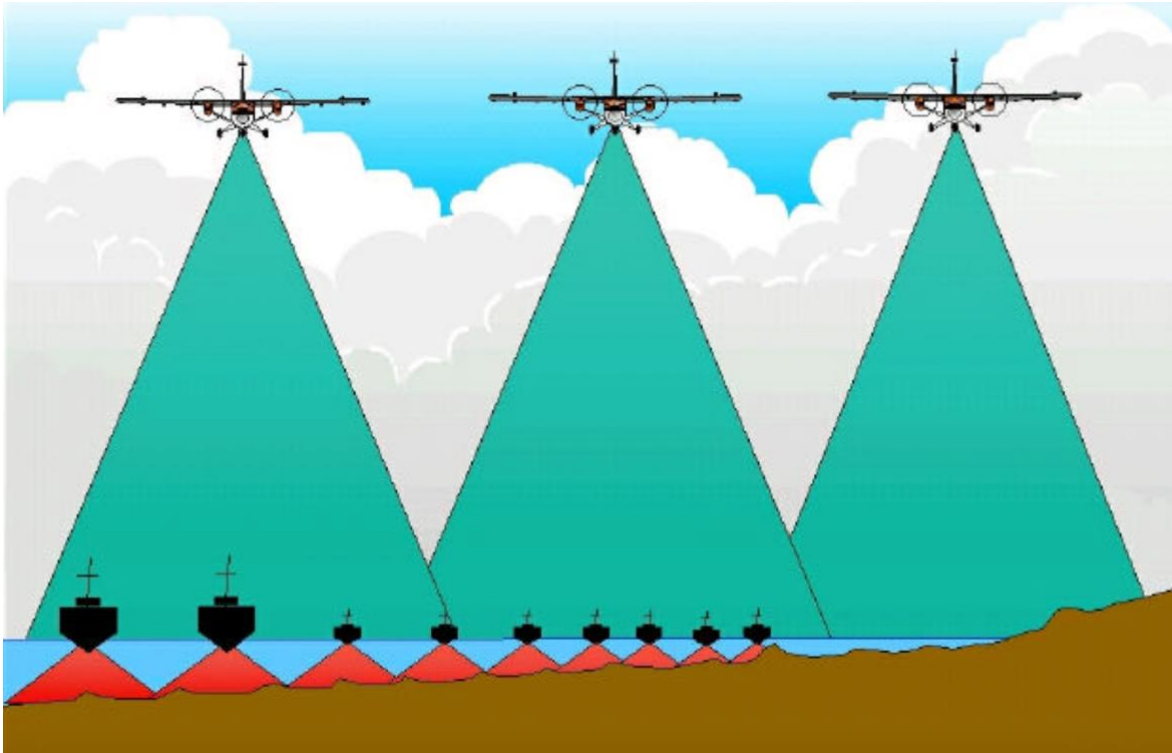
Transpordiameti merenduse ja veeteede teenistuse hüdrograafiaosakonna hüdrograafilise mõõdistussüsteemi riistvara moodustavad kajaloodid, GPS seadmed, gürokompass, kõikumise registraator, helikiiruse mõõtja ja külgvaatesonar.

Laeval Jakob Prei on kasutusel RESON-i lehviksonar (*multibeam*) T50-R, külgvaatesonar EdgeTech 4200MP veealuste objektide uurimiseks ja Meridata madalasageduskajalood põhjasetetesse vaatamiseks. EVA-320 on kasutusel RESON-i lehviksonar (*multibeam*) T50-R, kaatril KAJA RESON-i lehviksonar (*multibeam*) T20-P, laeval EVA-301 on AS AHERO mitmeandurilised lehvikasetusega hüdroakustiliste antennidega kajaloed (Mõõdistustehnika ja meetodika).

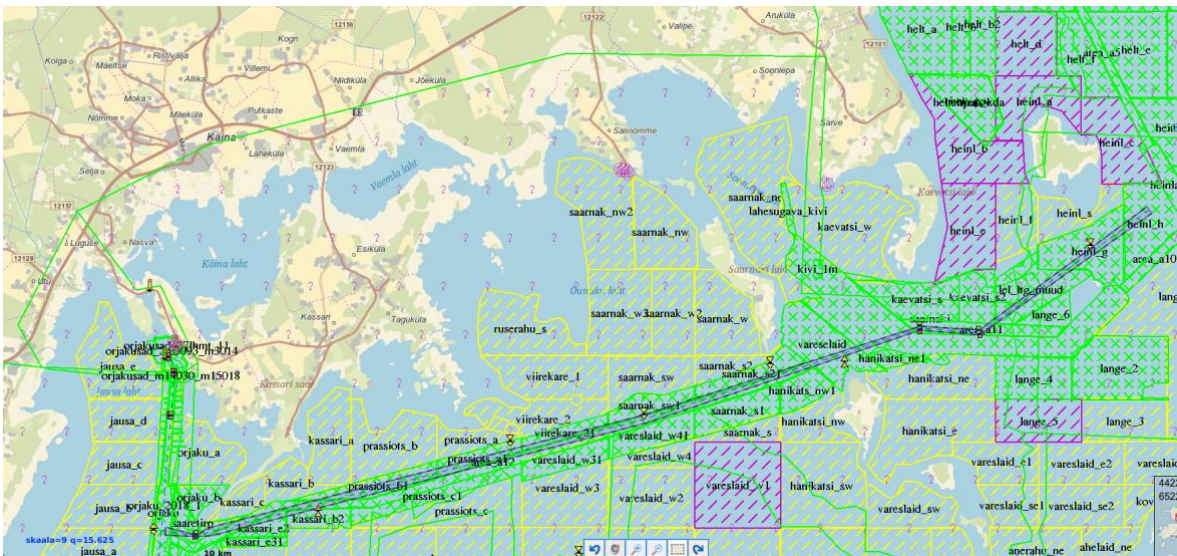
Peeter Välingu sõnul kasutatakse enam kui 2 m sügavuste Eesti merealade mõõdistamiseks eelpool nimetatud lehviksonaritega laevu (Lisa 2).

4.1 Rannikualade mõõdistamine

Madalamad alad kui 2 m on Eesti rannikualadel tänapäevase tehnoloogiaga mõõdistamata (vt joonis 4). Põhjus on selles, et alla selle sügavuse ei ole kaatrite ja laevadega ligipääsu. Transpordiameti merenduse ja veeteede teenistuse hüdrograafiaosakonna juhataja Peeter Välingu sõnul ei ole muud võimalust madalate alade mõõtmiseks kui LIDARiga (Joonis 3). Eelmisel aastal prooviti Veeteede Ameti hüdrograafiaosakonna poolt taotleda koos Maa-ametiga nende lennukil oleva Riegl VQ-1560i aerolaserskanneri kasutamisele rannikualade mõõdistamiseks Euroopa Liidult toetust, kuid see ei õnnestunud (Lisa 2).



Joonis 3. Batümeetria LIDARi eelis laevadelt merepõhja mõõdistamise ees
 Allikas: (Kala ja Kotsulim 2010, 61)



Joonis 4. Kassarisaare ümbrus. Kollased planeeritud, rohelised mõõdistatud, andmed puhastatud ja kontrollitud, lillad poleli (tuulevaiksem ilm, sügavam vesi)
 Allikas: Transpordiamet (2021)

4.2 Varasemad katsed batümeetrilise aerolaserskanneri kasutamisel

Varasemalt on Eestis Veeteede Ameti hüdrograafiaosakond (alates 2021 Transpordiameti merenduse ja veeteede teenistuse hüdrograafiaosakond) katsetanud batümeetrilist LIDARit aastal 2006 Aegna saare lähedal. Katsetusi tehti koostöös ühe Rootsi ettevõttega, kes kasutasid mõõdistusteks Leica Hawkeye LIDARisüsteemi. Tulemused olid võrreldes lehviksonari tulemustega kehva kvaliteediga. Eesti hüdrograafid võrdlesid LIDARi tulemusi Veeteede Ameti varasemate mõõdistusandmetega- erinevused olid keskmiselt 0,5-0,6 m. Samuti oli palju tühje alasid, kus laserkiir ei olnud merepõhjani ulatunud. Veealuste objektide leidmisega oli süsteemil suuri raskusi ja sellega jäi antud katsetus Veeteede Ameti esimeseks ja viimaseks, mis siia maani tehtud on (Lisa 2).

5 Empiiriline uurimus

Antud töö eesmärk on koondada kokku teiste Läänemere-äärsete riikide hüdrograafiliste mõõdistuste eest vastutavate asutuste ekspertide kogemused ja arvamused seoses batümeetria LIDARi süsteemide kasutamise, väljakutsete ja õppetundidega. See teema on väga aktuaalne, sest uuringuid Läänemere riikide praktikast ja selle sobilikkusest Eesti rannikualade mõõdistamisel pole Eestis varem läbi viidud.

Valitud riikide kogemuste kajastamiseks esitati teiste Läänemere riikide eelpool nimetatud tegevusalaga asutuste spetsialistidel küsimused (Lisa 1), mille abil oli võimalik hinnata batümeetria LIDARi vajalikkust, kasulikkust ja põhjendatavust Eestis.

Uuringus osalesid perioodil 08.04.2021- 24.04.2021 e-kirja vahendusel Soome Transpordi- ja Kommunikatsiooniagentuuri (TRAFICOM) hüdrograafia osakonna juhataja Kim Lampinen, Läti Veeteede Ameti hüdrograafia osakonna juhataja Bruno Spels, Rootsi Veeteede Ameti hüdrograafia osakonna rahvusvaheline esindaja Magnus Wallhagen, Saksamaa Föderaalne Merendus- ja Hüdrograafiaagentuuri geodeetilise-hüdrograafilise tehnoloogia ja süsteemide osakonna juhataja Dr. Patrick Westfeld, Schleswig-Holsteini Riikliku Rannakaitse-, Rahvuspargi- ja Merekaitseameti topograafia-morfoloogia osakonna juhataja Lutz Christiansen, Arctia Ltd. batümeetria LIDARi osakonna juhatajaga Mikko Ojala. Riigid valiti uuringusse võimalikult sarnase merepõhja ja rannikualade iseloomu järgi Eestile asukohaga Läänemere ääres, et jõuda võimalikult täpsete järeldusteni.

Oli läbi viidud ka intervjuu Transpordiameti merenduse ja veeteede teenistuse hüdrograafiaosakonna juhataja Peeter Välinguga, mille vastused on kirjeldatud peatükis Merepõhja mõõdistamine Eestis (Lisa 2).

Empiirilise uurimuse läbiviimiseks valitud intervjuud on parim ja tõhusaim meetod, mille abil saada teada, kuidas suhtuvad spetsialistid erinevatest riikidest laserskanneri tehnoloogiasse rannikualade mõõdistamisel ja teha järeldused selle meetodi kasulikkusest ja vajalikkusest Eestis.

6 Teiste Läänemere riikide kogemused batümeetrilise aerolaserskanneri kasutamisel

Peatükk käsitleb Soome, Rootsi, Saksamaa, Schleswig-Holstein liidumaa, Läti ja Soome ettevõtte Arctia Ltd. hüdrograafiliste mõõdistustöödega tegelevate asutuste käest uuritud batümeetria LIDARi kasutamise kogemusi. Järgnevalt on välja toodud küsitletud riikide vastused batümeetria LIDARiga mõõdistamise kogemusi puudutavale autori e-kirjale (Lisa 1).

On oluline arvesse võtta teiste Läänemere riikide kogemusi, et teha järeldused LIDARi tehnoloogia vajalikkusest ning põhjendatavusest Eestis. Arvesse tuleb võtta, et Läänemere ääres leidub küllaltki erinevaid rannikutüüpe, mis teeb ka mõõdistustööde läbiviimise kriteeriumid erinevaks.

Läti Veeteede Ameti hüdrograafiaosakond mõõdistab kuni 2-6 m sügavusega sileda põhjaga rannikualasid mitmekiirelise kajaloodiga ja kiviseid alasid ühekiirelise kajaloodiga. LIDARiga nad projekte teinud ei ole, sest see on nende eelarve jaoks siia maani olnud liiga kallis.

6.1 Soome

Soome Transpordiameti (Liikenne- ja viestintävirasto TRAFICOM) hüdrograafiaosakond mõõdistab kõik laevateed ja muud mõõdistusalad sügavustega 5,5 meetrit kuni 100 meetrit lehviksonariga- IHO eriklassi standardi ja IHO 1a standardi järgi (Tabel 1). Mõõdistustööd, mida tehakse sügavusel 0 meetrit kuni 5,5 meetrit, teostatakse batümeetrilise LIDARiga.

Esimesed katsed tehti aerolaserskanneriga aastal 1999. Tulemused olid juba siis head, kuid tehnoloogia oli sellel ajal liiga kallis, ütles intervjuus Kim Lampinen (Lisa 1).

Järgmine katsetus tehti 2015. aastal kahe erineva laserskanneri süsteemiga: Fugro LADS HD koos Riegl VQ-820-G ja Leica Chiroptera II süsteemiga, mis koosneb DragonEye II topograafilisest ja Chiroptera II madala vee batümeetrilisest LIDARist (Kuusisto, 2016, lk. 103-106).

Soome Transpordiameti alltöövõtja Arctia Ltd. on LIDARi süsteemi riiklikes projektides kasutanud 2016., 2017., 2018. ja 2019. aastal (Lisa 1).

Soomlaste kogemuse järgi peaks olema teoorias IHO 1a standardi saavutamine tänapäeval LIDARiga lihtne, kuid reaalsuses saavutatakse pigem 1b mõõdistusklassi (Tabel 1). Juba 2015. aasta pilootprojektis selgus, et mõlemad testitud batümeetrilised LIDARisüsteemid suudavad tuvastada palju väiksemaid objekte kui IHO 1a klassis ette nähtud, kuid arusaamatutel põhjustel ilmnes probleeme suuremate (1-2 meetri laiuste) objektide tuvastamisega, mis 1a klassi mõõdistuste puhul peaksid tuvastatavad olema (Kuusisto, 2016, lk. 103-106).

Lisaks on nende kogemuse põhjal LIDARi tulemustes rohkem hälbeid kui lehviksonari tulemustes. Väga oluline on enne LIDARiga mõõdistamist arvesse võtta, millisel aastaajal on vee läbipaistvus, jääkate ning ka aastaringset merepõhjataimestiku levik mõõdistustöödeks soodsaim.

Arctia Ltd. on 100% riiklik ettevõtte, mis oli varem samas organisatsioonis Soome Veeteede Ametiga, enne kui erinevad harud eraldati. Arctia tegeleb hüdrograafiliste mõõdistustööde ja sadamate ning veeteede projekteerimisega. Nende esimene pilootprojekt LIDARi kasutamisel oli eelpool mainitud ühisprojekt Soome Veeteede Ametiga aastal 2015. Järgmisel aastal kasutati projektides lisaks LIDARile ka võrdluseks ühe- ja mitmekiirelisi kajaloode. Aastaks 2017 oli Soome rannikualade mõõdistus täielikult üle viidud LIDARi süsteemidele.

Täna kasutatakse Arctia Ltd.-s Leica Chiroptera 4X, mis saavutab väga häid tulemusi 2-10 meetri sügavusel (võrreldes lehviksonariga on tulemused samad, IHO 1a klass) (Tabel 1). Arctia spetsialistide soovitus on alustada LIDARi mõõdistustöödega palju varem kui lehviksonari töödega, sest siis on LIDARi andmed juba töödeldud, kui lehviksonari mõõdistusi läbi viima hakatakse ja sonarit saab kasutada pigem LIDARi punktiple aukude katmiseks. See aitab kulusid kokku hoida, säästes laevaga merel viibimise aega ja mõõdistuspäevade arvu.

Madalatel sügavustel teeb LIDARi mõõdistusi keeruliseks väga peenike liiv põhjakattena, muutes vee häguseks. Selline keerukus esines projektis Saksamaal, kuid

keerulistest oludest hoolimata on Leica Chiroptera 4X nii piisavalt võimekas, et projekti tulemused olid väga hea kvaliteediga- IHO 1a (Tabel 1)(Lisa 1).

6.2 Rootsi

Rootsi rannikualad jagunevad iseloomult kaheks: enamuse Rootsi rannikust on sarnane Soome rannikuga- ulatuslikud skäärid, moreenrannad, kruusarannad, väikesed ja suuremad kaljusaared. Lõuna-Rootsi meenutab veidi rohkem Eesti rannikut. Seal leidub liivarandu ja rannik on ka oluliselt laugem (Glaeser, 1999).

Rootsi Veeteede Amet (Swedish Maritime Administration) kasutab merealade mõõdistuseks lehviksonareid ja jäiktraalimise meetodit juhtudel kui kiilualune sügavus on väga oluline. LIDARit kasutati umbes 20 aastat tagasi, enne kui lehviksonarid said kõige laialtlevinud vahenditeks. Kuna LIDARiga on probleeme IHO standarditest kõige rangemate klasside saavutamiseks, ei ole rootslaste kogemuse põhjal laevatatavaid merealaseid võimalik ega mõttekas LIDARiga mõõdistada. Välja tuuakse kõrge hind, väike kasutusala ja madal usaldusväarsus. Nende kogemuste põhjal on Läänemere vee läbipaistvus liiga väike selleks, et LIDARiga täpsed tulemused saavutada. Küll aga näevad nad LIDARi võimalikku vajalikkust väga madalatel rannikualadel, kuhu laevaga mõõdistama ei pääse.

Rootsi Veeteede Ameti hüdrograafiaosakond katsetab praegu autonoomset ehk mehitamata mõõdistuslaeva ehk ASV-d. Nende sõnul on ASV tulemused tunduvalt paremad kui LIDARiga ning kulud rannikuvees mõõdistades palju madalamad kui mõõdistuslaevaga, millel on meeskond pardal. Samas ei välista nad LIDARi kasutamist tulevikus (Lisa 1).

6.3 Saksamaa

Saksamaa Riiklik Veeteede ja Hüdrograafia Agentuur (Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, BSH) kasutab madalate rannikualade mõõdistamiseks täielikult batümeetrilisi ja topograafilisi LIDARsüsteeme nagu RIEGL VQ880 or Leica Chiroptera 4x, mis on nende hinnangul parimad viisid kindlustamiseks, et ka madal merepõhi on

kaardistatud korrektselt, sest RIEGL-i ja Leica LIDARsüsteemide mõõdistatud punktipilve tihedus on piisavalt suur, et tulemused oleksid adekvaatsed. Koostööd tehakse hetkel Dresdeni Ülikooliga, et parendada LIDARitelt saadud tulemusi veelgi ja leida uusi viise süsteemi kasutamiseks (Lisa 1).

6.3.1 Schleswig-Holstein liidumaa

Schleswig-Holstein asub Saksamaal ja jagab põhjast piiri Taaniga, lõunast Elbe jõega ning rannikuala paikneb lääne suunas Põhjamere ääres ja ida suunas Läänemere ääres. Schleswig-Holsteini Riiklik Rannakaitse-, Rahvuspargi- ja Merekaitseamet (Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein) kasutab LIDARit eelkõige rannakaitse eesmärgil alates 2014. aastast Schleswig-Holsteini Põhjamere ja Läänemere rannikualadel. Aerolaserskanneerimine asendab madalatel rannikualadel hüdrograafilisi mõõdistusi laevade ja madala vee paatidega, mida on väikeste sügavuste puhul keeruline või võimatu läbi viia. Läänemere rannikualadel on LIDARi kasutamine ainus võimalik variant 1-2 meetri sügavustel rannikualadel, kuhu pääseb kaatrite ja paatidega ja samaaegselt võimaldab veepiirist ülalpool salvestada rannakaitseobjekte ja järske kaldaid. Iga kuue aasta tagant teostatakse Läänemere äärse ranniku piirkonnas uued mõõdistused ning kiiremini muutuvatel aladel teostatakse mõõdistused iga kolme aasta järel.

Praeguseks kogutud andmed näitavad väga hea kvaliteediga andmeid 3 kuni 5 meetri sügavusel 0,5 meetri täpsusega horisontaalselt ja 0,1 kuni 0,2 meetri täpsusega sügavusandmetes. Samas rannakaitse eesmärkidel ei võeta IHO ega riiklikke standardeid arvesse (Lisa 1).

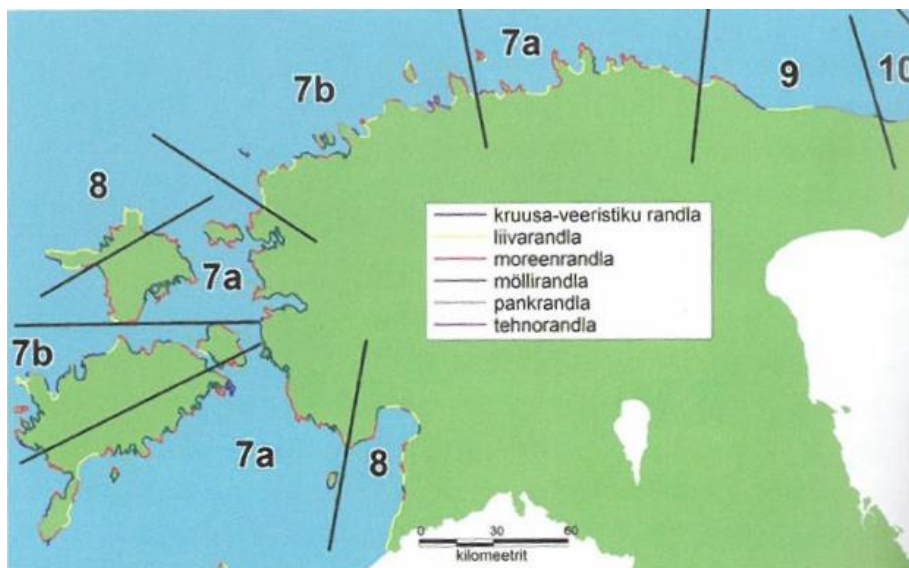
7 Tingimused Eesti rannikuvetes

Teise uuringumeetodina kasutati töös, Eesti rannikuvete tingimusi kajastavate, millest sõltub olulisel määral batümeetria LIDARiga mõõdistamise võimalikkus, mõõdistusandmete kokku kogumise meetodit. Vee läbipaistvuse kirjeldamiseks Eesti rannikuvetes kasutati töös Keskkonnaseire infosüsteemi andmebaasi mõõtmistulemusi Secchi ketta abil (Lisa 4) ning põhjataimestiku üldleviku kirjeldamiseks kasutati andmeid TÜ Eesti Mereinstituudi Bentose andmebaasist seisuga 07.04.2021 (Lisa 3).

LIDAR mõõdistuste puhul sõltub tööde kvaliteet ka mitmetest looduslikest teguritest nagu merepõhja iseloom, põhjataimestiku katvus, jääkatte periood ja vee läbipaistvus. Tööde planeerimisel tuleb lähtuda sellest, millal on kõiki neid tegureid arvesse võttes kõige soodsam aeg usaldusväärsete andmete saamiseks.

7.1 Randlatüübid

Eesti aladel on levinud kuute tüüpi randlaid (Joonis 5)(Tabel 2). Eri rannikutüüpide levik ja areng Eesti rannikul sõltub antud ala varasematest setetest ja kivimitest, reljeefist, maakoore liikumisest ja hüdrodünaamilistest protsessidest. Nende mõju ilmneb randlatüüpide klassifikatsiooni ja levikupildi juures (Orviku, 2018).



Joonis 5. Eri randlatüüpide levik Eesti rannikul. Rajooneid nimed on toodud tabelis
Allikas: (Orviku 2010, 110)

„Aerolaserskanneerimise puhul on oluline vee läbipaistvus. Madalates liivase põhjaga rannikuvetes on võimalik vee hägusus, sest lained keerutavad liivaosakesi ringi. See muudab LIDARi andmete usaldusväärsust ja töötlemist keerukamaks, kuid mitte võimatuks”, soovitas Arctia Ltd. batümeetria LIDARi osakonna juhataja Mikko Ojala autorile antud intervjuus.

Liivasest põhjast mõjutab olulisemalt vee hägusust savine merepõhi, sest savi osakesed ei setti nii kiirelt kui liivaosakesed. Vee läbipaistvust Eestis kirjeldab peatükk 7.2 Vee läbipaistvus. Osakeste settimist mõjutab osakese läbimõõt ja kaal. Savi terakeste läbimõõt on enamasti 0,005 mm- 0,0002 mm (Maapõu) ning liival 0,0625 mm - 2 mm (Maailma liivade hämmastav mitmekesisus).

On oluline teada merepõhja iseloomu, et seda tööde planeerimisel ja ajakulu arvutamisel.

Tabel 2. Tabel randlatüüpide ligikaudsest protsentuaalsest hulgast rannikutüüpide piires Eesti rannikul

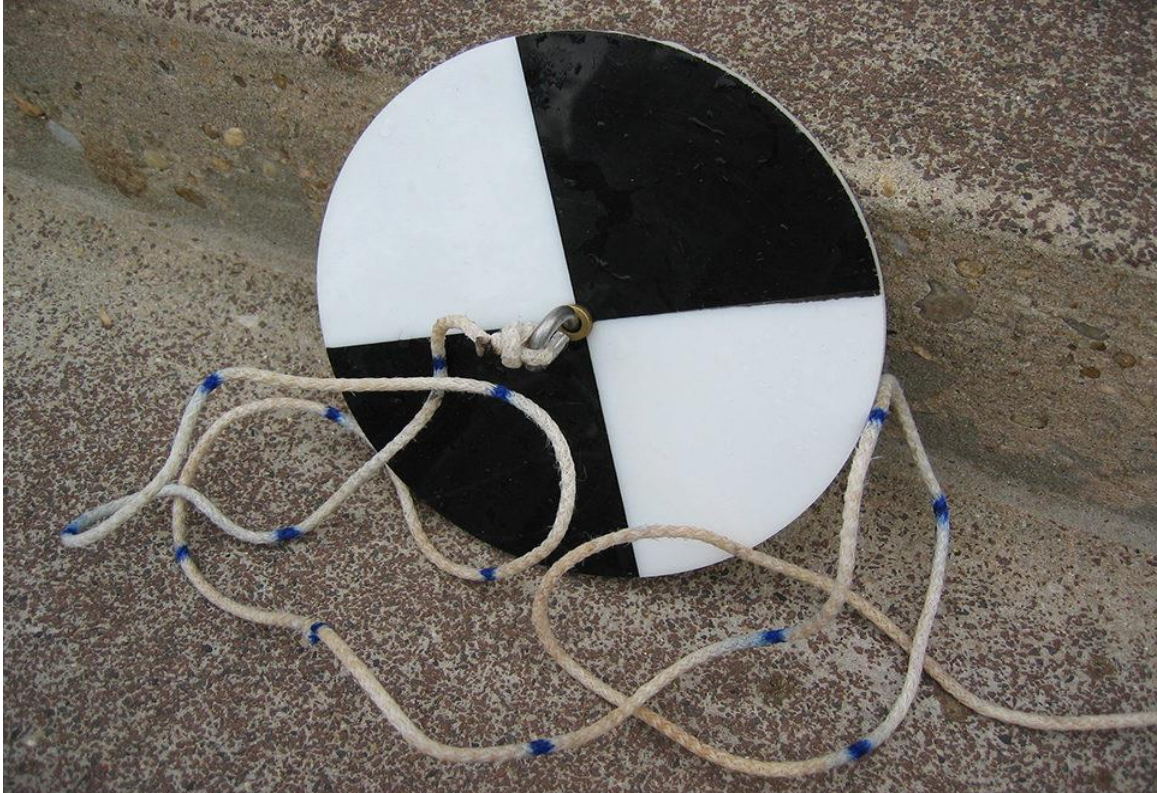
Nr skeemil	Rajooni nimi	Moreen-randla	Liiva-randla	Mõlli-randla	Pank-randla	Kruusa-randla	Tehis-randla
7a	Lahemaa	51	35	6	-	7	1
7a	Saaremaa SO rannik	28	13	51	-	66	2
7b	Ordoviitsiumi klint	8	31	8	50		3
7b	Siluri klint	12	20	12	54		2
8	Hiiumaa N rannik	19	80	-	-	-	1
8	Pärnu laht	22	55	2	-	-	2
9	Ontika	-	29	-	70		1
10	Narva laht	-	99	-	-	-	1

Allikas: (Orviku 2018, 111)

7.2 Vee läbipaistvus

Vette langeva valguse hulgast sõltub fütoplanktoni ja makrofüütide fotosünteetiline aktiivsus. Veeseambas hõljuvad elusad, surnud või juba lagunenenud orgaanilist päritolu osakesed, lisaks anorgaanilised osakesed. Seega sõltub vee läbipaistvus fütoplanktoni hulgast ja eutrofeerumisest. Vee läbipaistvust on kõige kergem ja odavam mõõta Secchi ketta abil (Andersen et al., 2009).

Secchi ketas on valge või mustvalgete sektoritega ketas (vt joonis 6), mis lastakse nii sügavale, et vaatleja silmad seda enam ei näe. Saadud sügavust nimetatakse Secchi sügavuseks. Ketast vaadeldakse nn pööratud periskoobi abil. Aerolaserskanneri suurim kasutussügavus on 2 kuni 3 Secchi sügavust. Eesti vetes on LIDARi maksimaalne kasutussügavus väike: Läänemeres 13 m, Soome lahes 8 kuni 10 m, Liivi lahes kõigest 4 kuni 6 m, Väinameres 3 kuni 5 m (Vahter, 2005).



Joonis 6. Secchi ketas
Allikas: (Boyd 2021)

Kasutades valemit (1) on võimalik arvutada ligikaudsed LIDARi mõõdistussügavused lähtudes vee läbipaistvuse andmetest (Tabel 3). Selline meetod võib olla kasulik tööde planeerimisel.

$$D_L = 1,5D_S \quad (1)$$

kus D_L on LIDARi roheline kiire mõõdistussügavus meetrites, D_S on Secchi ketta sügavus ehk vee läbipaistvus meetrites. 1,5 on kordaja madala vee korral (Pratomo et al., 2019).

Tabel 3. Vee läbipaistvuse ja LIDARi mõõdistussügavuse arvatatud suhe

Vee läbipaistvus (m)	Mõõdistussügavus (m)
1	1,5
2	3
4	6
6	9
8	12

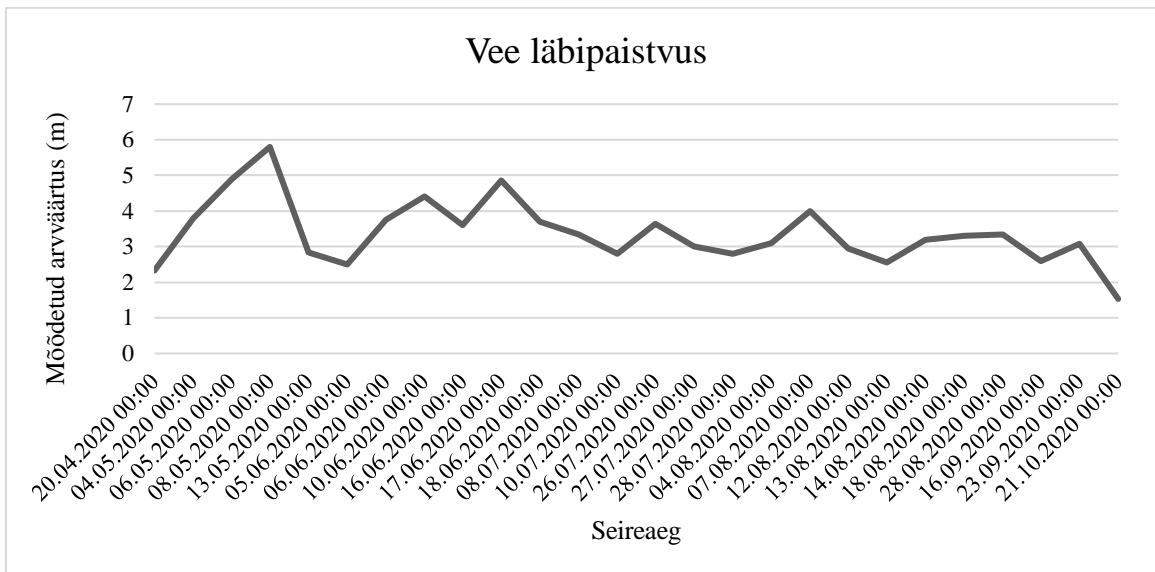
Allikas: Autori arvutused kasutades valemit (1)

Vee läbipaistvus on tavaliselt suurim varakevadel vahetult peale jää minekut (vt joonis 9) ja enne seda kui päikesevalguse hulk muutub suuremaks ehk fütoplanktoni rohket levima hakkamist.

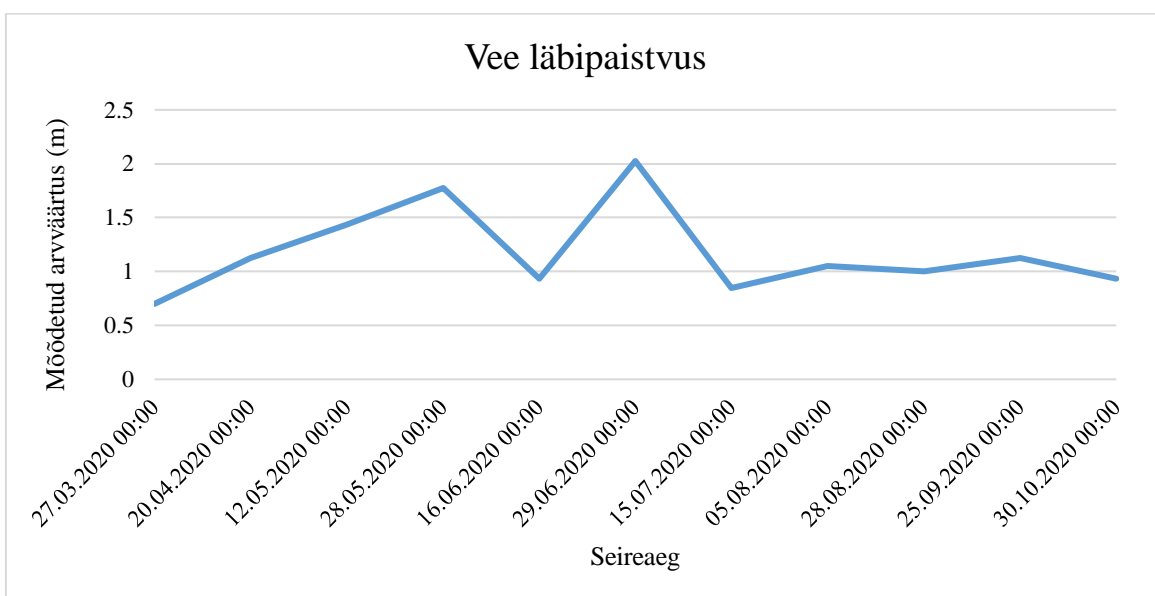
Pärnu lahes ei näita vee läbipaistvus ainult fütoplanktoni arvukust (vt joonis 8), sest tuuletekkelisest segunemisest tingituna paisatakse ka setteosakesi sageli veesambasse. Sarnane olukord näib olevat Soela väina ja Kassari-Soela lahe rannikuvee seirekogumis, kus graafik ei näita ainult fütoplanktoni arvukust, vaid hoolimata veetemperatuuri ja päikesevalguse tõusust suvekuudel vee läbipaistvuse väärtus kõigub palju (vt joonis 10).

Vee läbipaistvust mõjutavad ka kiirevooluliste jõgede suudmealad, kus voolu tõttu kantakse setteid edasi, muutes vee häguseks- näiteks Pärnu ja Narva jõe suudmes.

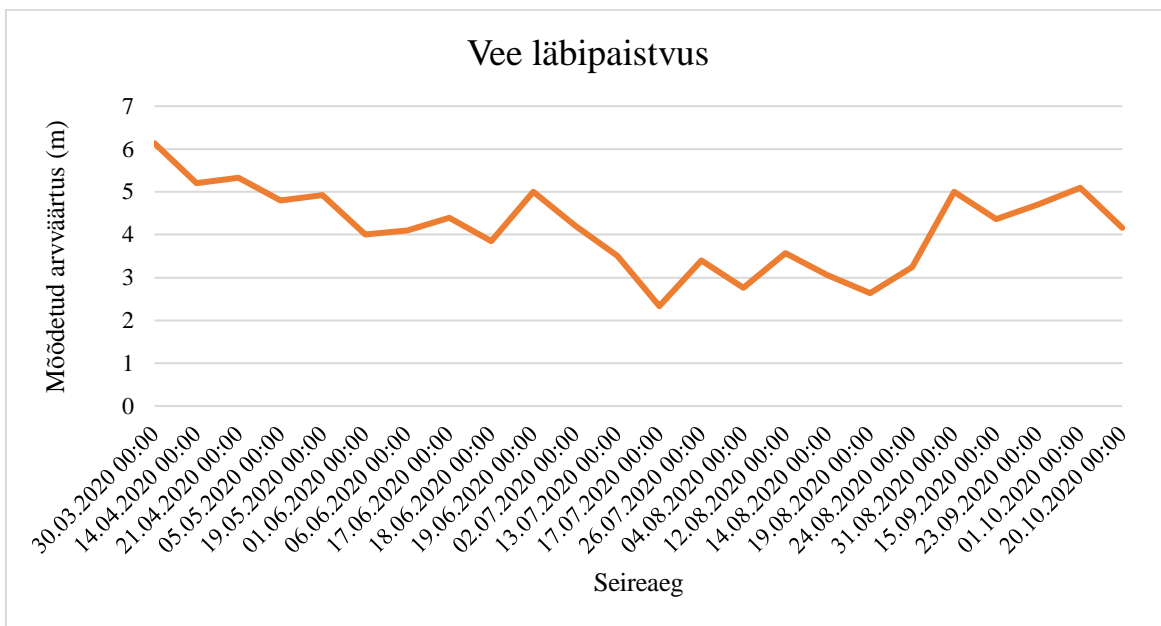
Selgub, et keskmiselt on kõige suurem vee läbipaistvus kõikides seirekogumites (Joonis 7) (Joonis 9) (Joonis 11) (Joonis 12) (välja arvatud Pärnu lahe (Joonis 8) ja Kassari-Soela lahe rannikuvee seirekogumites (Joonis 10)) aprillis ja mai alguses. Tuleb aga arvesse võtta, et seire andmed algavadki aprillist, millal päikesekiirgus on juba arvestatav. Seetõttu on olemas reaalne võimalus, et vee läbipaistvus on märtsis veelgi kõrgem, kui fütoplanktoni arvukus on madalam kui aprillis.



Joonis 7. Vee läbipaistvus Eru-Käsmu ja Narva-Kunda lahe rannikuvee seirekogumites 2020. aastal.
Allikas: Autori koostatud Lisa 4 põhjal

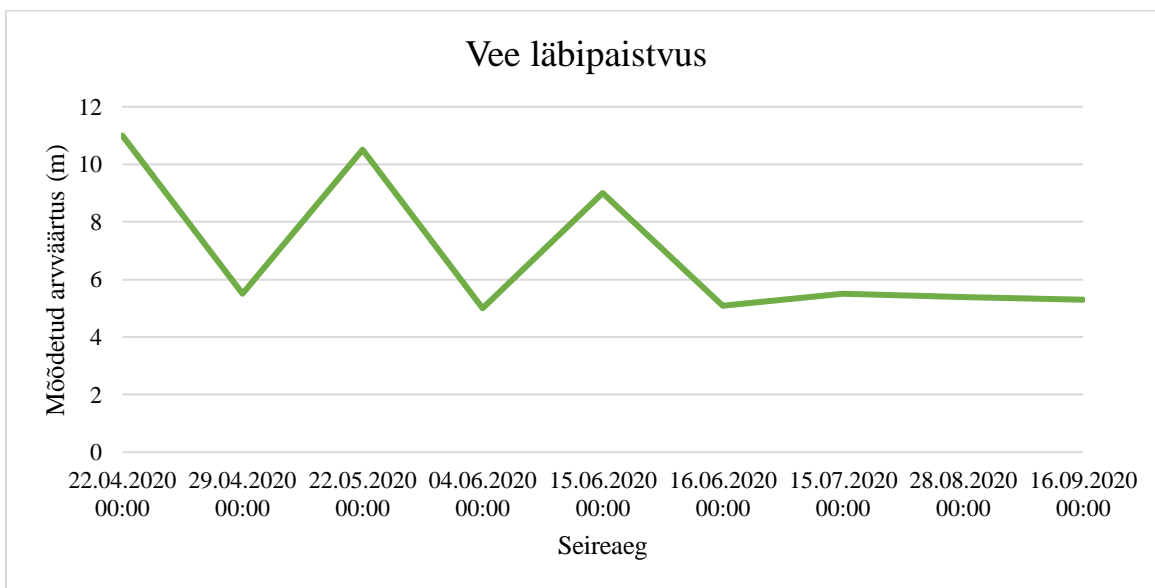


Joonis 8. Vee läbipaistvus Pärnu lahe rannikuvee seirekogumis 2020. aastal
Allikas: Autori koostatud Lisa 4 põhjal



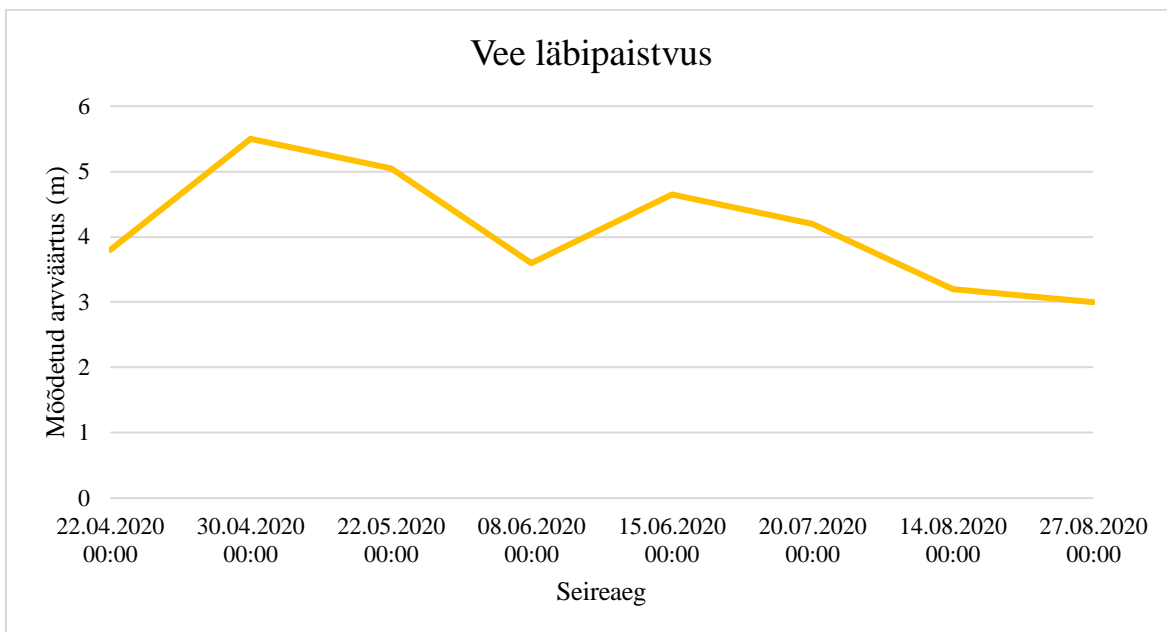
Joonis 9. Vee läbipaistvus Hara-Kolga ja Muuga-Tallinna-Kakumäe lahe rannikuvee seirekogumites 2020. aastal

Allikas: Autori koostatud Lisa 4 põhjal

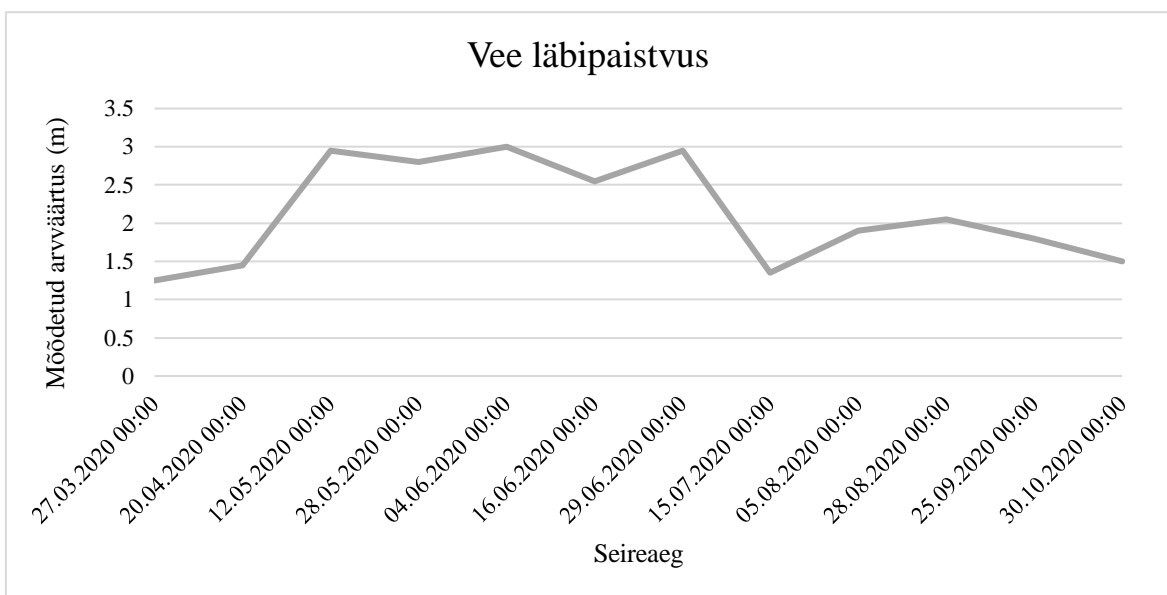


Joonis 10. Vee läbipaistvus Soela väina ja Kassari-Soela lahe rannikuvee seirekogumites 2020. aastal

Allikas: Autori koostatud Lisa 4 põhjal



Joonis 11. Vee läbipaistvus Väinamere rannikuvee seirekogumis 2020. aastal
Allikas: Autori koostatud Lisa 4 põhjal



Joonis 12. Vee läbipaistvus Liivi lahe kirdeosa rannikuvee seirekogumis 2020. aastal
Allikas: Autori koostatud Lisa 4 põhjal

7.3 Põhjataimestik

Põhjataimestik segab LIDARi mõõdistustööde puhul laserkiire jõudmist merepõhjani. See tähendab, et LIDARi tööde tulemused ehk andmed on segased, sest pole aru saada, mis on merepõhi ja mis on taimestik.

Põhjataimestiku üldkatvus on 0-10 m sügavuses vees väga varieeruv nii asukoha kui seireaja vaates (periood juuni-september 2020) (Lisa 3). See tähendab, et aerolaserskanneri mõõdistustöid planeerides tuleb arvesse võtta muutlikku üldkatvust, mida on keeruline ennustada. Seireandmetest on näha, et Käsmu lahes 07.08.2020 on üldkatvuse miinimum olnud 10% ja maksimum 100%. Seetõttu on kindlam tööde planeerimisel lähtuda jääkatte sulamise ajast, vee läbipaistvusest ja lainetusest ehk tuulekiirusest. Need on tingimused, mis on tööde planeerimisel ette teada.

7.4 Jääkate

LIDAR mõõdistuste läbiviimiseks on oluline, et jää oleks sulanud, sest merepõhja sügavuse andmed ei ole läbi jääkatte adekvaatsed. Kõiki hüdrograafilisi mõõdistustöid viiakse läbi jäävabal perioodil (Lisa 1).

Hoolimata teatavatest seaduspärasustest on pikaajaliste vaatlustega kinnitatud, et jääolud on aastati väga muutuvad ja nende täpne prognoosimine on võimatu. Sügisel moodustub õhutemperatuuri langedes randa jää ning mõnel juhul võib pinnal tugevasti jahtunud vesi kiiresti langenud temperatuuride mõjul põhja langeda, tekitades nii põhjajää, mis aga hiljem taas pinnale tõuseb (Kala, 2018).

„Kuna Läänemere avaosast pärit soojem ja soolasem vesi liigub talvel piki Eesti rannikut itta ja külmem ning magedam vesi piki Soome lõunarannikut läände, siis on jääolud Soome lahe Eesti rannikul keskmisel talvel kergemad kui Soome rannikul. Liivi lahes tekib jää igal talvel ja eriti rasked on jääolud Pärnu lahes, kus karmil talvel on isegi jäämurdjatel raskusi navigatsiooni tagamisega”, kirjeldab Kala (2018).

Tallinna ja Muuga lahes on jääd talvel keskmiselt 70-75 päeva, Muuga lahes veidi vähem, sest laht on avamere poolt avatum. Jääpäevi on rohkem Kundast ida pool, keskmiselt 85-95.

Väinameres on jääpäevi umbes 110-120, Pärnu lahes piirkonnas 120-150, Ruhnu saare ümbruses 70-80, Saaremaast ja Hiiumaast lääne suunas vaid erakordselt külmade temperatuuridega talvel 10-20 päeva.

Kestes umbes 10 päeva, toimub jää lõplik minek tavaliselt märtsi lõpust aprilli alguseni (Kala, 2018).

7.5 Lainetus

Merepinna lainete pikkus ulatub mõnest millimeetrist kuni sadade meetriteni ja neid jagatakse kahte üldisemasse kategooriasse: kapillaar- ja gravitatsioonilained. Kapillaarlained on lühikese lainepikkusega lained, mis tekivad lokaalselt; pikema lainepikkusega gravitatsioonilained tekivad väljaspool uurimisala ning need taastuvad gravitatsiooni abil. Kapillaarlainete korral kirjeldatakse merepinda sageli Beauforti skaala abil, mis seob mere lainetuse visuaalse kirjelduse tuule kiirusega. Kuigi Beauforti skaala on mereseisundi kvalitatiivne iseloomustus, on see kasulik tuulekiiruse määramiseks LIDARi tööde lokaalsel planeerimisel (Tabel 4). Oluline on, et kui merepinnale hakkavad tekkima murduvad lained (Beaufort'i skaala number 3) ja selliste lainete tulemusel tekivad mullid, väheneb tunduvalt LIDAR-süsteemide võimalus põhja edukaks avastamiseks. Sellest lähtuvalt soovitas Guenther (2007) piirata ALB uuringuid Beaufort'i skaala number 3 ehk tuule kiirusega alla 5,5 m / s (10 sõlme) (Pe'eri, et al., 2019).

Tabel 4. Beaufort'i skaala 0-3

Beaufort'i number	Tuule kiirus (m/s)	Veepinna visuaalne kirjeldus
0	< 0,3 m/s	Sile, peegelpinna sarnane
1	0,3-1,5 m/s	Väike lainetus ilma laineharjadeta
2	1,6-3,4 m/s	Väikesed lained, laineharjad ei murdu
3	3,4-5,4 m/s	Suured lained, harjad murduvad, meri vahutab

Allikas: (Pe'eri, et al. 2019, 31)

8 Ettepanekud

Tuginedes intervjuule Transpordiameti merenduse ja veeteede teenistuse hüdrograafia osakonna juhatajaga, väidab lõputöö autor, et batümeetria LIDARi süsteemi soetamine on Eesti meresõidu ohutusele väga vajalik ning arvesse võttes teiste uuringus osalenud riikide kogemusi ja soovitusi, mõistlik ja ennast igati õigustav rahaline investeering. Batümeetria LIDAR on hetkel ainus võimalik lahendus rannikumere mõõdistamiseks ja alade navigatsioonikaartidele kandmiseks.

Eestis olevate tingimuste analüüsimise tulemusena selgus, et tänapäevase tehnoloogiaga, mida kasutavad teised Läänemere riigid, näiteks Saksamaa ja Soome, on batümeetria LIDARiga võimalik saavutada IHO poolt määratud 1a ja 1b standardid.

Autor soovib batümeetria LIDARi soetamisel Transpordiameti merenduse ja veeteede teenistuse hüdrograafia osakonna spetsialistidel planeerida mõõdistustööd varakevadesse perioodi, mil vee läbipaistvus, mis mõjutab mõõdistustulemusi kõige rohkem, on suurim. Soovitatav tuule kiirus mõõdistustööde ajal on alla 5,5 m/s. Kindlasti tasub kaaluda teiste batümeetria LIDARi mõõdistustega tegelevate riikide vastavatelt asutustelt küsida nõu ja abi uue süsteemi kasutusele võtmisel.

Kokkuvõte

Eestis on alla 2 meetri ja mõneti ka alla 5 meetri sügavused alad lehviksonari või mitmekiirelise kajaloodiga mõõdistamata, sest puudub tehnoloogia, mille abil antud mõõdistustöid teostada. Nii madalad alad ei ole ligipääsetavad laevadelt ja kaatritelt, kuhu lehviksonarit või kajaloodi kinnitada.

Batümeetria LIDARi süsteem on ainuke teadaolev ja kõige levinum võimalus rannikualade mõõdistamiseks. Lõputöö käigus viidi läbi intervjuu Transpordiameti merenduse ja veeteede teenistuse hüdrograafiaosakonna juhatajaga, kes kinnitas, et batümeetria LIDAR on ainuke temale teada olev võimalus madalad rannikualad merekaardile saada ja seetõttu oleks hüdrograafia osakonnal seda tehnoloogiat väga vaja. Lisaks uuriti teiste Läänemere riikide kogemusi rannikualade mõõdistamisega üldiselt ning batümeetria LIDARi kasutamisel.

Batümeetria LIDARit kasutavad rannikualade mõõdistamiseks küsitatud riikidest Soome, Saksamaa ja sinna kuuluv Schleswig-Holsteini liidumaa. Need riigid kiidavad LIDARi tehnoloogiat ja toovad välja nii Leica kui RIEGL-i batümeetria LIDARi süsteemid. Rootsis on LIDARit katsetatud umbes 20 aastat tagasi ning saadud tulemused olid tollase tehnikaga nii ebausaldusväärsed ja halva kvaliteediga, et see jäi nende viimaseks katsetuseks. Kuna Rootsi rannikualade iseloom on veidi erinev Eesti omast, saavad nemad suurepäraselt mõõdistused tehtud mehitamata uurimislavaga. Küll aga tunnistavad Rootsi eksperdid batümeetria LIDARi vajalikkust väga madalatel merealadel, kuhu isegi ASV-ga ei pääse. Lätis on sarnaselt Eestile alla 2 meetri sügavused alad merekaardile kandmata.

Töö koondas kokku ka batümeetria LIDARi mõõdistustulemusi mõjutavate tegurite andmed Eestis: randlatüübid, vee läbipaistvus, põhjataimestiku üldkatvus, jääkatte periood ja lainetus. Randlatüübid ja merepõhja iseloom on kogu Eesti rannikualal väga varieeruv ja seda tuleb arvesse võtta mõõdistusaladest lähtudes. Suurim vee sogasus setetest tingituna on jõgede suudmetes ja savise merepõhjaga aladel. Samas võib Soome kogemusel ka väga peenike liiv muuta vett sogasemaks ja raskendada LIDARi töid. Vee

läbipaistvus on suurim varakevadel vahetult peale jää sulamist. Vee läbipaistvuse suurim mõjutaja on päikesekiirgus, millega kasvab vee temperatuur ja fütoplanktoni arvukus vees. Põhjataimestiku üldkatvus on erinevates piirkondades ja ka ühe piirkonna lõikes väga varieeruv- 10%-st kuni 100%ni ühel mõõtmisalal. Selle tõttu tuleb batümeetria LIDARi mõõdistustööde läbi viimisel arvestada kiiresti muutuva põhjataimestiku katvusega, mida ette teada on raske. Jääkate taandub aastati erineval ajal ja seda ennustada on võimatu. Tuule kiirust saab prognoosida lühiajaliselt, nii nagu muude hüdrograafiliste mõõdistustööde puhul.

Järeldustena võib välja tuua, et riigid, kes kasutavad batümeetria LIDARit madala vee mõõdistamiseks, soovivad seda ja on rahul tulemuste kvaliteediga. Riigid, kelle kogemus LIDARiga jääb aastate tagusesse aega, ei saanud vanemate tehnoloogiatega niivõrd häid tulemusi, et oleks soovinud LIDARit järgmistes projektides kasutada ja see on ka nende riikide spetsialistide arvates väga sobilik tehnoloogia, et mõõdistada merepõhja, mis on väga madal. See tõttu on töös püstitatud probleemi lahenduseks vaieldamatult kõige sobilikum lahendus batümeetria LIDARi tehnoloogia.

Autor soovib planeerida tulevikus batümeetria LIDARi olemasolu korral mõõdistustööd varakevadesse perioodi ning mõõdistusalade planeerimisel arvesse võtta muutlikku põhjataimestiku katvust ja merepõhja iseloomu.

Summary

The Possibilities of using bathymetrical LIDAR in Estonian Coastal Waters

Laura Valk

In Estonia, areas with a depth of less than 2 meters and to some extent less than 5 meters have not been measured with multi-beam echo sounder, because there is no technology to perform these surveys. Such shallow areas cannot be accessed from ships and boats to which a multi-beam echo sounder could be attached.

The bathymetry LIDAR system is the only known and most common way to measure coastal areas. During the dissertation, an interview was conducted with the Head of the Hydrography Department of the Maritime Service of the Transport Agency, who confirmed that the bathymetry LIDAR is the only way he knows how to get shallow coastal areas surveyed and therefore the Hydrography Department would need this technology. In addition, the experiences of other Baltic Sea countries with coastal surveying in general and the use of bathymetry LIDAR were conducted using interviews.

The work also summarized the data of the factors influencing the bathymetry LIDAR survey results in Estonia: beach types, water transparency, total cover of benthic vegetation, ice cover period and waves. Beach types and the nature of the seabed are very variable throughout the Estonian coastal area and this must be taken into consideration based on the survey areas. The highest turbidity of water due to sediments is at the mouths of rivers and in areas with clay seabeds. Water transparency is highest in early spring immediately after ice melting. The biggest influence on water transparency is solar radiation, which increases the temperature of the water and the abundance of phytoplankton in the water. The total coverage of benthic vegetation varies greatly in different regions and also within one region - from 10% to 100% in one measurement area. For this reason, bathymetry LIDAR surveys must take into account the rapidly changing coverage of benthic vegetation, which is difficult to predict. The ice cover

recedes at different time each year and is impossible to predict. Wind speeds can be predicted in the short term, as with other hydrographic surveys.

In conclusion, countries that use the bathymetry LIDAR to measure shallow water recommend it and are satisfied with the quality of the results. Countries with little experience many years ago and did not do so well with older technologies. For that reason they have not tried this technology later on. But at the same time experts in these countries also consider it a very suitable technology for measuring the seabed, which is very shallow. For this reason, bathymetry LIDAR technology is arguably the most suitable solution to the problem posed in the work.

In the future, if the bathymetry LIDAR is available in Estonia, the author recommends planning surveys in the early spring period and taking into account the changing coverage of benthic vegetation, speed of wind and the nature of the seabed when planning surveying areas.

Kasutatud allikad

Aerolaserskaneerimise kõrguspunktid. Maa-ameti geoportaal:

<https://geoportaal.maaamet.ee/est/Ruumiandmed/Korgusandmed/Aerolaserskaneerimise-korguspunktid-p499.html> (12.04.2021)

Aerolaserskanner Leica ALS50-II (2008-2016). Maa-ameti geoportaal:

<https://geoportaal.maaamet.ee/est/Ruumiandmed/Ortofotod/Tootmislugu/Aerolaserskanner-Leica-ALS50-II-2008-2016-p336.html> (10.04.2021)

Aerolaserskanner Riegl VQ-1560i. Maa-ameti geoportaal:

<https://geoportaal.maaamet.ee/est/Ruumiandmed/Ortofotod/Tootmislugu/Aerolaserskanner-Riegl-VQ-1560i-p561.html> (10.04.2021)

Airborne Laser Scanning. RIEGL Laser Measurement Systems:

<http://www.riegl.com/nc/products/airborne-scanning/> (12.04.2021)

Andersen, J. H., Laamanen, M., Aigars, J., & Axe, P. (2009). *HELCOM (2009):*

Eutrophication in the Baltic Sea. An integrated thematic assessment of the effects of nutrient enrichment in the Baltic Sea region. Balt. Sea. Env. Proc. No. 115. Helsinki Commission. (148). Helsinki: Helsinki Commission.

Austin, R. W., & Petzold, T. J. (1984). Spectral Dependence Of The Diffuse

Attenuation Coefficient Of Light In Ocean Waters. *Proceedings Volume 0489, Ocean Optics VII.*

Batümeetria. Vöörsõnade leksikon:

<https://www.eki.ee/dict/vsl/index.cgi?Q=batümeetria&F=M&C06=et>
(13.04.2021)

Boyd, C. E. *Secchi disk visibility: Correct measurement, interpretation.* Global

Aquaculture Alliance: <https://www.aquaculturealliance.org/advocate/secchi-disk-visibility-correct-measurement-interpretation/> (25.04.2021)

Glaeser, B. (1999). Integrated Coastal Zone Management in Sweden: Assessing

Conflicts to Attain Sustainability. rmt: W. Salomons, R. Turner, L. de Lacerda, & S. Ramachandran, *Perspectives on Integrated Coastal Zone Management* (355-375). Berliin: Springer.

- Guenther, G. C. (1985). *Airborne Laser Hydrography: System Design and Performance Factors*. Rockville, MD: NOAA Professional Paper Series, National Ocean Service
- Guenther, G. C. (2007). Airborne LIDAR Bathymetry. In D. F. Maune (Ed.), *Digital Elevation Model Technologies and Applications: The DEM Users Manual, 2nd Edition* (2nd ed. 253–320). Bethesda, Maryland: ASPRS.
- Highly resilient 3D LIDAR sensor with no visible rotating parts. Mapix Technologies: <https://www.mapix.com/LIDAR-scanner-sensors/velodyne/velodyne-puck-ulp16/> (08.04.2021)
- International Hydrographic Organization. *Standards for Hydrographic Surveys*. IHO: https://iho.int/uploads/user/pubs/standards/s-44/S-44_Edition_6.0.0_EN.pdf (12.04.2021)
- Kala, V. (2018). *Hüdrograafia alused*. Tallinn: TTÜ Kirjastus.
- Kala, V., & Kotsulim, G. (2010). *Vesiehitised : ehitusuuringute alused*. Tallinn: TTÜ kirjastus.
- Kuusisto, I. (2016). *Evaluation of the performance of two Aerial LIDAR Bathymetry systems in Finnish coastal and inland waters*. Espoo: Magistritöö, Aalto University.
- Leica Chiroptera 4X Bathymetric & Topographic LIDAR. Leica Geosystems: <https://leica-geosystems.com/products/airborne-systems/bathymetric-LIDAR-sensors/leica-chiroptera> (10.04.2021)
- Lillesand, T., & Kiefer, R. (2009). *Remote sensing and image interpretation*. New York: John Wiley & Sons.
- Maailma liivade hämmastav mitmekesisus. Eesti loodus: http://www.eestiloodus.ee/artikkel4354_4314.html (30.03.2021)
- Maapõu. Keskkonnaharidus: <https://maapou.keskkonnaharidus.ee/Eesti-maapoue-aarete-infokaardid.pdf> (20.03.2021)
- Maas, H.-G., Mader, D., Richter, K., & Westfeld, P. (2018). Recent Developments in LIDAR Bathymetry. *New Challenges in Hydraulic Research and Engineering* (1-2). IAHR Europe Congress Organizers. Kättesaadav: <https://rpsonline.com.sg/rps2prod/iahr2018/pdf/042.pdf>

Mõõdistustehnika ja meetodika. Veeteede Ameti hüdrograafiaosakond:

<http://adam.vta.ee/teenused/hnt/yldinfo/tehnika.html> (10.04.2021)

Orviku, K. (2018). *Rannad ja rannikud*. Tallinn: TLÜ Kirjastus.

Pe'eri, S., & Philpot, W. D. (2007). *Increasing the Existence of Very Shallow-Water LIDAR Measurements Using the Red-Channel Waveforms*. New York: IEEE.

Pratomo, D. G., Khomsin, & Putranto, B. F. (2019). Analysis of the green light penetration from Airborne LIDAR Bathymetry in Shallow Water Area. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1-9.

Topograafia. Vöörsonade leksikon

<https://www.eki.ee/dict/vsl/index.cgi?Q=topograafia&F=M&C06=et>
(12.04.2021)

Transpordiameti merenduse ja veeteede teenistuse hüdrograafia osakond. Mõõdistamata rannikualad Eestis. E-kiri. 19. 03. 2021

Vahter, K. (2005). *Aerolasermõõdistamine (käsikiri)*. Tallinn: Eesti Veeteede Amet.

White, S. A., Parrish, C. E., Calder, B. R., Pe'eri, S., & Rzhhanov, Y. (2011). LIDAR-Derived National Shoreline: Empirical and Stochastic Uncertainty Analyses. *Journal of Coastal Research*, 62-74.

Wozencraft, J., LaRocque, P., Penley, M., & Pfennigbauer, M. (2019). History. rmt: W. Philpot, *Airborne Laser Hydrography II* (5-24). Cornell: eCommons.

Lisa 1 Teiste riikide kogemused

Dear Sir/Madam

I am a fourth-year student from TalTech Estonian Maritime Academy, studying Waterway Safety Management. I am currently writing my thesis on topic The possibilities of using bathymetric LIDAR in Estonian coastal waters, in collaboration with Estonian Maritime Administration. As Estonian Maritime Administration hasn't used bathymetric LIDAR in our coastal waters, I am doing a research on whether it would be possible and reasonable solution for us.

I am writing because for the thesis I need experience of the other Baltic Sea countries with bathymetric LIDAR in coastal waters. Would someone from the hydrography department be so kind and help me with their experience?

What type of instruments do you use for the survey of the coastal waters?

How is the experience overall with LIDARs in coastal areas and for how long have you used LIDARs for mapping shallow water areas?

How is the quality of the surveying? Can the standards set by IHO be achieved easily in your experience in the Baltic Sea area?

What kind of challenges have you experienced with bathymetric LIDARs?

What type of projects and research have you done using LIDAR? Can you refer to them?

Thank you so much for your time and help!

Best regards

Laura Valk

TalTech Estonian Maritime Academy

Waterway Safety Management

Lisa 2 Intervjuu küsimused

Intervjuu Transpordiameti merenduse ja veeteede teenistuse hüdrograafiaosakonna juhataja Peeter Välinguga läbi viidud e-maili teel 12.04.2021.

1. Kas olete teinud või plaanite teha proove või projekte Eesti rannikuvetes kasutades batümeetria LIDARi tehnoloogiat?

(Kui jah, siis millal, kellega koostöös, mis piirkonnas ja millised olid tulemused?)

(Kui ei ole teinud, siis miks?)

2. Milliste tehnoloogiate abil praegu on korraldatud Eesti rannikualade mõõdistus? Mis on Teie arvates eelised ja puudused võrreldes batümeetria LIDARiga?

3. Kas Te näete vajadust ja reaalselt kasu batümeetria LIDARi kasutamisel Eestis? Kuidas see hüdrograafide tööd lihtsustaks ja andmete kvaliteeti muudaks?

4. Kas on uuringuid, projekte seoses selle teemaga, millest võiks antud töö kirjutamisel abi olla, et olukorda parimalt kajastada?

Lisa 3 Põhjataimestiku seire andmed

Tabel 5. Põhjataimestiku seire andmed. Piirkond: Kolga laht, Kunda, Narva laht, Käsmu laht, Letipea neem, Hara laht, Eru laht. Sügavus (m), üldkatvus (%)

Projekt	Kuupäev	Piirkonnad	Sügavus (m)	Üldkatvus (%)
Põhjataimestiku seire	26.07.2020	Kolga laht	6,3	20
Põhjataimestiku seire	26.07.2020	Kolga laht	4,7	40
Põhjataimestiku seire	26.07.2020	Kolga laht	1,3	70
Põhjataimestiku seire	26.07.2020	Kolga laht	2	85
Põhjataimestiku seire	26.07.2020	Kolga laht	0,5	90
Põhjataimestiku seire	26.07.2020	Kolga laht	0,2	95
Põhjataimestiku seire	27.07.2020	Kunda	8,3	5
Põhjataimestiku seire	27.07.2020	Kunda	9,3	10
Põhjataimestiku seire	27.07.2020	Kunda	7,2	15
Põhjataimestiku seire	27.07.2020	Kunda	7,2	20
Põhjataimestiku seire	27.07.2020	Kunda	6,2	50
Põhjataimestiku seire	27.07.2020	Kunda	0,2	60
Põhjataimestiku seire	27.07.2020	Kunda	0,5	70
Põhjataimestiku seire	27.07.2020	Kunda	5,1	70
Põhjataimestiku seire	27.07.2020	Kunda	5,1	80
Põhjataimestiku seire	27.07.2020	Kunda	3,9	90
Põhjataimestiku seire	27.07.2020	Kunda	3,1	95
Põhjataimestiku seire	27.07.2020	Kunda	1,1	100
Põhjataimestiku seire	27.07.2020	Kunda	1,1	100
Põhjataimestiku seire	27.07.2020	Kunda	2,2	100
Põhjataimestiku seire	27.07.2020	Kunda	2,2	100
Põhjataimestiku seire	28.07.2020	Narva laht	8,9	0
Põhjataimestiku seire	28.07.2020	Narva laht	7	1
Põhjataimestiku seire	28.07.2020	Narva laht	8,7	1
Põhjataimestiku seire	28.07.2020	Narva laht	4,3	5
Põhjataimestiku seire	28.07.2020	Narva laht	4,9	5
Põhjataimestiku seire	28.07.2020	Narva laht	6,4	5
Põhjataimestiku seire	28.07.2020	Narva laht	6,4	5
Põhjataimestiku seire	28.07.2020	Narva laht	7,8	5
Põhjataimestiku seire	28.07.2020	Narva laht	2	10
Põhjataimestiku seire	28.07.2020	Narva laht	3,3	10
Põhjataimestiku seire	28.07.2020	Narva laht	7,2	10
Põhjataimestiku seire	28.07.2020	Narva laht	1,3	20
Põhjataimestiku seire	28.07.2020	Narva laht	0,2	30
Põhjataimestiku seire	28.07.2020	Narva laht	0,5	30
Põhjataimestiku seire	28.07.2020	Narva laht	4,3	60
Põhjataimestiku seire	28.07.2020	Narva laht	2,1	95

Projekt	Kuupäev	Piirkonnad	Sügavus (m)	Üldkatvus (%)
Põhjataimestiku seire	28.07.2020	Narva laht	2,1	95
Põhjataimestiku seire	07.08.2020	Käsmu laht	8	10
Põhjataimestiku seire	07.08.2020	Käsmu laht	7	25
Põhjataimestiku seire	07.08.2020	Käsmu laht	6	60
Põhjataimestiku seire	07.08.2020	Käsmu laht	6	60
Põhjataimestiku seire	07.08.2020	Käsmu laht	4,8	75
Põhjataimestiku seire	07.08.2020	Käsmu laht	0,5	80
Põhjataimestiku seire	07.08.2020	Käsmu laht	3,6	85
Põhjataimestiku seire	07.08.2020	Käsmu laht	4,8	85
Põhjataimestiku seire	07.08.2020	Käsmu laht	1,3	90
Põhjataimestiku seire	07.08.2020	Käsmu laht	2	90
Põhjataimestiku seire	07.08.2020	Käsmu laht	3	90
Põhjataimestiku seire	07.08.2020	Käsmu laht	0,2	95
Põhjataimestiku seire	07.08.2020	Käsmu laht	2	95
Põhjataimestiku seire	07.08.2020	Käsmu laht	1,3	100
Põhjataimestiku seire	12.08.2020	Kolga laht	9	5
Põhjataimestiku seire	12.08.2020	Kolga laht	5,3	10
Põhjataimestiku seire	12.08.2020	Kolga laht	7,2	10
Põhjataimestiku seire	12.08.2020	Kolga laht	8,2	10
Põhjataimestiku seire	12.08.2020	Kolga laht	6,3	20
Põhjataimestiku seire	12.08.2020	Kolga laht	4,2	50
Põhjataimestiku seire	12.08.2020	Kolga laht	3,1	70
Põhjataimestiku seire	12.08.2020	Kolga laht	1,2	80
Põhjataimestiku seire	12.08.2020	Kolga laht	1,8	80
Põhjataimestiku seire	13.08.2020	Letipea neem	10	10
Põhjataimestiku seire	13.08.2020	Letipea neem	3,9	15
Põhjataimestiku seire	13.08.2020	Letipea neem	10	20
Põhjataimestiku seire	13.08.2020	Letipea neem	6,1	25
Põhjataimestiku seire	13.08.2020	Letipea neem	7,6	25
Põhjataimestiku seire	13.08.2020	Letipea neem	3	35
Põhjataimestiku seire	13.08.2020	Letipea neem	6,1	40
Põhjataimestiku seire	13.08.2020	Letipea neem	2	45
Põhjataimestiku seire	13.08.2020	Letipea neem	8	45
Põhjataimestiku seire	13.08.2020	Letipea neem	8,7	45
Põhjataimestiku seire	13.08.2020	Letipea neem	2	60
Põhjataimestiku seire	13.08.2020	Letipea neem	5,2	65
Põhjataimestiku seire	13.08.2020	Letipea neem	0,2	70
Põhjataimestiku seire	13.08.2020	Letipea neem	1,2	70
Põhjataimestiku seire	13.08.2020	Letipea neem	3,9	70
Põhjataimestiku seire	13.08.2020	Letipea neem	0,7	85
Põhjataimestiku seire	13.08.2020	Letipea neem	0,7	90
Põhjataimestiku seire	13.08.2020	Letipea neem	1,2	90

Projekt	Kuupäev	Piirkonnad	Sügavus (m)	Üldkatvus (%)
Põhjataimestiku seire	18.08.2020	Hara laht	10	0
Põhjataimestiku seire	18.08.2020	Hara laht	0,2	1
Põhjataimestiku seire	18.08.2020	Hara laht	9	1
Põhjataimestiku seire	18.08.2020	Hara laht	3,2	5
Põhjataimestiku seire	18.08.2020	Hara laht	1,2	10
Põhjataimestiku seire	18.08.2020	Hara laht	4,2	10
Põhjataimestiku seire	18.08.2020	Kolga laht	9,1	10
Põhjataimestiku seire	18.08.2020	Hara laht	1,2	15
Põhjataimestiku seire	18.08.2020	Kolga laht	6,5	15
Põhjataimestiku seire	18.08.2020	Hara laht	0,5	20
Põhjataimestiku seire	18.08.2020	Hara laht	4,2	20
Põhjataimestiku seire	18.08.2020	Hara laht	5,6	20
Põhjataimestiku seire	18.08.2020	Kolga laht	7,1	20
Põhjataimestiku seire	18.08.2020	Kolga laht	8,5	20
Põhjataimestiku seire	18.08.2020	Kolga laht	7,1	25
Põhjataimestiku seire	18.08.2020	Kolga laht	5,3	30
Põhjataimestiku seire	18.08.2020	Hara laht	6,2	35
Põhjataimestiku seire	18.08.2020	Hara laht	6,2	40
Põhjataimestiku seire	18.08.2020	Hara laht	2,4	45
Põhjataimestiku seire	18.08.2020	Kolga laht	4,3	50
Põhjataimestiku seire	18.08.2020	Hara laht	7,3	60
Põhjataimestiku seire	18.08.2020	Kolga laht	3,1	60
Põhjataimestiku seire	18.08.2020	Kolga laht	5,3	60
Põhjataimestiku seire	18.08.2020	Hara laht	0,2	70
Põhjataimestiku seire	18.08.2020	Hara laht	4,6	70
Põhjataimestiku seire	18.08.2020	Hara laht	2,4	75
Põhjataimestiku seire	18.08.2020	Kolga laht	3,1	80
Põhjataimestiku seire	18.08.2020	Hara laht	0,5	95
Põhjataimestiku seire	18.08.2020	Hara laht	1	95
Põhjataimestiku seire	18.08.2020	Hara laht	1	95
Põhjataimestiku seire	18.08.2020	Kolga laht	2,1	95
Põhjataimestiku seire	18.08.2020	Kolga laht	0,2	100
Põhjataimestiku seire	18.08.2020	Kolga laht	0,5	100
Põhjataimestiku seire	18.08.2020	Kolga laht	1,2	100
Põhjataimestiku seire	18.08.2020	Kolga laht	1,2	100
Põhjataimestiku seire	19.08.2020	Eru laht	8	35
Põhjataimestiku seire	19.08.2020	Eru laht	8,3	60
Põhjataimestiku seire	25.08.2020	Eru laht	6,5	60
Põhjataimestiku seire	25.08.2020	Eru laht	7,4	60
Põhjataimestiku seire	25.08.2020	Eru laht	3,9	75
Põhjataimestiku seire	25.08.2020	Eru laht	4,9	75
Põhjataimestiku seire	25.08.2020	Eru laht	1	85

Projekt	Kuupäev	Piirkonnad	Sügavus (m)	Üldkatvus (%)
Põhjataimestiku seire	25.08.2020	Eru laht	2,1	90
Põhjataimestiku seire	25.08.2020	Eru laht	0,2	95
Põhjataimestiku seire	25.08.2020	Eru laht	2,9	95
Põhjataimestiku seire	25.08.2020	Eru laht	4,9	95
Põhjataimestiku seire	25.08.2020	Eru laht	0,5	100
Põhjataimestiku seire	25.08.2020	Eru laht	0,5	100
Põhjataimestiku seire	25.08.2020	Eru laht	1	100
Põhjataimestiku seire	25.08.2020	Eru laht	2,9	100
Põhjataimestiku seire	26.08.2020	Hara laht	9,3	0
Põhjataimestiku seire	26.08.2020	Hara laht	8,2	1
Põhjataimestiku seire	26.08.2020	Käsmu laht	9,5	1
Põhjataimestiku seire	26.08.2020	Käsmu laht	8,3	5
Põhjataimestiku seire	26.08.2020	Käsmu laht	9,1	5
Põhjataimestiku seire	26.08.2020	Hara laht	7,1	10
Põhjataimestiku seire	26.08.2020	Käsmu laht	6,5	20
Põhjataimestiku seire	26.08.2020	Käsmu laht	6,5	30
Põhjataimestiku seire	26.08.2020	Hara laht	5,1	50
Põhjataimestiku seire	26.08.2020	Käsmu laht	6,6	50
Põhjataimestiku seire	26.08.2020	Käsmu laht	7,1	50
Põhjataimestiku seire	26.08.2020	Hara laht	6	60
Põhjataimestiku seire	26.08.2020	Hara laht	6	60
Põhjataimestiku seire	26.08.2020	Hara laht	4	70
Põhjataimestiku seire	26.08.2020	Käsmu laht	5	70
Põhjataimestiku seire	26.08.2020	Käsmu laht	4,1	80
Põhjataimestiku seire	26.08.2020	Hara laht	2	85
Põhjataimestiku seire	26.08.2020	Hara laht	4	85
Põhjataimestiku seire	26.08.2020	Käsmu laht	3,5	85
Põhjataimestiku seire	26.08.2020	Hara laht	2	90
Põhjataimestiku seire	26.08.2020	Hara laht	3,1	90
Põhjataimestiku seire	26.08.2020	Käsmu laht	4,1	90
Põhjataimestiku seire	26.08.2020	Käsmu laht	0,2	95
Põhjataimestiku seire	26.08.2020	Käsmu laht	0,5	100
Põhjataimestiku seire	26.08.2020	Käsmu laht	1	100
Põhjataimestiku seire	26.08.2020	Käsmu laht	1	100

Allikas: TÜ Eesti Mereinstituut, Bentose andmebaas seisuga 07.04.2021

Tabel 6. Põhjataimestiku seire andmed. Piirkond: Pärnu laht. Sügavus (m), üldkatvus (%)

Projekt	Kuupäev	Piirkonnad	Sügavus (m)	Üldkatvus (%)
Põhjataimestiku seire	09.08.2020	Pärnu laht	2	0
Põhjataimestiku seire	09.08.2020	Pärnu laht	4	0
Põhjataimestiku seire	09.08.2020	Pärnu laht	0,4	20

Projekt	Kuupäev	Piirkonnad	Sügavus (m)	Üldkatvus (%)
Põhjataimestiku seire	09.08.2020	Pärnu laht	0,7	20
Põhjataimestiku seire	09.08.2020	Pärnu laht	1,2	20
Põhjataimestiku seire	09.08.2020	Pärnu laht	0,4	50
Põhjataimestiku seire	09.08.2020	Pärnu laht	2,5	50
Põhjataimestiku seire	09.08.2020	Pärnu laht	1	60
Põhjataimestiku seire	09.08.2020	Pärnu laht	2	60
Põhjataimestiku seire	09.08.2020	Pärnu laht	0,5	70
Põhjataimestiku seire	09.08.2020	Pärnu laht	0,5	70
Põhjataimestiku seire	09.08.2020	Pärnu laht	1,5	75
Põhjataimestiku seire	09.08.2020	Pärnu laht	0,2	80
Põhjataimestiku seire	09.08.2020	Pärnu laht	1,2	80
Põhjataimestiku seire	09.08.2020	Pärnu laht	0,5	90
Põhjataimestiku seire	09.08.2020	Pärnu laht	1	90
Põhjataimestiku seire	09.08.2020	Pärnu laht	0,2	95
Põhjataimestiku seire	09.08.2020	Pärnu laht	0,5	95
Põhjataimestiku seire	09.08.2020	Pärnu laht	0,7	100
Põhjataimestiku seire	09.08.2020	Pärnu laht	1	100
Põhjataimestiku seire	15.09.2020	Pärnu laht	2	0
Põhjataimestiku seire	15.09.2020	Pärnu laht	2,5	0
Põhjataimestiku seire	15.09.2020	Pärnu laht	3	0
Põhjataimestiku seire	15.09.2020	Pärnu laht	5,5	0
Põhjataimestiku seire	15.09.2020	Pärnu laht	5,5	0
Põhjataimestiku seire	15.09.2020	Pärnu laht	1,8	1
Põhjataimestiku seire	15.09.2020	Pärnu laht	3,2	1
Põhjataimestiku seire	15.09.2020	Pärnu laht	4,5	1
Põhjataimestiku seire	15.09.2020	Pärnu laht	2,6	5
Põhjataimestiku seire	15.09.2020	Pärnu laht	2,7	5
Põhjataimestiku seire	15.09.2020	Pärnu laht	3,5	5
Põhjataimestiku seire	15.09.2020	Pärnu laht	4,1	5
Põhjataimestiku seire	15.09.2020	Pärnu laht	4,6	5
Põhjataimestiku seire	15.09.2020	Pärnu laht	5,1	5
Põhjataimestiku seire	15.09.2020	Pärnu laht	2,2	10
Põhjataimestiku seire	15.09.2020	Pärnu laht	2,4	10
Põhjataimestiku seire	15.09.2020	Pärnu laht	2,6	10
Põhjataimestiku seire	15.09.2020	Pärnu laht	2,9	10
Põhjataimestiku seire	15.09.2020	Pärnu laht	3,1	10
Põhjataimestiku seire	15.09.2020	Pärnu laht	3,4	10
Põhjataimestiku seire	15.09.2020	Pärnu laht	3,8	10
Põhjataimestiku seire	15.09.2020	Pärnu laht	2	15
Põhjataimestiku seire	15.09.2020	Pärnu laht	1,7	20
Põhjataimestiku seire	15.09.2020	Pärnu laht	1,2	40

Allikas: TÜ Eesti Mereinstituut, Bentose andmebaas seisuga 07.04.2021

Tabel 7. Põhjataimestiku seire andmed. Piirkonnad: Aegna, Muuga laht, Suurupi laht. Sügavus (m), üldkatvus (%)

Projekt	Kuupäev	Piirkonnad	Sügavus (m)	Üldkatvus (%)
Põhjataimestiku seire	04.08.2020	Aegna	0,2	5
Põhjataimestiku seire	04.08.2020	Aegna	5,9	5
Põhjataimestiku seire	04.08.2020	Aegna	6,3	5
Põhjataimestiku seire	04.08.2020	Aegna	7,1	5
Põhjataimestiku seire	04.08.2020	Aegna	8,2	5
Põhjataimestiku seire	04.08.2020	Aegna	9,2	10
Põhjataimestiku seire	04.08.2020	Aegna	10	10
Põhjataimestiku seire	04.08.2020	Aegna	0,5	30
Põhjataimestiku seire	04.08.2020	Aegna	5,9	30
Põhjataimestiku seire	04.08.2020	Aegna	10	30
Põhjataimestiku seire	04.08.2020	Aegna	5,4	40
Põhjataimestiku seire	04.08.2020	Aegna	1,2	45
Põhjataimestiku seire	04.08.2020	Aegna	4,3	50
Põhjataimestiku seire	04.08.2020	Aegna	4,3	50
Põhjataimestiku seire	04.08.2020	Aegna	3,4	70
Põhjataimestiku seire	04.08.2020	Aegna	2,1	90
Põhjataimestiku seire	05.08.2020	Muuga laht	0,2	0
Põhjataimestiku seire	05.08.2020	Muuga laht	8	10
Põhjataimestiku seire	05.08.2020	Muuga laht	9,1	10
Põhjataimestiku seire	05.08.2020	Aegna	0,5	40
Põhjataimestiku seire	05.08.2020	Aegna	1,2	50
Põhjataimestiku seire	05.08.2020	Muuga laht	6	50
Põhjataimestiku seire	05.08.2020	Muuga laht	4	60
Põhjataimestiku seire	05.08.2020	Muuga laht	4,8	70
Põhjataimestiku seire	05.08.2020	Muuga laht	7	70
Põhjataimestiku seire	05.08.2020	Muuga laht	6	75
Põhjataimestiku seire	05.08.2020	Aegna	2,3	90
Põhjataimestiku seire	05.08.2020	Muuga laht	1,4	90
Põhjataimestiku seire	05.08.2020	Muuga laht	4	90
Põhjataimestiku seire	05.08.2020	Muuga laht	0,9	95
Põhjataimestiku seire	05.08.2020	Muuga laht	1,4	95
Põhjataimestiku seire	05.08.2020	Muuga laht	3	95
Põhjataimestiku seire	05.08.2020	Muuga laht	0,9	100
Põhjataimestiku seire	05.08.2020	Muuga laht	2	100
Põhjataimestiku seire	05.08.2020	Muuga laht	2	100
Põhjataimestiku seire	19.08.2020	Suurupi	8,1	10
Põhjataimestiku seire	19.08.2020	Suurupi	4	20
Põhjataimestiku seire	19.08.2020	Suurupi	5,5	20
Põhjataimestiku seire	19.08.2020	Suurupi	6,2	20
Põhjataimestiku seire	19.08.2020	Suurupi	7,2	20

Projekt	Kuupäev	Piirkonnad	Sügavus (m)	Üldkatvus (%)
Põhjataimestiku seire	19.08.2020	Suurupi	8,8	25
Põhjataimestiku seire	19.08.2020	Suurupi	3	30
Põhjataimestiku seire	19.08.2020	Suurupi	4,8	30
Põhjataimestiku seire	19.08.2020	Suurupi	7,2	40
Põhjataimestiku seire	19.08.2020	Suurupi	0,2	70
Põhjataimestiku seire	19.08.2020	Suurupi	4,8	70
Põhjataimestiku seire	19.08.2020	Suurupi	1,1	80
Põhjataimestiku seire	19.08.2020	Suurupi	3	80
Põhjataimestiku seire	19.08.2020	Suurupi	1,1	85
Põhjataimestiku seire	19.08.2020	Suurupi	0,5	90
Põhjataimestiku seire	19.08.2020	Suurupi	2,2	95

Allikas: TÜ Eesti Mereinstituut, Bentose andmebaas seisuga 07.04.2021

Tabel 8. Põhjataimestiku seire andmed. Piirkond: Küdema laht. Sügavus (m), üldkatvus (%)

Projekt	Kuupäev	Piirkonnad	Sügavus (m)	Üldkatvus (%)
Põhjataimestiku seire	15.07.2020	Küdema laht	8	35
Põhjataimestiku seire	15.07.2020	Küdema laht	0,2	40
Põhjataimestiku seire	15.07.2020	Küdema laht	7,4	40
Põhjataimestiku seire	15.07.2020	Küdema laht	7,6	50
Põhjataimestiku seire	15.07.2020	Küdema laht	0,8	60
Põhjataimestiku seire	15.07.2020	Küdema laht	5	65
Põhjataimestiku seire	15.07.2020	Küdema laht	10	65
Põhjataimestiku seire	15.07.2020	Küdema laht	0,8	80
Põhjataimestiku seire	15.07.2020	Küdema laht	0,9	80
Põhjataimestiku seire	15.07.2020	Küdema laht	6,2	80
Põhjataimestiku seire	15.07.2020	Küdema laht	10	80
Põhjataimestiku seire	15.07.2020	Küdema laht	0,9	85
Põhjataimestiku seire	15.07.2020	Küdema laht	3,4	90
Põhjataimestiku seire	15.07.2020	Küdema laht	7,4	90
Põhjataimestiku seire	15.07.2020	Küdema laht	1,2	100
Põhjataimestiku seire	15.07.2020	Küdema laht	2,2	100
Põhjataimestiku seire	15.07.2020	Küdema laht	2,2	100
Põhjataimestiku seire	15.07.2020	Küdema laht	4,1	100
Põhjataimestiku seire	15.07.2020	Küdema laht	5	100

Allikas: TÜ Eesti Mereinstituut, Bentose andmebaas seisuga 07.04.2021

Tabel 9. Põhjataimestiku seire andmed. Piirkond: Vormsi. Sügavus (m), üldkatvus (%)

Projekt	Kuupäev	Piirkonnad	Sügavus (m)	Üldkatvus (%)
Põhjataimestiku seire	20.07.2020	Vormsi	6,1	0
Põhjataimestiku seire	20.07.2020	Vormsi	6,1	5

Projekt	Kuupäev	Piirkonnad	Sügavus (m)	Üldkatvus (%)
Põhjataimestiku seire	20.07.2020	Vormsi	0,2	10
Põhjataimestiku seire	20.07.2020	Vormsi	6,5	10
Põhjataimestiku seire	20.07.2020	Vormsi	5,7	20
Põhjataimestiku seire	20.07.2020	Vormsi	5,5	25
Põhjataimestiku seire	20.07.2020	Vormsi	5,5	40
Põhjataimestiku seire	20.07.2020	Vormsi	0,6	60
Põhjataimestiku seire	20.07.2020	Vormsi	2,9	60
Põhjataimestiku seire	20.07.2020	Vormsi	4,2	60
Põhjataimestiku seire	20.07.2020	Vormsi	3,7	65
Põhjataimestiku seire	20.07.2020	Vormsi	0,6	80
Põhjataimestiku seire	20.07.2020	Vormsi	2,1	80
Põhjataimestiku seire	20.07.2020	Vormsi	2,9	80
Põhjataimestiku seire	20.07.2020	Vormsi	1,2	90
Põhjataimestiku seire	20.07.2020	Vormsi	1,2	90

Allikas: TÜ Eesti Mereinstituut, Bentose andmebaas seisuga 07.04.2021

Tabel 10. Põhjataimestiku seire andmed. Piirkond: Liivi laht. Sügavus (m), üldkatvus (%)

Projekt	Kuupäev	Piirkonnad	Sügavus (m)	Üldkatvus (%)
Põhjataimestiku seire	16.07.2020	Liivi laht	6,7	5
Põhjataimestiku seire	16.07.2020	Liivi laht	9,2	5
Põhjataimestiku seire	16.07.2020	Liivi laht	9,4	5
Põhjataimestiku seire	16.07.2020	Liivi laht	8	10
Põhjataimestiku seire	16.07.2020	Liivi laht	7	20
Põhjataimestiku seire	16.07.2020	Liivi laht	7	25
Põhjataimestiku seire	16.07.2020	Liivi laht	0,2	40
Põhjataimestiku seire	16.07.2020	Liivi laht	6	50
Põhjataimestiku seire	16.07.2020	Liivi laht	2,7	80
Põhjataimestiku seire	16.07.2020	Liivi laht	0,5	85
Põhjataimestiku seire	16.07.2020	Liivi laht	0,5	90
Põhjataimestiku seire	16.07.2020	Liivi laht	2	90
Põhjataimestiku seire	16.07.2020	Liivi laht	3	90
Põhjataimestiku seire	16.07.2020	Liivi laht	3	90
Põhjataimestiku seire	16.07.2020	Liivi laht	0,8	95
Põhjataimestiku seire	16.07.2020	Liivi laht	4,2	95
Põhjataimestiku seire	16.07.2020	Liivi laht	5	95
Põhjataimestiku seire	16.07.2020	Liivi laht	5	95
Põhjataimestiku seire	16.07.2020	Liivi laht	0,8	100

Allikas: TÜ Eesti Mereinstituut, Bentose andmebaas seisuga 07.04.2021

Lisa 4 Vee läbipaistvuse seire andmed

Tabel 11. Vee läbipaistvuse seire andmed. Mõõdetud arvvärtus (m). Seirekogumid: Eesti rannikuvesi

Seirekogumi nimi	Näitaja	Seireaeg	Mõõdetud arvvärtus (m)
Pärnu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	27.03.2020 00:00	0,8
Liivi lahe kirdeosa rannikuvesi	Läbipaistvus	27.03.2020 00:00	0,9
Pärnu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	27.03.2020 00:00	0,6
Pärnu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	27.03.2020 00:00	0,7
Liivi lahe kirdeosa rannikuvesi	Läbipaistvus	27.03.2020 00:00	1,6
Muuga-Tallinna-Kakumäe lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	30.03.2020 00:00	4,7
Muuga-Tallinna-Kakumäe lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	30.03.2020 00:00	7,2
Muuga-Tallinna-Kakumäe lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	30.03.2020 00:00	6,5
Muuga-Tallinna-Kakumäe lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	14.04.2020 00:00	5,2
Liivi lahe kirdeosa rannikuvesi	Läbipaistvus	20.04.2020 00:00	1
Narva-Kunda lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	20.04.2020 00:00	1,3
Narva-Kunda lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	20.04.2020 00:00	1,4
Pärnu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	20.04.2020 00:00	0,9
Pärnu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	20.04.2020 00:00	0,9
Pärnu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	20.04.2020 00:00	1,5
Pärnu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	20.04.2020 00:00	1,2
Liivi lahe kirdeosa rannikuvesi	Läbipaistvus	20.04.2020 00:00	1,9
Narva-Kunda lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	20.04.2020 00:00	4,3
Muuga-Tallinna-Kakumäe lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	21.04.2020 00:00	6,5
Muuga-Tallinna-Kakumäe lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	21.04.2020 00:00	4,5
Muuga-Tallinna-Kakumäe lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	21.04.2020 00:00	5
Kassari-Õunaku lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	22.04.2020 00:00	5,1
Kassari-Õunaku lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	22.04.2020 00:00	2,5
Soela väina rannikuvesi	Läbipaistvus	22.04.2020 00:00	11
Soela väina rannikuvesi	Läbipaistvus	29.04.2020 00:00	5,5
Väinamere rannikuvesi	Läbipaistvus	30.04.2020 00:00	5,5
Narva-Kunda lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	04.05.2020 00:00	4
Narva-Kunda lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	04.05.2020 00:00	3,6

Seirekogumi nimi	Näitaja	Seireaeg	Mõõdetud arvväärtus (m)
Muuga-Tallinna-Kakumäe lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	05.05.2020 00:00	5,5
Hara ja Kolga lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	05.05.2020 00:00	5,5
Muuga-Tallinna-Kakumäe lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	05.05.2020 00:00	3,7
Muuga-Tallinna-Kakumäe lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	05.05.2020 00:00	4,5
Eru-Käsmu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	06.05.2020 00:00	5,1
Eru-Käsmu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	06.05.2020 00:00	4,7
Eru-Käsmu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	08.05.2020 00:00	5,8
Liivi lahe kirdeosa rannikuvesi	Läbipaistvus	12.05.2020 00:00	2,4
Pärnu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	12.05.2020 00:00	1,2
Pärnu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	12.05.2020 00:00	1,3
Liivi lahe kirdeosa rannikuvesi	Läbipaistvus	12.05.2020 00:00	3,5
Pärnu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	12.05.2020 00:00	1,8
Narva-Kunda lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	13.05.2020 00:00	2,5
Narva-Kunda lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	13.05.2020 00:00	2,5
Narva-Kunda lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	13.05.2020 00:00	3,5
Muuga-Tallinna-Kakumäe lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	19.05.2020 00:00	4,4
Muuga-Tallinna-Kakumäe lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	19.05.2020 00:00	4,3
Muuga-Tallinna-Kakumäe lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	19.05.2020 00:00	4,5
Muuga-Tallinna-Kakumäe lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	19.05.2020 00:00	6,5
Soela väina rannikuvesi	Läbipaistvus	22.05.2020 00:00	10,5
Kassari-Õunaku lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	22.05.2020 00:00	7
Kassari-Õunaku lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	22.05.2020 00:00	3,1
Pärnu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	28.05.2020 00:00	1,6
Pärnu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	28.05.2020 00:00	1,9
Pärnu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	28.05.2020 00:00	2
Liivi lahe kirdeosa rannikuvesi	Läbipaistvus	28.05.2020 00:00	2,5
Pärnu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	28.05.2020 00:00	1,6
Liivi lahe kirdeosa rannikuvesi	Läbipaistvus	28.05.2020 00:00	3,1
Muuga-Tallinna-Kakumäe lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	01.06.2020 00:00	4,5
Muuga-Tallinna-Kakumäe lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	01.06.2020 00:00	3

Seirekogumi nimi	Näitaja	Seireae	Mõõdetud arvväärtus (m)
Muuga-Tallinna-Kakumäe lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	01.06.2020 00:00	4,5
Liivi lahe keskosa rannikuvesi	Läbipaistvus	04.06.2020 00:00	3
Soela väina rannikuvesi	Läbipaistvus	04.06.2020 00:00	5
Narva-Kunda lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	05.06.2020 00:00	2,5
Narva-Kunda lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	06.06.2020 00:00	3,5
Hara ja Kolga lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	06.06.2020 00:00	4,5
Hara ja Kolga lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	06.06.2020 00:00	4
Eru-Käsmu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	06.06.2020 00:00	4
Hara ja Kolga lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	06.06.2020 00:00	3,5
Eru-Käsmu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	06.06.2020 00:00	4
Eru-Käsmu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	06.06.2020 00:00	3,5
Muuga-Tallinna-Kakumäe lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	06.06.2020 00:00	4
Hara ja Kolga lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	06.06.2020 00:00	4,5
Väinamere rannikuvesi	Läbipaistvus	08.06.2020 00:00	3,6
Narva-Kunda lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	10.06.2020 00:00	4,3
Narva-Kunda lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	10.06.2020 00:00	4,5
Soela väina rannikuvesi	Läbipaistvus	15.06.2020 00:00	9
Kassari-Õunaku lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	15.06.2020 00:00	4,8
Kassari-Õunaku lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	15.06.2020 00:00	4,5
Liivi lahe kirdeosa rannikuvesi	Läbipaistvus	16.06.2020 00:00	2,4
Liivi lahe kirdeosa rannikuvesi	Läbipaistvus	16.06.2020 00:00	2,7
Soela väina rannikuvesi	Läbipaistvus	16.06.2020 00:00	5,1
Narva-Kunda lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	16.06.2020 00:00	2,5
Narva-Kunda lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	16.06.2020 00:00	4,8
Narva-Kunda lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	16.06.2020 00:00	3,5
Pärnu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	16.06.2020 00:00	1,1
Pärnu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	16.06.2020 00:00	0,8
Pärnu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	16.06.2020 00:00	0,9
Eru-Käsmu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	17.06.2020 00:00	5
Hara ja Kolga lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	17.06.2020 00:00	4,4
Eru-Käsmu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	17.06.2020 00:00	4,7
Hara ja Kolga lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	18.06.2020 00:00	3,5
Eru-Käsmu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	18.06.2020 00:00	3,8
Eru-Käsmu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	18.06.2020 00:00	3,3
Hara ja Kolga lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	18.06.2020 00:00	4,2
Eru-Käsmu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	18.06.2020 00:00	4

Seirekogumi nimi	Näitaja	Seireae	Mõõdetud arvväärtus (m)
Muuga-Tallinna-Kakumäe lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	19.06.2020 00:00	5
Pärnu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	29.06.2020 00:00	2,3
Pärnu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	29.06.2020 00:00	2,3
Liivi lahe kirdeosa rannikuvesi	Läbipaistvus	29.06.2020 00:00	2,8
Liivi lahe kirdeosa rannikuvesi	Läbipaistvus	29.06.2020 00:00	3,1
Pärnu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	29.06.2020 00:00	1,8
Pärnu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	29.06.2020 00:00	1,7
Hara ja Kolga lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	02.07.2020 00:00	3
Muuga-Tallinna-Kakumäe lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	02.07.2020 00:00	3,4
Muuga-Tallinna-Kakumäe lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	02.07.2020 00:00	5,4
Muuga-Tallinna-Kakumäe lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	02.07.2020 00:00	5
Narva-Kunda lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	08.07.2020 00:00	3,5
Narva-Kunda lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	08.07.2020 00:00	3,3
Narva-Kunda lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	08.07.2020 00:00	3,2
Narva-Kunda lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	10.07.2020 00:00	3,1
Narva-Kunda lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	10.07.2020 00:00	2,5
Muuga-Tallinna-Kakumäe lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	13.07.2020 00:00	3
Muuga-Tallinna-Kakumäe lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	13.07.2020 00:00	4
Pärnu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	15.07.2020 00:00	0,7
Pärnu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	15.07.2020 00:00	0,7
Pärnu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	15.07.2020 00:00	0,5
Pärnu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	15.07.2020 00:00	1,5
Liivi lahe kirdeosa rannikuvesi	Läbipaistvus	15.07.2020 00:00	1,2
Liivi lahe kirdeosa rannikuvesi	Läbipaistvus	15.07.2020 00:00	1,5
Soela väina rannikuvesi	Läbipaistvus	15.07.2020 00:00	5,5
Hara ja Kolga lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	17.07.2020 00:00	2
Muuga-Tallinna-Kakumäe lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	17.07.2020 00:00	2
Hara ja Kolga lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	17.07.2020 00:00	3
Väinamere rannikuvesi	Läbipaistvus	20.07.2020 00:00	4,2
Eru-Käsmu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	26.07.2020 00:00	4
Hara ja Kolga lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	26.07.2020 00:00	3,4
Eru-Käsmu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	26.07.2020 00:00	3,2
Eru-Käsmu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	26.07.2020 00:00	3,7
Narva-Kunda lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	27.07.2020 00:00	3
Narva-Kunda lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	27.07.2020 00:00	3

Seirekogumi nimi	Näitaja	Seireae	Mõõdetud arvvaartus (m)
Narva-Kunda lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	28.07.2020 00:00	3,1
Narva-Kunda lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	28.07.2020 00:00	3,2
Narva-Kunda lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	28.07.2020 00:00	2,1
Muuga-Tallinna-Kakumäe lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	04.08.2020 00:00	3
Eru-Käsmu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	04.08.2020 00:00	2,5
Hara ja Kolga lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	04.08.2020 00:00	2,6
Eru-Käsmu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	04.08.2020 00:00	3,3
Eru-Käsmu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	04.08.2020 00:00	3,5
Hara ja Kolga lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	04.08.2020 00:00	2,7
Pärnu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	05.08.2020 00:00	1,1
Liivi lahe kirdeosa rannikuvesi	Läbipaistvus	05.08.2020 00:00	2,3
Pärnu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	05.08.2020 00:00	1,2
Liivi lahe kirdeosa rannikuvesi	Läbipaistvus	05.08.2020 00:00	1,5
Pärnu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	05.08.2020 00:00	0,8
Pärnu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	05.08.2020 00:00	1,1
Eru-Käsmu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	07.08.2020 00:00	4,3
Eru-Käsmu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	07.08.2020 00:00	3,7
Hara ja Kolga lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	12.08.2020 00:00	4,8
Eru-Käsmu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	12.08.2020 00:00	3,6
Muuga-Tallinna-Kakumäe lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	12.08.2020 00:00	2,3
Muuga-Tallinna-Kakumäe lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	12.08.2020 00:00	3,6
Eru-Käsmu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	12.08.2020 00:00	2,3
Muuga-Tallinna-Kakumäe lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	12.08.2020 00:00	3,6
Narva-Kunda lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	13.08.2020 00:00	3,2
Narva-Kunda lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	13.08.2020 00:00	1,9
Hara ja Kolga lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	14.08.2020 00:00	2,9
Eru-Käsmu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	14.08.2020 00:00	3,3
Eru-Käsmu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	14.08.2020 00:00	3,2
Hara ja Kolga lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	14.08.2020 00:00	3,2
Eru-Käsmu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	14.08.2020 00:00	3,1
Väinamere rannikuvesi	Läbipaistvus	14.08.2020 00:00	3,2
Narva-Kunda lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	18.08.2020 00:00	3,9
Narva-Kunda lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	18.08.2020 00:00	2,9
Narva-Kunda lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	18.08.2020 00:00	3,1
Muuga-Tallinna-Kakumäe lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	19.08.2020 00:00	1,8

Seirekogumi nimi	Näitaja	Seireae	Mõõdetud arvväärtus (m)
Muuga-Tallinna-Kakumäe lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	19.08.2020 00:00	2,8
Muuga-Tallinna-Kakumäe lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	19.08.2020 00:00	3,3
Muuga-Tallinna-Kakumäe lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	24.08.2020 00:00	4
Muuga-Tallinna-Kakumäe lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	24.08.2020 00:00	2,5
Väinamere rannikuvesi	Läbipaistvus	27.08.2020 00:00	3
Liivi lahe kirdeosa rannikuvesi	Läbipaistvus	28.08.2020 00:00	2,4
Pärnu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	28.08.2020 00:00	0,7
Pärnu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	28.08.2020 00:00	0,7
Narva-Kunda lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	28.08.2020 00:00	2,5
Liivi lahe kirdeosa rannikuvesi	Läbipaistvus	28.08.2020 00:00	1,7
Narva-Kunda lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	28.08.2020 00:00	4
Pärnu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	28.08.2020 00:00	0,7
Soela väina rannikuvesi	Läbipaistvus	28.08.2020 00:00	5,4
Narva-Kunda lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	28.08.2020 00:00	3,5
Pärnu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	28.08.2020 00:00	1,9
Muuga-Tallinna-Kakumäe lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	31.08.2020 00:00	5
Muuga-Tallinna-Kakumäe lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	15.09.2020 00:00	4,7
Muuga-Tallinna-Kakumäe lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	15.09.2020 00:00	4,5
Muuga-Tallinna-Kakumäe lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	15.09.2020 00:00	3,9
Narva-Kunda lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	16.09.2020 00:00	2,8
Soela väina rannikuvesi	Läbipaistvus	16.09.2020 00:00	5,3
Narva-Kunda lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	16.09.2020 00:00	1,8
Narva-Kunda lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	16.09.2020 00:00	3,2
Eru-Käsmu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	23.09.2020 00:00	3,3
Hara ja Kolga lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	23.09.2020 00:00	4,4
Narva-Kunda lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	23.09.2020 00:00	1,2
Eru-Käsmu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	23.09.2020 00:00	4,4
Eru-Käsmu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	23.09.2020 00:00	3,5
Eru-Käsmu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	23.09.2020 00:00	4
Narva-Kunda lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	23.09.2020 00:00	2,1
Eru-Käsmu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	23.09.2020 00:00	3
Hara ja Kolga lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	23.09.2020 00:00	5
Pärnu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	25.09.2020 00:00	0,9
Liivi lahe kirdeosa rannikuvesi	Läbipaistvus	25.09.2020 00:00	1,4

Seirekogumi nimi	Näitaja	Seireaeg	Mõõdetud arvväärtus (m)
Liivi lahe kirdeosa rannikuvesi	Läbipaistvus	25.09.2020 00:00	2,2
Pärnu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	25.09.2020 00:00	0,9
Pärnu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	25.09.2020 00:00	1,8
Pärnu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	25.09.2020 00:00	0,9
Muuga-Tallinna-Kakumäe lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	01.10.2020 00:00	5,1
Muuga-Tallinna-Kakumäe lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	20.10.2020 00:00	4,5
Muuga-Tallinna-Kakumäe lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	20.10.2020 00:00	3
Muuga-Tallinna-Kakumäe lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	20.10.2020 00:00	5
Narva-Kunda lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	21.10.2020 00:00	1,3
Narva-Kunda lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	21.10.2020 00:00	2
Narva-Kunda lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	21.10.2020 00:00	1,3
Liivi lahe kirdeosa rannikuvesi	Läbipaistvus	30.10.2020 00:00	0,5
Pärnu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	30.10.2020 00:00	0,6
Liivi lahe kirdeosa rannikuvesi	Läbipaistvus	30.10.2020 00:00	2,5
Pärnu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	30.10.2020 00:00	1,6
Pärnu lahe rannikuvesi	Läbipaistvus	30.10.2020 00:00	0,6

Allikas: Keskkonnaseire infosüsteemi andmebaas, 13.04.2021 seisuga

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina, Laura Valk,

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose
BATÜMEETRIA LIDARI KASUTAMISE VÕIMALUSED EESTI RANNIKUVETES,

mille juhendajad on Inga Zaitseva-Pärnaste ja Priit Vellamäe,

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh
Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni
autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna
kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni
autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka
autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega
isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

24.05.2021

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud üks või enam isikut oma ühise loomingu tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.