



KESKKONNAAGENTUUR

Suurte üleujutusalaodega siseveekogude
ja mererannikul korduva kõrgvee
taseme poolt mõjutatud alade
määramine
Lõpparuanne

Töö alustamise kuup: 01.01.2019

Töö lõpetamise kuup: 15.07.2019

Vastutav täitja: Liis Sipelgas

Täitja: Age Arikas

Tallinn, 2019

Sisukord

1. Sissejuhatus- töö eesmärk.....	3
2. Analüüsis kasutatud andmed ja meetodika.....	3
2.1 Veetasemete aegread.....	3
2.2 Ruumiandmed.....	5
2.2.1 Kasutatud/koondatud kaardid.....	5
2.2.2 Analüüsis töödeldud satelliitandmed.....	5
3. Tulemused - korduvalt üle ujutatud alade hindamine Eesti mererannikul.....	6
3.1 Jaama andmete analüüs korduva maksimaalse veetaseme hindamiseks.....	6
3.2 Erinevate ruumiandmete analüüs korduvalt üle ujutatud alade hindamiseks Eesti mererannikul.....	7
3.3 Kokkuvõte - korduva suurveega alad mererannikul.....	12
4. Suurte üleujutusosaladega siseveekogud.....	13
4.1 Jaama andmete analüüs suurvee perioodide leidmiseks siseveekogudel.....	13
4.2. Ruumiandmete analüüs korduva suurvee alade hindamiseks Eesti siseveekogude ümber.....	13
4.3 Kokkuvõte – suurte üleujutusosaladega siseveekogud.....	21
Kasutatud materjalid.....	23
Lisad.....	24

1. Sissejuhatus - töö eesmärk

Eestis on varasemalt läbi viidud uuringuid kaardistades ekstreemseid veetaseme tõenäolisi tõuse 10, 50, 100 ja 1000 aasta jooksul üleujutusega seotud riskipiirkondades (Keskkonnaministeerium 2014, 2019). Riskipiirkondade tõenäosusstsenaariumite jaoks hinnatud ekstreemsed veetasemed on kantud ka maapinna kõrgusmudelile ning nimetud kaardid on kättesaadavad läbi Maa-ameti kaardrakenduse <https://xgis.maaamet.ee/xgis2/page/app/yua>.

Käesoleva töö eesmärk oli hinnata **korduva kõrgveetaseme poolt mõjutatud rannikualasid ning määratleda korduva suurveega alad sisemaal.**

Töö läbiviimise ajendiks on asjaolu, et 2004 a. keskkonnaministri määrusega kehtestatud suurte üleujutustega siseveekogude nimekiri (<https://www.riigiteataja.ee/akt/765431>) vajab üle vaatamist ja ajakohastamist. Korduva üleujutusega ala, mis on mere ääres, ei ole täna üheski õigusaktis defineeritud, samas on korduva üleujutusega alasid mererannikul oluline teada nii inimese ohutuse seisukohast, planeeringute tegemiseks/kinnitamiseks kui ka looduskaitse eesmärkidel.

Täna on korduva üleujutusega ala piiri määramine üldplaneeringu ülesanne, aga kuna paljudes kohalikes omavalitsustes (KOV) on see piir määratlemata, siis on oluline teada saada, kas on võimalik see lahendada ühtsetel alustel riiklikul tasandil või anda KOV-le ette täpsemad lähtekriteeriumid. Lähtekriteeriumite kirjeldamine oli samuti käesoleva töö üks eesmärke.

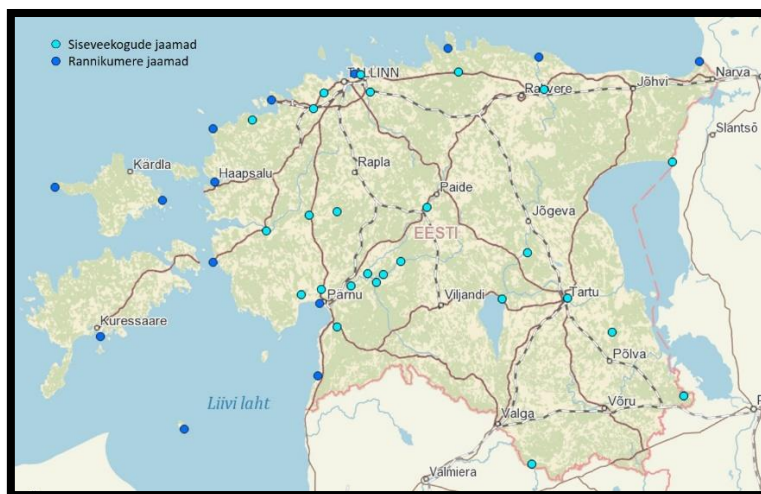
2. Analüüsis kasutatud andmed ja meetodika

Töös analüüsiti rannikumere veetaseme mõõtmisjaamade andmeid, et hinnata korduvat maksimaalset veetaset mererannikul. Lisaks analüüsiti ka siseveekogude mõõtmisjaamade andmeid, et tuvastada suurvee perioodide kestvus siseveekogudel.

Korduva suurvee esinemist ja ulatust mererannikul ja siseveekogude kallastel hinnati erineva meetodikaga koostatud märgalade kaartidelt ja satelliitpiltidelt. Erinevate kaardikihtide võrdlev analüüs võimaldab detailsemalt määrata üle ujutatud alade ulatust.

2.1 Veetasemete aegread

Andmetena kasutati Keskkonnaagentuuri poolt riiklikes hüdroloogia seirejaamades mõõdetud andmeid (joonis 2.1.).



Joonis 2.1. Analüüsis kasutatud jaamade asukohad.

Korduva kõrgveetaseme leidmiseks rannikujaamades analüüsiti 10 aasta (2009–2018) veetaseme 1 tunni mõõdistusandmeid. Kõrgveetaseme väärtused rannikujaamades annavad aluse öelda, millise kõrgusväärtuseni tõuseb vesi mererannal. Veetaseme tõus meres toob alati kaasa vee liikumise maismaale vastavalt mereranniku reljeefile. Analüüsitud jaamade veetasemete graafikud on toodud Lisas 1. Andmetest leiti jaama maksimaalne veetase ja arvutati keskmine veetase (\bar{x}) mõõdistusperioodil.

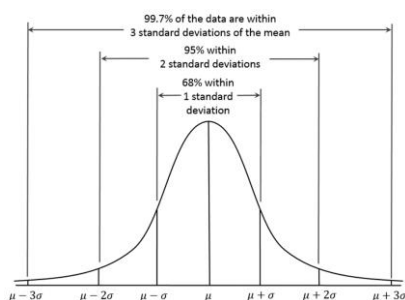
$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Igale rannikujaamale on arvutatud ka standardhälve (σ).

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=0}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Kolme sigma reegel on statistiline rakendustes kasutatav andmete hajuvuspiiride eeskiri (joonis 2.2). Kolmekordne standardhälve (σ) koos rannikujaama keskmise veetasemega (\bar{x}) iseloomustab statistiliselt veetaseme muutumise vahemikku, mille piiridesse jääb **99.7% kõikidest mõõdistustest jaamas**. Seega antud vahemikust jääb välja **0.3 % mõõdistustest**, mida loetakse **ekstreemumiteks andmereas** (nii maksimumid kui miinimumid). Iga rannikujaama jaoks arvutati väärtused, mis iseloomutavad **ülemist suurvee piiri rannikujaamas**, mille arvutamisel on lähtutud **kolme sigma (3 σ) reeglist**,

$$3\sigma = \bar{x} + 3 * \sigma$$



Joonis 2.2 Andmete normaaljaotusfunktsioon, millel on näidatud 3 sigma reegel.

Enamuse siseveekogude puhul ei ole veetaseme muutustest võimalik otseselt hinnata, millal tekib üleujutus, sest paljude Eesti jõgede voolusängi sügavus ei ole teada ning seetõttu ei saa öelda, milline veetaseme tekitab üleujutuse jõe kallastele. Jaama andmeid siseveekogudel kasutati suurvee perioodide leidmiseks, mis omakorda olid aluseks satelliitpiltide valimisel analüüsi. Analüüsis kasutati 1 tunni keskmisi mõõtmisandmeid 2015–2018 aasta kohta.

2.2 Ruumiandmed

2.2.1 Kasutatud/koondatud kaardid

Töös on kasutatud järgmisi varasemalt koostatud kaarte:

- Eesti topograafilise andmekogu (ETAK) 2019. aasta kaarte (allikas Maa-amet Aluskaart: Maa-amet 2019)
 - a) ETAK_kaldajoon
 - b) ETAK_hooned
 - c) kaardid: „ETAK_märgala_ka“ (roostik) ja “märgala_k“ (madal soo, raba, õõtsik, soovik). ETAK-i märgalaid iseloomustavad kaardid koostatakse ortofotodelt hinnates visuaalselt märgaladele iseloomuliku taimestikku.
- 1 meetri samakõrgusjoon (BK77 kõrgussüsteemis)- allikas: Maa-amet geoportaal
- Digitaalse kõrgusmudeli andmed (DEM) – allikas: Maa-ameti lidar mõõdistused
- Jõekogumite kaart – allikas KAUR Keskkonnaregister (KKR)
- Järvkogumite kaart- allikas KAUR Keskkonnaregister
- TLÜ Ökoloogia Instituudi töö „Märgalade seisundi hindamine ja keskkonnanäesmärkide määramine“ raames koostatud kaardid:
 - a) Lammialad
 - b) Rannamärgalad
 - c) JärvemärgaladTLÜ Ökoloogia Instituudi poolt koostatud lammialade, rannamärgalade kaardikiht on koostatud mullastiku kaardi ja ortofotode ning erinevate uuringute käigus kogutud kohtvaatluste põhjal.
- Copernicus produkt Water and Wetness (allikas: <https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/water-wetness>).

Water and Wetness produkt on koostatud 2009–2015 kogutud satelliitandmetest, millelt on määratud alad, mis on korduvalt või perioodiliselt vee all või niisked.

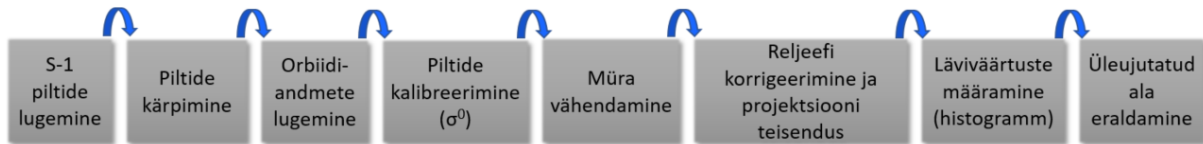
2.2.2 Analüüsis töödeldud satelliitandmed

Satelliitpiltidest kasutati satelliitide Sentinel-1 ja Sentinel-2 pilte (allikas: <https://scihub.copernicus.eu/>).

Sentinel-1 ja -2 algandmetele viidi läbi eraldi töötus kaardistamiseks vee asukohti satelliitpildil. Suurvee perioodi satelliitandmed aastatest 2017–2018 laaditi alla avalikust veebiteenusest <https://scihub.copernicus.eu/>). Töös analüüsiti 224 satelliitpilti.

Esmalt rakendati Sentinel-1 algandmetele standardset eeltötlust piltide kalibreerimiseks ja georeferimiseks kasutades selleks tarkvara SNAP protsessoreid. Seejärel rakendati igale pildile läviväärtus meetodit veega kaetud ala tuvastamiseks. Iga pildi töötuse tulemuseks oli kaart, kus oli eristatav veega kaetud ala ja „kuiv“ ala antud päeval. Seejärel viidi läbi klassifitseeritud piltide järeltöötus QGIS tarkvaras siseveekogudega seotud üleujutatud alade eraldamiseks. Ülevaatlik skeem Sentinel-1 piltide töötusest on toodud joonisel 2.2.

Andmetöötuse skeem S1TBX'is



Joonis 2.2. Sentinel-1 andmete töötlemise skeem.

Vee hindamiseks Sentinel-2 piltidelt arvutati pilvevabade piltide jaoks MNDWI indeks (Modified Normalized Difference Water Index) (Du jt. 2016).

$$MNDWI = \frac{\text{Roheline} - \text{SWIR}}{\text{Roheline} + \text{SWIR}} = \frac{\text{Band 3} - \text{Band 11}}{\text{Band 3} + \text{Band 11}}$$

kus Band 3 ja Band 11 esindab vastavalt Sentinel-2 rohelises ja SWIR (lühilaine-infrapuna) spektrikanalis mõõdetud väärtuseid.

MNDWI indeks on kaugseires kasutatav indeks, mis muutub vahemikus 0–1 ja iseloomustab vee hulka vaadeldaval alal/pikslis. Kui MNDWI indeksi väärtus on 1, siis on tegemist veega kaetud alaga (nt. järv) ning kui indeksi väärtus on 0, siis on tegemist alaga, kus vett ei ole. MNDWI indeksi alusel Sentinel-2 satelliitpiltidelt veega kaetud alade määramiseks leiti MNDWI indeksi läviväärtus eristamiseks veega kaetud ala ja kuiva ala. Käesolevas töös valiti vett iseloomustavaks MNDWI indeksi läviväärtuseks 0.6, s.t. kui $MNDWI > 0.6$, siis maapind on kaetud veega.

3. Tulemused – korduva kõrgvee taseme poolt mõjutatud alade hindamine Eesti mererannikul

3.1 Jaama andmete analüüs korduva maksimaalse veetaseme hindamiseks

Tabelis 3.1. on näidatud korduva maksimaalse veetaseme väärtused, mis hinnatud kasutades kolme sigma reeglit (vt. pt 2.1) Eesti rannikujaamades. Korduv maksimaalne veetase rannikujaamades aastatel 2009–2018 oli vahemikus 90–109 cm, **olles keskmiselt 95 cm** (Amsterdami nulli järgi) ja **64-91 cm keskmiselt 75 cm** (Kroonlinna nulli järgi).

Tabel 3.1. Veetaseme mõõdistuste statistika rannikujaamades: maksimaalne, keskmine, standardhälve (σ) ja keskmine + 3σ (iseloomustab korduvat maksimaalset veetaset).

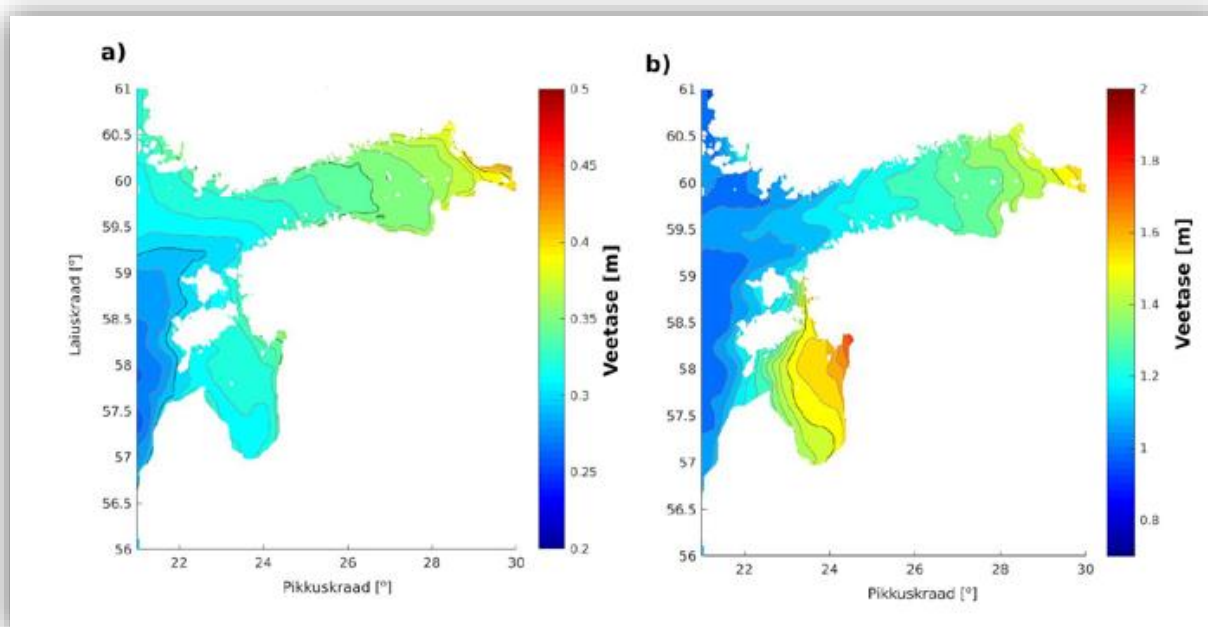
Jaam	Maksimum		Keskmine (\bar{x})		Standardhälve (σ)		$\bar{x} + 3 \times \sigma$	
	EH2000	BK77	EH2000	BK77	EH2000	BK77	EH2000	BK77
Ruhnu	141,8	127,8	20,59	6,6	25,41	25,4	96,8	82,8
Roomassaare	136,4	115,4	19,58	-1,4	23,29	23,3	89,46	68,5
Häädemeeste	170,6	153,6	21,16	4,2	26,66	26,7	101,15	84,1
Pärnu	183,1	164,1	23,07	4,1	28,87	28,9	109,68	90,7
Virtsu	146,1	125,1	21,28	0,3	25,48	25,5	97,73	76,7
Dirhami	122,2	98,2	19,57	-4,4	23,53	23,5	90,16	66,2
Paldiski	99,2*	75,2*	18,20*	-5,8*	24,09*	24,1*	90,46*	66,5*
Pirita	132,0	108,0	19,26	-4,7	23,99	24,0	91,22	67,2
Loksa	140,6	117,6	21,1	-1,9	25,06	25,1	96,28	73,3
Kunda	166	144,0	24,1	2,1	25,39	25,4	100,27	78,3
Narva	200,7	181,7	26,52	7,5	26,86	26,9	107,09	88,1
Heltermaa	125,15	102,1	16,97	-6,1	23,42	23,4	87,26	64,1

Haapsalu	157,6	134,6	20,47	-2,5	25,56	25,6	97,15	74,1
Ristna	138,7	116,9	19,08	-6,9	23,4	23,4	89,26	63,3

*lühike aegrida

Töös Lagemaa jt. 2018 on toodud mudelandmete (GETM) statistika aastate 1966–2005 jaoks, mis iseloomustab keskmiste ja maksimaalsete veetasemete erinevusi keskmisest kogu Eesti rannikumeres. Ekstreemsete veetasemete hindamiseks tuleb summerida joonise 3.1 a) ja b) väärtused mingis ruumpunktis. Jooniselt 3.1 (väljavõte tööst Lagemaa jt. 2018) on näha, et kõrgemad keskmised ja maksimaalsed veetaseme väärtused esinevad Eesti edelarannikul ja Soome lahe idaosas. Sarnane ruumiline jaotus Eesti rannikumeres tuli välja ka 10 aasta jaama andmetest, kus suurimad korduvad veetasemed saadi Pärnu ja Narva jaama andmetest (Tabel 3.1).

Antud töös ei hinnatud piirkonna ekstreemumeid ja nende korduvust, ekstreemumid erinevad jaamades oluliselt ja nende suurus sõltub piirkonna hüdrodünaamilistest tingimustest. Ekstreemumite väärtust ja nende korduvuse tõenäosust on analüüsitud mitmetes varasemates uurimustöodes, mis on koostatud erinevate riskipiirkondade jaoks (Lagemaa jt. 2013, 2018).



Joonis 3.1. GETM mudeliga hinnatud a) pikaajaline keskmine veetase Eesti rannikumeres b) maksimaalsed veetasemed pikaajalise keskmise suhtes aastate 1966–2005 kohta. Allikas Lagemaa jt. 2018.

3.2. Erinevate ruumiandmete analüüs korduva kõrgvee taseme poolt mõjutatud alade leidmiseks Eesti mererannikul

Rannikujaamade analüüs tõi välja üldistuse, keskmine suurvee tase 10 aasta jaamaandmetest kogu Eesti rannikumere ulatuses oli kuni **91 cm** Pärnu mõõtejaamas (Kroonlinna nulli järgi). Lisaks veetaseme tõusule mõjutab suurvee ulatust mererannikul täiendavalt ka lainetus (Lagemaa 2013, Soomere 2013), mille tõttu kantakse teatud tingimustel vett rannikul veelgi kaugemale sisemaa poole. Veetaseme tõustes liigub suurvesi sisemaa poole, kui kaugemale vesi maismaal jõuab, sõltub eelkõige **mereranniku reljeefist**. Järgnevalt analüüsisime erinevaid ruumiandmeid, mis kirjeldavad potentsiaalsete üleujutuste piirkondi mererannikul – rannikumärgalade kaardid (ETAK ja TLÜ), satelliitpiltidelt hinnatud vee ulatus (Copernicus produkt WW ja Sentinel-1/2 andmed) ning ranniku

pinnareljeefi kõrgusmudel (DEM). Joonisel 3.2 on näidatud rannamärgalade kaardid (ETAK ja TLÜ), Sentinel-1 ja -2 pealt hinnatud suurvesi 2017–2018 ja Copernicus WW produkt.

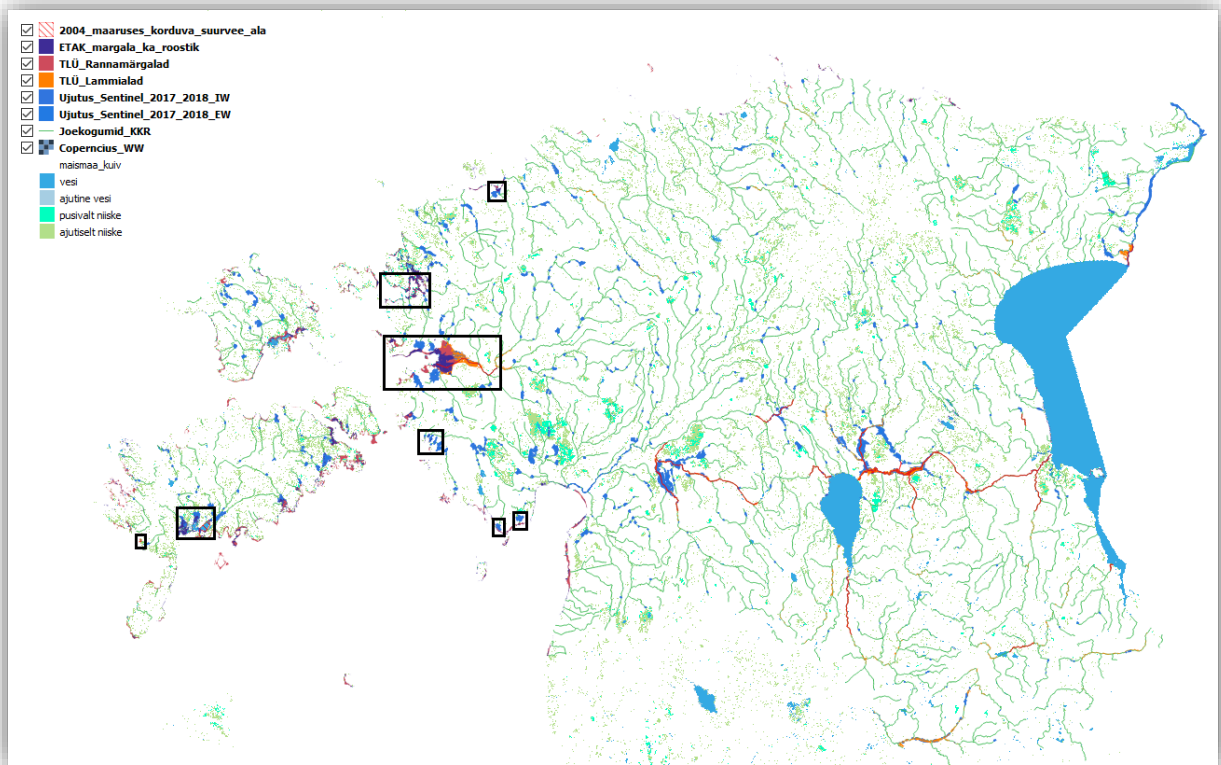
Kaardikihte analüüsiti detailselt kogu rannikumere ulatuses. Lähtudes Copernicus Water and Wetness kaardist võib öelda, et kogu Eesti mereranniku ulatuses on maapind kuni 1 m samakõrgusjooneni (BK77 järgi) kas püsivalt või ajutiselt niiske, samas tuleb meeles pidada, et WW produkti ruumiline lahutus on 20x20 m ning seetõttu rannikupiirkondi, kus samakõrgusjoone ja kaldajoone vahemaa on väiksem kui 40 m, usaldusväärselt hinnata ei saa.

Joonisel 3.2 on hästi näha, et enim kattuvusi mererannikul erinevate kaardikihtide vahel on Lääne-Eesti piirkonnas. Joonistel 3.3 ja 3.4 on toodud suurendused erinevatest piirkondadest Lääne-Eesti rannikualal (suurendatud alad on näidatud musta kastiga joonisel 3.2).

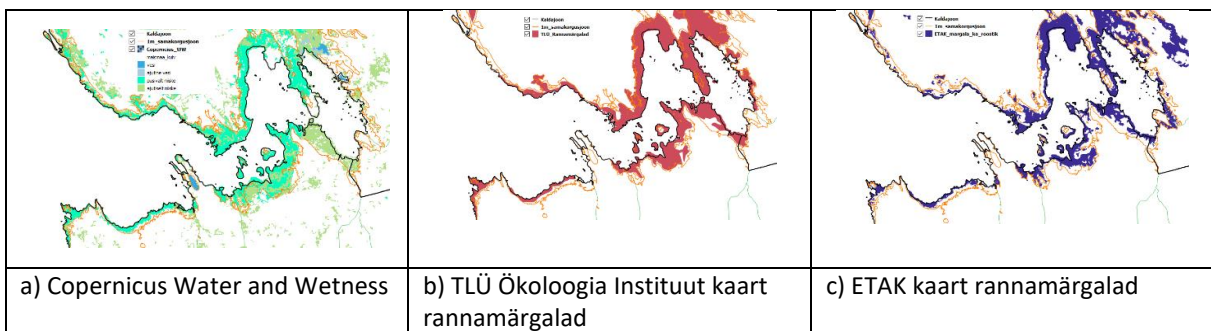
Joonisel 3.3 on näidatud Copernicuse WW kaart ja rannamärgalade kaardid koos kaldajoone ja 1 m samakõrgusjoonega Haapsalu lahe piirkonnas. Joonisel 3.3 on näha, et märgalade ulatus rannikul piirneb 1 m samakõrgusjoonega. Väike erinevus märgalade kaartidel 3.3b ja 3.3c on tingitud kaardistamise erinevast meetodikast. Copernicuse WW kaart (joonis 3.3a) näitab samuti pidevalt niisket ala Haapsalu lahe piirkonnas kuni 1 meetri samakõrgusjooneni.

Joonisel 3.4 on näidatud Copernicuse WW kaart ja rannamärgalade kaardid ning Sentinel-1 pealt hinnatud vee olemasolu (2017 ja 2018 suurvee perioodidel) Paatsalu lahe piirkonnas. Joonisel 3.4a on näha, et niisket piirkonda Copernicuse WW kaardilt ei tuvastanud. Samuti ei ole piirkond kaardistatud märgalana TLÜ rannamärgalade kaardil (joonis 3.4b). Seevastu ETAK rannamärgalade kaardil (joonis 3.4c) on piirkond kaardistatud kui märgala. Erinevused märgalade kaartide vahel on jällegi tingitud erinevast kaardistamise meetodikast, mida kaartide koostamisel on kasutatud. Samuti oli vesi hästi tuvastatav Paatsalu lahe piirkonnas 1 m samakõrgusjooneni Sentinel-1 satelliitpiltidelt (joonis 3.4d).

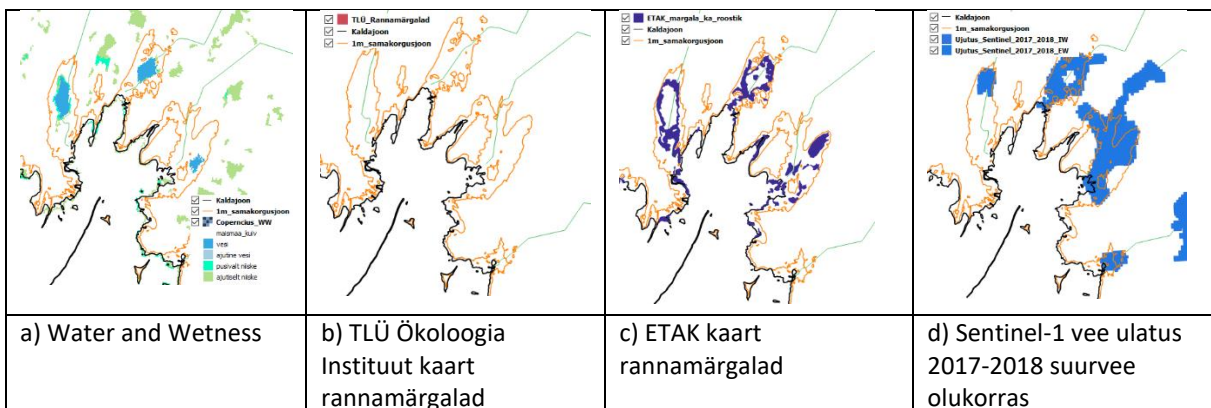
Tuleb märkida, et Copernicuse WW kaardi puudujäägi üks põhjustest on asjaolu, et lähtuvalt meetodikast ei näita produkt vett taimestiku (nt metsa) all. Vee olemasolu hindamiseks taimestu all sobivad väga hästi antud projekti käigus eraldi töödeldud Sentinel-1 satelliitpildid.



Joonis 3.2. Kõrgvee ulatust iseloomistavad kaardid: rannamärgalade kaardid (ETAK ja TLÜ), Sentinel-1 ja -2 pealt hinnatud suurvesi 2017–2018, Copernicus WW produkt ja DEM mererannikul kuni 2 m kõrguseni).

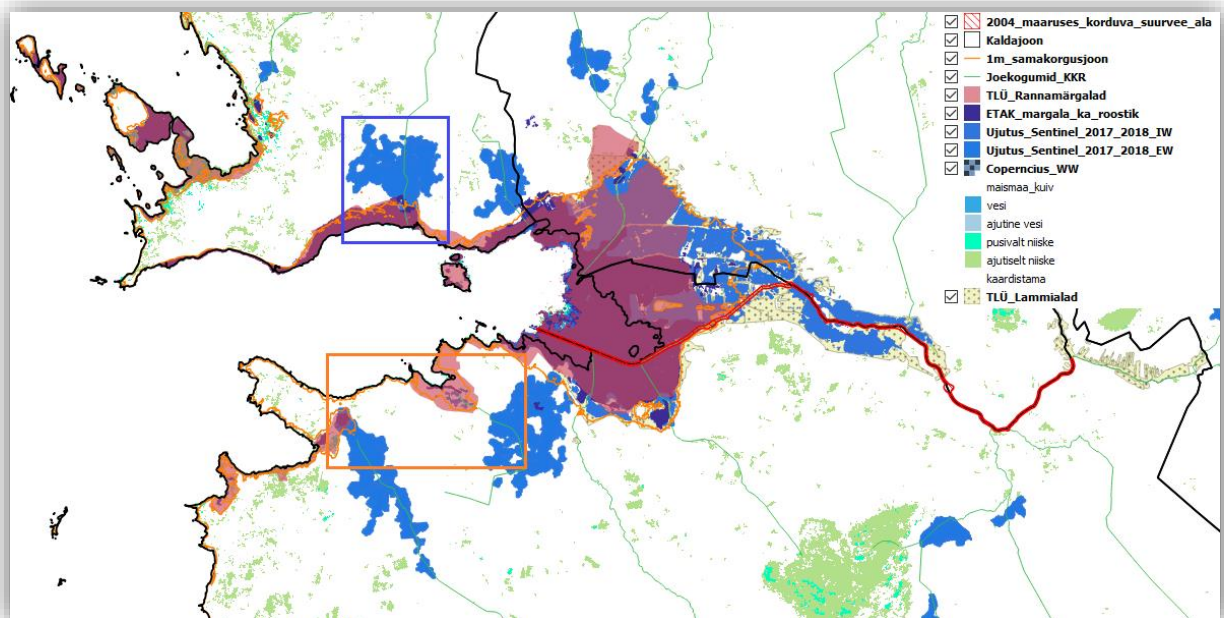


Joonis 3.3. Korduva kõrgvee poolt mõjutatud piirkonnad erinevatel kaardikihtidel Haapsalu lahe ääres.



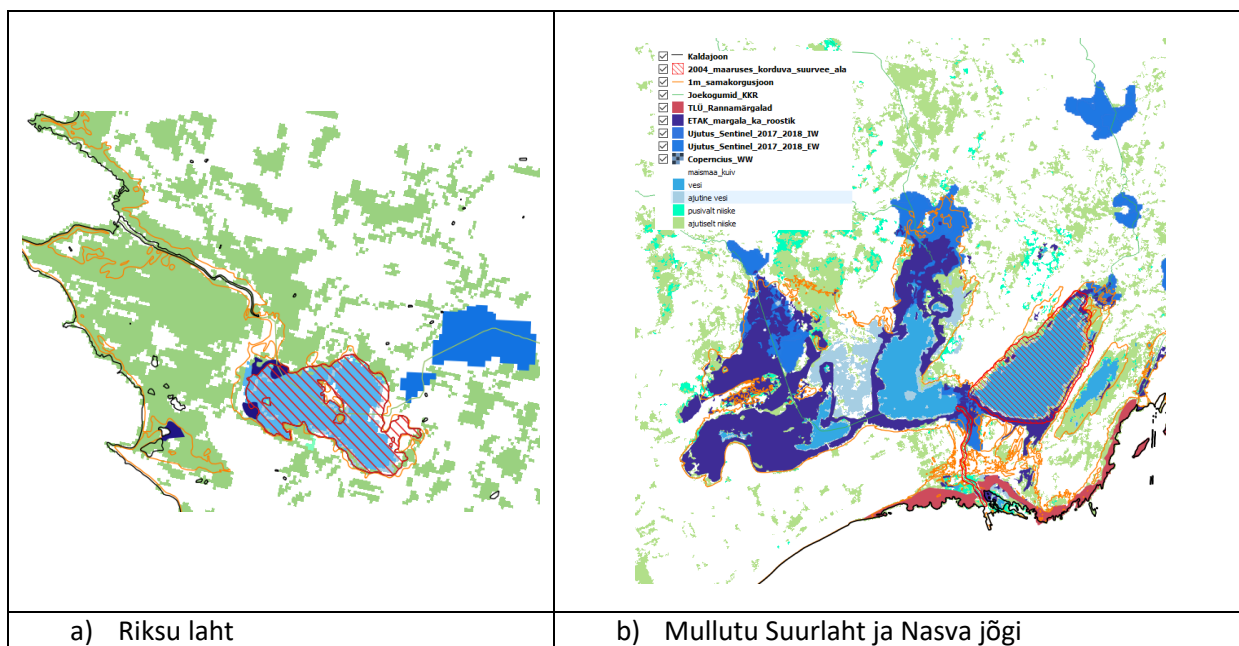
Joonis 3.4. Korduva kõrgvee poolt mõjutatud piirkonnad erinevatel kaardikihtidel Paatsalu lahe piirkonnas.

Eraldi tuleb vaadelda Matsalu lahte, kuhu suubuvad mitmed jõed. Joonisel 3.5 on näidatud Sentinel-1 satelliitpiltidelt hinnatud vee olemasolu suurvee olukorras. Joonisel on näha, et Kasari jõe suudmeala on üle ujutatud oluliselt kaugemale kui 1 m samakõrgusjoon (BK77 järgi), kuid suures plaanis ühtib TLÜ ranna ja lammimärgalade kaartidega. Joonisel 3.5 on punase joonega näidatud ala, mis on täna vastavalt Keskkonnaministri 2004. a määrusele kinnitatud suurte üleujutusalaadega siseveekoguks. Erinevate kaardikihtide ja satelliitpiltide analüüs näitab, et suurveega ala ulatus piki Kasari jõge on pigem Vanamõisa jõe suudmeni kui Kasari ja Vigala jõe ristumiskohani. Lisaks on antud joonisel sinise ringiga näidatud Sinalepa peakraavi suudmeala, mis on küll märgalana näidatud enam-vähem 1 m samakõrgusjooneni, kuid Sentinel-1 satelliitpildid näitavad, et suurvee olukorras on Sinalepa suudmeala vee all kaugemale kui 1 m samakõrgusjoon. Joonisel 3.5 on oranži ringiga näidatud Kasevälja ja Männiku kraavide ümbrus, mis on samuti satelliitpiltidel korduvalt vee all suurvee olukorras. Kuna satelliitpildid näitavad, et Matsalu lahe piirkonnas ulatub korduvalt ujutatud ala rannikul kaugemale kui 1 m samakõrgusjoon, siis soovitame nimetatud ala korduva suurvee piiride määramise töö II etapis kindlasti üle vaadata, et hinnata täpsemalt piiride ulatust.



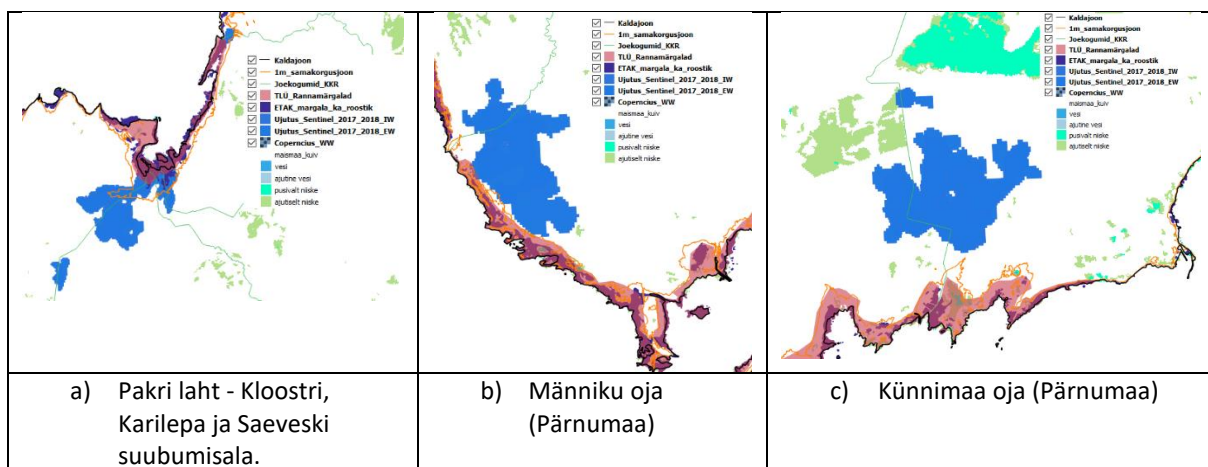
Joonis 3.5. Võimalikud korduvalt kõrgveetaseme poolt mõjutatud piirkonnad erinevatel kaardikihtidel Matsalu lahe piirkonnas.

Vastavalt Keskkonnaministri 2004. a määrusele on kinnitatud suurte üleujutusalaadega siseveekogu nimistus merega seotud Riksu laht ja Mullutu-Suurlaht ning Nasva jõgi Saaremaal. Joonisel 3.6b on näidatud Mullutu Suurlahe ja Nasva jõe piirkonnad erinevatel kaardikihtidel. Kaartide analüüs näitab, et kui võtta 1 m samakõrgusjoon (BK77 järgi) rannikul korduva suurveega alaks, siis jäävad Mullutu Suurlaht ja Nasva jõgi ning nendega külgnevad madalad alad selle ala sisse. Seetõttu võib kaaluda Mullutu Suurlahe ja Nasva jõge nimistust välja jätmist. Joonisel 3.7a on näidatud erinevad maapinna niiskust ja märgalasid iseloomustavad kaardid Riksu lahe piirkonnas. Antud joonisel on näha, et ainult Copernicuse WW kaardilt oli tuvastatav ajutiselt niiske ala Riksu lahe piirkonnas, kuid ei ole kaardistatud ühtegi märgala. Niiske piirkond hõlmab küll laiemalt kui 1 m samakõrgusjoon, kuid arvestades asjaolu, et Eestis on ajutiselt niiske väga ulatuslik ala (joonis 3.1), siis ei näe siinkohal vajadust viia nimetatud alal kaugemale kui 1 m samakõrgusjoon; samuti ei ole vajadust Riksu lahte eraldi välja tuua suurte üleujutusalaadega siseveekogude nimistus.



Joonis 3.6. Võimalikud korduva kõrgveetaseme poolt mõjutatud piirkonnad erinevatel kaardikihtidel Riksu lahe ja Mullutu-Suurlahe piirkonnas.

Eranditena võib välja tuua mõnede jõgede suudmealad, kus Sentinel-1 satelliitpiltidelt oli tuvastatav vee ulatus rannikul kaugemale kui 1 m samakõrgusjoon. Kuid siinkohal tuleb kindlasti märkida asjaolu, et antud suurvesi ei olnud põhjustatud meretaseme tõusust, vaid lume sulamisest ja suurveest jõgedes. Joonisel 3.7a on näidatud Pakri lahte suubuvate Kloostri ja Saeveski kraavide ning Karilepa jõe suudmeala. Joonisel 3.7b,c on Männiku ja Künnumaa (Pärnumaal) oja suudmealad suurvee olukorras. Nendime siiski siinkohal, et riiklikul tasandil nimetud alasid suurte üleujutusalaadega siseveekogu nimistusse lisada ei ole mõtetkas, vaid pakkuda töö raames Sentinel-1 andmetest koostatud üleujutuste kaardikihti KOV-dele kui lisainfoallikat analüüsima detailplaneeringu käigus võimalikke üleujutuse alasid.



Joonis 3.7. Üleujutused jõgede suudme aladel hinnatud Sentinel-1 ja -2 andmetest 2017–2018 suurvee perioodil.

3.3 Kokkuvõte - korduva kõrgvee poolt mõjutatud alad mererannikul

- **Korduva kõrgvee veetaseme** väärtused Eesti rannikumere mõõtejaamades (2009-2018) olid vahemikus **64-91** cm (Kroonlinna nulli järgi), **87-109** cm (Amsterdami nulli järgi). Korduva maksimaalse veetaseme hindamisel kasutati kolme sigma reeglit (vt. pt 2.1).
- Korduva suurvee (veetaseme tõustes) jõudmine maismaale sõltub eelkõige mereranniku reljeefist.
- **Hindamaks suurevee esinemist mererannikul analüüsiti** erinevaid kaardikihte: **märgalade kaardid** (ETAK ja TLÜ Ökoloogia Instituut), **Copernicus produkti Water and Wetness ning 2017–2018 Sentinel-1 ja -2 satelliitpiltidelt** hinnatud vee ulatust. Nimetatud kaartidel on erinev koostamise meetodika, kuid nad kõik iseloomustavad korduva vee esinemist mererannikul. Märgala, vett või niisket ala iseloomustavate polügoonide kokkulangevuse analüüs nimetatud kaartidel võimaldab hinnata suurvee ulatust mererannikul.
- Kaardikihtide analüüs näitas, et **korduv suurvesi esineb 1 m samakõrgusjoone (BK77-Kroonlinna nulli järgi) ulatuses kogu Eesti rannikumere piirkonnas**. Oluline on siinkohal märkida, et loodukaitse seisukohalt olulised piirkonnad - rannamärgalad jäävad kaldajoone ja 1 m samakõrgusjoone vahele.
- Keskkonnaministri 2004 a määruses toodud suurte üleujutusalaadega siseveekogude nimistus on **Riksu laht ja Mullutu Suurlaht koos Nasva jõega**. Kui võtta korduva suurveega alaks rannik 1 m samakõrgusjoone ulatuses, siis nimetatud alad jäävad automaatselt suurveega alaks ning **eraldi nimistus neid välja tuua pole vaja**.
- Samuti soovitate KOV-del lisaks suurvee piirile täiendavalt hinnata ekstreemumeid ja nende korduvust rannikualadel, kus maapinna reljeef on lauge ja **asumid (hooned) asuvad madalamal kui 1.5 meetrit (BK77 järgi)** (seda eelkõige Edela-Eesti rannikul, kus esinevad ka suurimad maksimaalsed korduvad veetasemed). Kui KOV-l ei ole võimalik nimetatud aladel läbi viia ekstreemumite analüüsi ja eraldi suurvee piiri määramist nendele aladele, siis soovitate <1.5 samakõrgusjoone asumatel tiheasustusaladel korduva maksimaalse suurvee piiri määramisel lähtuda Lagemaa jt. 2018 modelleeritud ekstreemsetest veetasemetest vaadeldavas piirkonnas (joonis 3.1).
- **Erandina** toome siiski välja **Matsalu lahe Kasari jõe suudmealal**, kus suurvee olukorras oli vee ulatus rannikul oluliselt kaugemale 1 m samakõrgusjoonest (BK77 järgi), kuid nimetatud suurvesi oli eelkõige põhjustatud vooluhulga tõusust jões, mitte meretaseme tõusust. Seetõttu tuleks suurvee piiride määramise töö II etapis Matsalu lahe piirkonda eraldi vaadelda piiride täpsustamiseks.
- **Erandina** võib välja tuua mõnede jõgede suudmealad, kus suurvesi oli tuvastatav veidi kaugemal kui 1 m samakõrgusjoon (BK77 järgi). Need alad on näidatud Sentinel-1 andmetest koostatud suurvee kaardil, eraldi seadusandluses neid alasid välja tuua ei ole mõistlik, kuid soovitate KOV-del detailplaneeringut koostades tutvuda nimetatud kaardikihiga tööle lisatud veebikaardil https://qgiscloud.com/agnea/korgvee_tase_maaramine

4. Korduva suurveega alad siseveekogudel

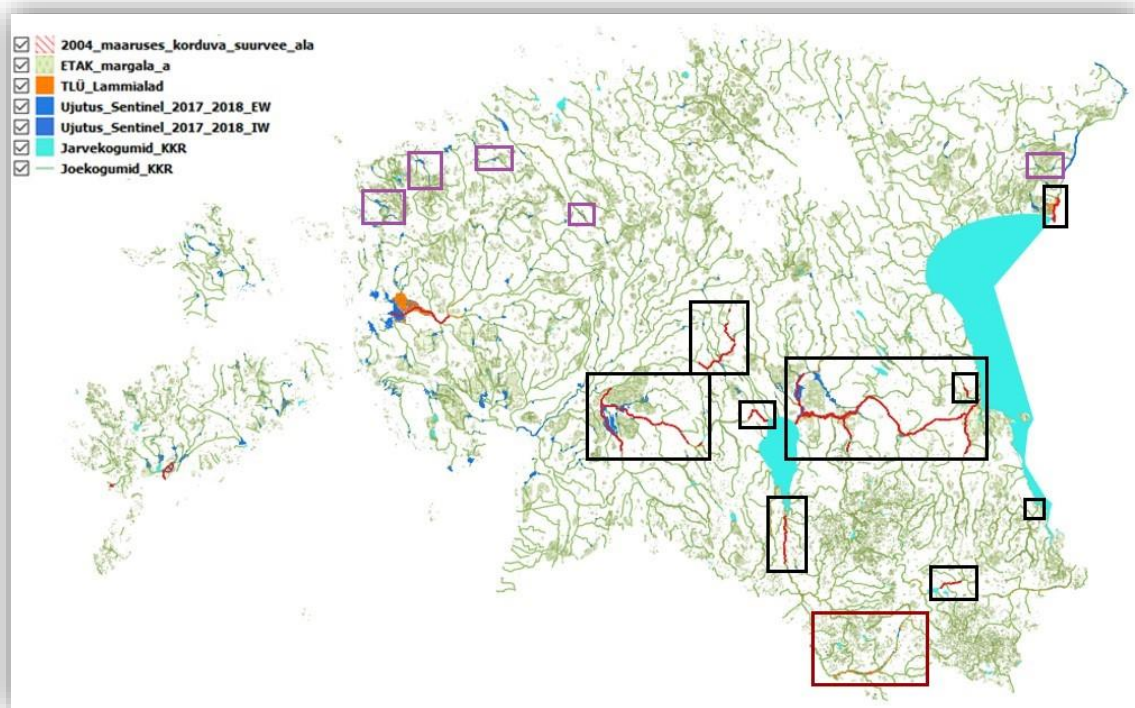
Korduva suurveega alade hindamiseks siseveekogudel kasutati Sentinel-1 ja -2 piltidelt hinnatud vee ulatust siseveekogude ümbruses suurvee perioodil. Lisaks kasutati TLÜ Ökoloogia Instituudi poolt koostatud lammialade kaarte ja ETAK märglade kaarti. Lisaks kasutati taustainfona analüüsis Keskkonnaregistri jõe ja järvekogumite kaarte. Copernicuse produkt Water and Wetness jäi mitmel pool siseveekogude kallastel niiske ala hindamisel siiski liiga üldiseks, seetõttu lähtusime siseveekogude kaardianalüüsis eelkõige Sentinel-1 ja -2 andmetest perioodil 2017–2018 määratud vee ulatusest ja TLÜ lammialade ning ETAK märgalade kaartidest.

4.1 Jaama andmete analüüs suurvee perioodide leidmiseks siseveekogudel

Siseveekogudel mõõdetud jaama andmetest koostatud joonised on toodud Lisas 2. Aastatel 2017–2018 esines kaks kõrgvee perioodi: 2017 aastal oktoobrist – detsembrini ja aprillis 2018. Jaama andmete analüüs oli aluseks sobivate Sentinel-1 ja -2 satelliitpiltide valikul. Sentinel-1 ja -2 satelliitpildid on kättesaadavad alates 2016 a teisest poolest.

4.2. Ruumiandmete analüüs korduva suurvee alade hindamiseks Eesti siseveekogude ümber

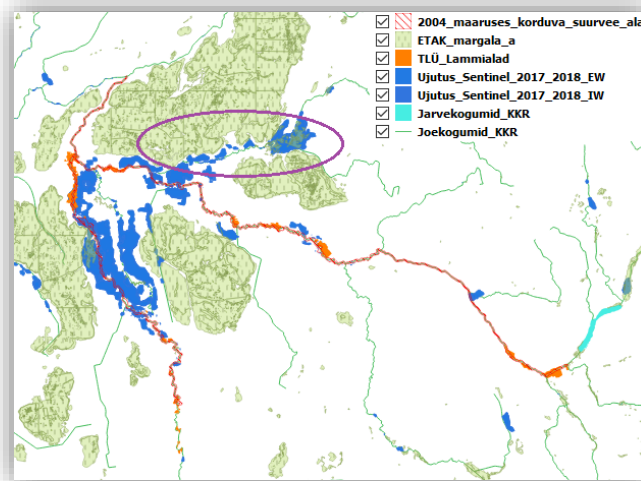
Joonisel 4.1 on näidatud Sentinel-1 ja -2 satelliitpiltidelt hinnatud vee olemasolu ja TLÜ lammialade kaart. Punasega on toodud Keskkonnaministri 2004 a määruses kinnitatud korduva suurveega alad ning erinevat värvi kastidega alad, mis on suurendatud joonistel 4.2–4.11. Joonisel 4.1 eristuvad hästi suured lammialad - Kasari jõe suue, Soomaa ja Alam-Pedja LKA - kus on tuvastatav ulatuslik üleujutus Sentinel-1 ja -2 piltidelt ning piirkonnad on kaardistatud ka lammialana TLÜ kaartidel. Joonisel 4.1 on näha veel palju väikseid alasid erinevate vooluveekogude kallastel, mis olid Sentinel-1 ja -2 satelliitpiltidelt hinnatuna suurveeperioodil enam kui 3-4 päeval vee all. Kindlasti ei ole kõiki neid alasid vajalik lisada seadusandlusesse, kuid koostatud kaardikiht annab ülevaate aladest, kuhu suurveeperioodil koguneb ajutiselt vesi. Tuleb märkida, et väga hästi iseloomustab kaardikiht metsaalasid, mis jäävad ajutiselt vee alla. Seega on kaardikihtil ka lisandväärtus metsade ökoloogilise/majandusliku hindamise seisukohalt.



Joonis 4.1. Korduva suurveega alasid iseloomistavad kaardikihid: lammialad (TLÜ), märgalad (ETAK), Sentinel-1 ja -2 pealt hinnatud üleujutused 2017–2018. Musta kastiga on joonistel 4.2–4.9 suurendatud alad, lilla kastiga joonisel 4.10 suurendatud alad ja tumepunasega joonisel 4.11 suurendatud alad.

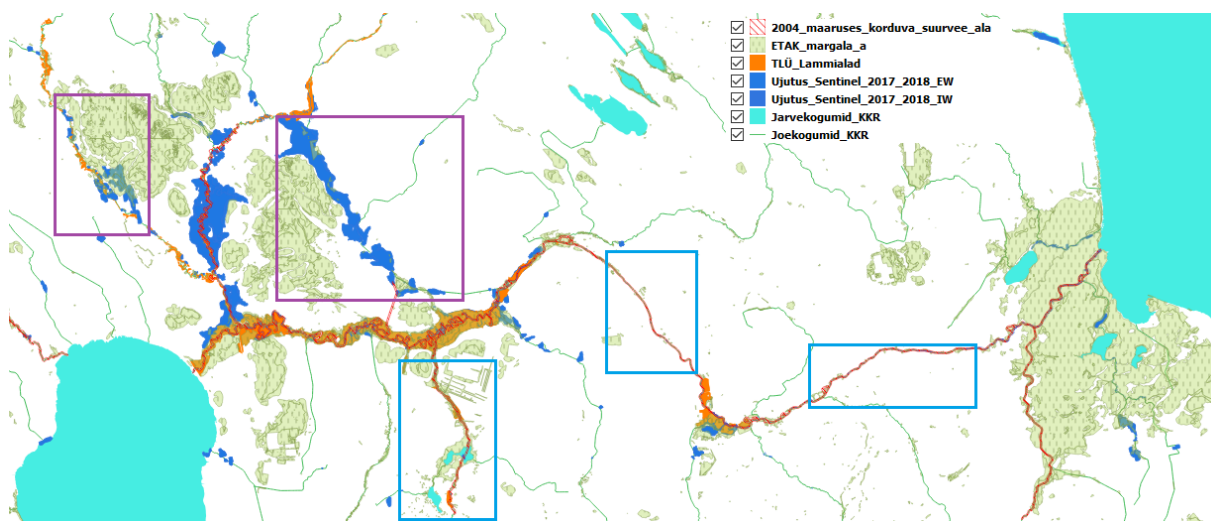
Järgnevalt analüüsime detailselt Keskkonnaministri 2004. aasta määruses nimetatud suurte üleujutusalaadega siseveekogude nimistut (edaspidi nimistu). Kasari jõe suudme ala analüüsisime peatükis 3.2 (joonis 3.6), seetõttu siseveekogude peatükis me nimetatud ala enam eraldi ei käsitle.

Joonisel 4.2 on toodud Soomaa piirkond erinevatel kaartidel. Antud jooniselt on näha, et Soomaal on täna nimistus Halliste ja Raudna jõe osad (Raudna jõgi (Viljandimaa) järvest suudmeni ja Halliste jõgi Tipu külast suudmeni), kuid Lemmjõgi ei ole nimistusse lisatud. Samas Sentinel-1 ja -2 piltidelt hinnatuna olid Lemmjõe kaldad korduvalt vee all 2017 ja 2018 aasta suurvee perioodil (joonisel 4.2 tähistatud lilla ringiga). Seetõttu soovime ka Lemmjõe lisada nimistusse ja võtta nimetatud ala töö II etappi, et täpsustada/muuta üleujutus ala ja selle piirid.



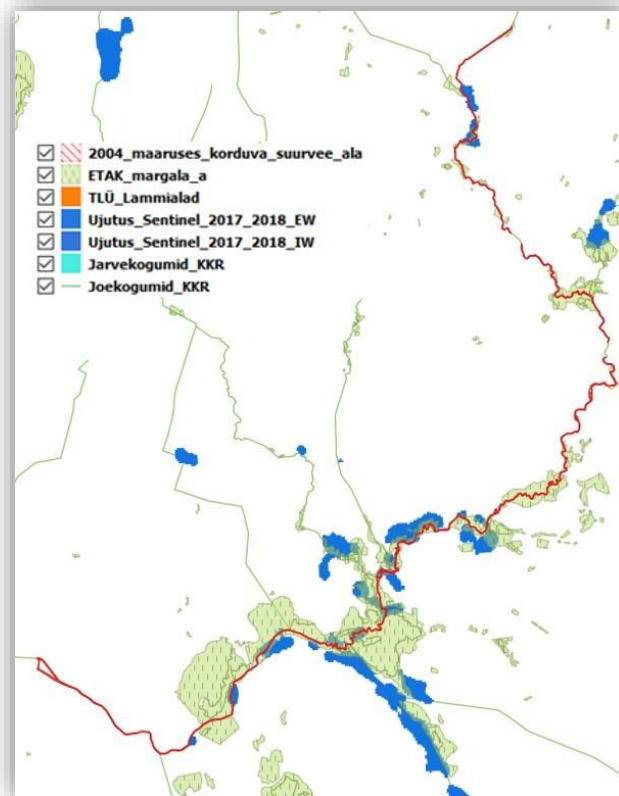
Joonis 4.2. Soomaa. Detailsem suurendus täna Suurte üleujutusosaladega siseveekogunimistus olevatest aladest.

Joonisel 4.3 on toodud 2004 a määruse nimistus olev Suur-Emajõe piirkond erinevatel kaartidel. Antud jooniselt on näha, et vaadeldaval alal on täna nimistus Suur-Emajõgi koos vanajõgedega ning Pedja, Elva ja Ahja jõgede osad (Pedja jõgi Utsali külast suudmeni, Elva jõgi Meeri peakraavist suudmeni, Ahja jõgi Lääniste sillast suudmeni). Satelliitpildid näitavad, et vaadeldavas piirkonnas on üle-ujutatud ka suured alad Põltsamaa ja Laeva jõe kallastel (joonis 4.3 märgitud lilla kastiga). Samas Suur-Emajõel esineb alasid (joonisel 4.3 märgitud sinise kastiga), millele üleujutusi satelliitpildidelt ei tuvastatud, samuti ei ole näidatud ala kaardistatud lammialana. Jõe osad, mis pole kaardistatud lammialadena ning kus ei esinenud üleujutusi hinnatuna satelliitpildidelt, soovitame jätta nimistust välja. Kokkuvõtvalt soovitame lisada Põltsamaa ja Laeva jõed nimistusse, kuid Suur-Emajõe osad, kus lammialasid (ja üleujutusi) ei esinenud, jätta nimistust välja ning võtta nimetatud ala töö II teise etappi, et täpsustada/muuta üleujutus ala ja selle piirid.



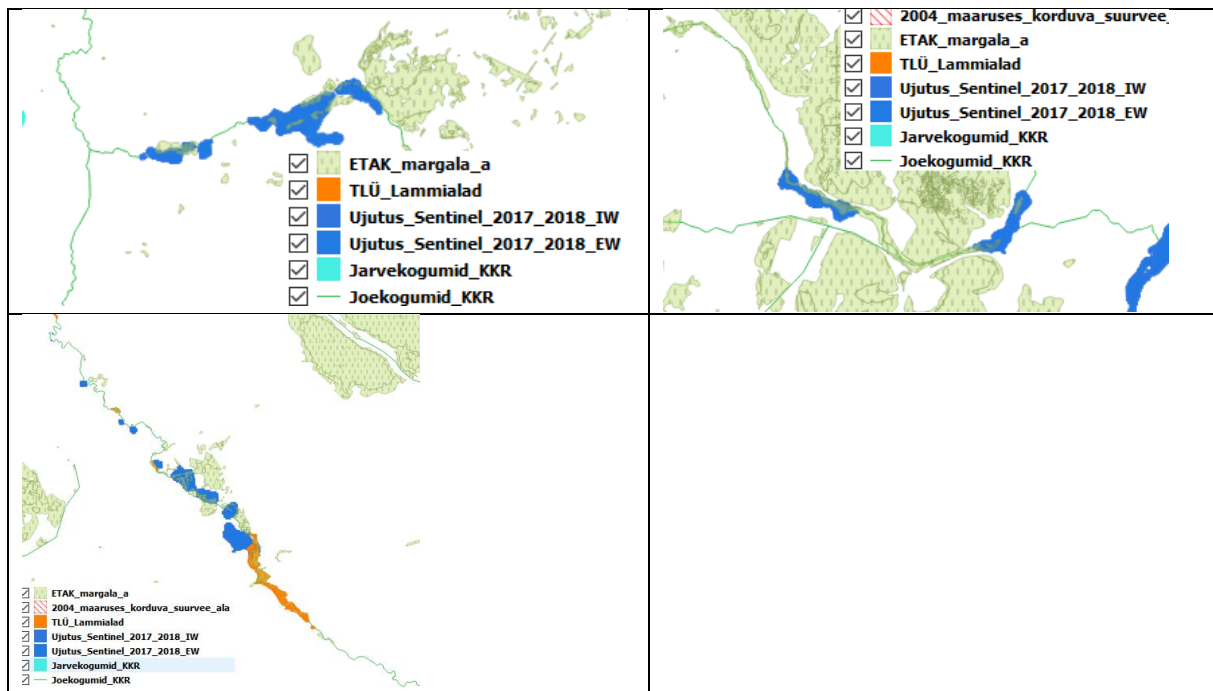
Joonis 4.3. Alam-Pedja. Detailsem suurendus täna suurte üleujutusosaladega siseveekogude nimistus olevatest aladest.

Joonisel 4.4 on näidatud Navesti jõe üleujutusala. Punasega märgitud osa on täna nimistus. Joonisel on näha, et osaliselt on nimistus olev ala üle-ujutatud satelliitpiltidel ja kaardistatud ka märgalana ETAK kaardil, kuid siinkohal tuleb mainida, et üle ujutatud jõe osa on väike ja sarnaseid piirkondi on Eestis mitmeid nt Riguldi jõgi, Salajõgi, Vihterpalu jõgi, Vasalemma jõgi, Gorodenka jõgi ja samuti Keila jõe osad (joonis 4.5 a, b, c, d, e). Seetõttu soovime kaaluda töö II etapis võimalust jätta Navesti jõgi nimistust välja, kuna analoogseid jõgesid on Eestis kümneid.



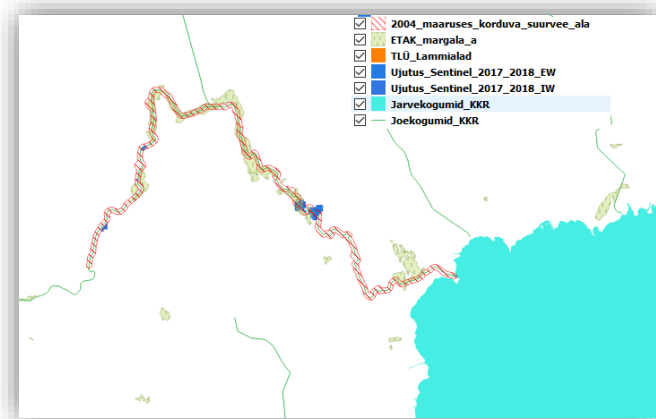
Joonis 4.4. Navesti (jõgi Loopere sillast Viljandi maanteeni). Detailsem suurendus täna suurte üleujutusaladega siseveekogude nimistus olevatest aladest.





Joonis 4.5 Navesti jõega sarnased suurte üleujutustega jõed a) Rigulidi ja Salajõgi b) Vihterpalu jõgi c) Vasalemma jõgi d) Goredenka jõgi e) Keila jõgi

Nimistus on täna ka Tännassilma jõe osa (joonis 4.6), kuid analüüsis ei olnud piirkonnas ühegi kaardi põhjal võimalik näha üleujutusi, seetõttu soovitame analüüsida töö II etapis võimalust jätta nimetatud ala nimistust välja.



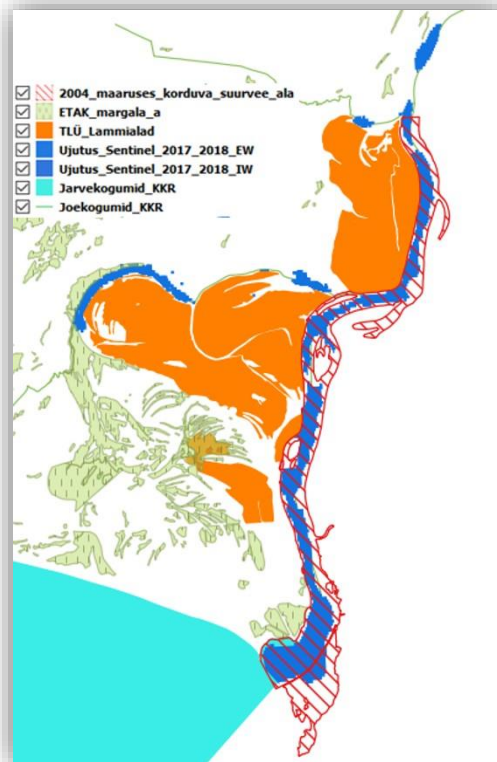
Joonis 4.6. Tännassilma (Jõeküllast suudmeni). Detailsem suurendus täna suurte üleujutusalaadega siseveekogude nimistus olevatest aladest.

Samuti on nimistus täna toodud ka Kargoja jõe osa (joonis 4.7), kuid ühegi kaardi põhjal pole võimalik näha laialdasi üleujutusi, seetõttu soovitame analüüsida töö II etapis võimalust jätta nimetatud ala nimistust välja.



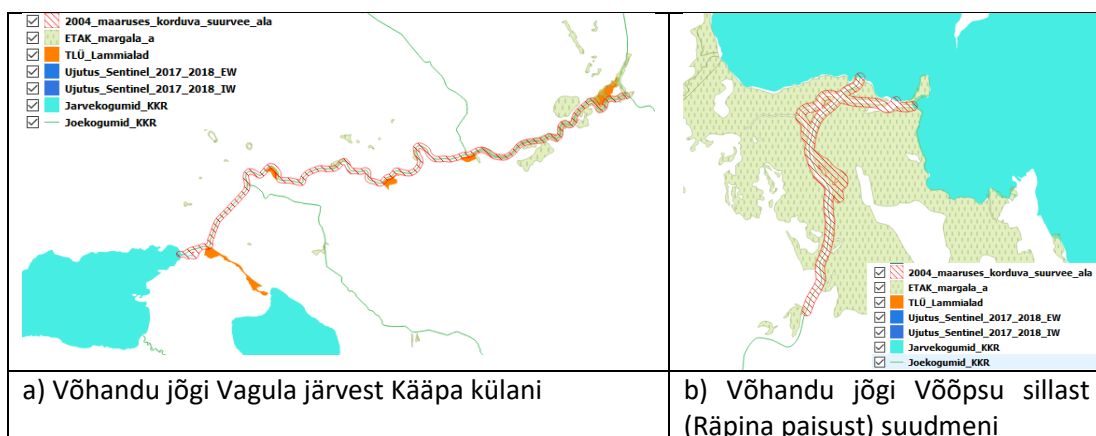
Joonis 4.7. Kargoja jõgi (Lagimuse jõest Koosalaane külani). Detailsem suurendus täna suurte üleujutusosaladega siseveekogude nimistuse olevatest aladest.

Narva jõe osa (Vasknarvast Karoli vanajõe suudmeni), näidatud joonisel 4.8, on lisatud nimistusse ning ühtlasi on antud ala kaardistatud nii ETAK kui TLÜ kaartidel märgalana. Samuti oli 2017–2018 suurveeolukorras satelliitpiltidelt hinnatud vee ulatus üle ETAK ametliku kaldajoone, seetõttu soovitate nimetatud ala jätta muutmata kujul nimistusse.



Joonis 4.8. Narva jõgi koos vanajõgedega Vasknarvast Karoli vanajõe suudmeni. Detailsem suurendus täna suurte üleujutusalaadega siseveekogudenimistus olevatest aladest.

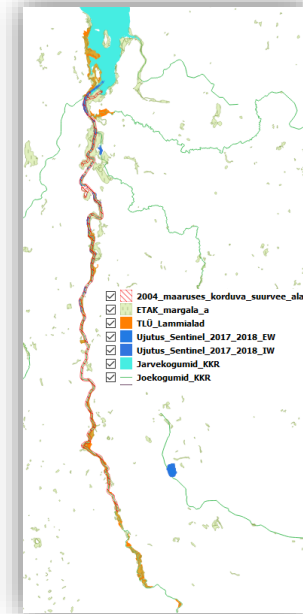
Võhandu jõe kaks osa (joonis 4.9 a, b) on täna nimistus. Jooniselt 4.9a on toodud Võhandu jõe osa Võhandu jõgi Vagula järvest Kääpa küalani, TLÜ ja ETAK kaartidel on nimetatud jõe osa kaardistatud osaliselt kui lammi/märgala, kuid üheltki satelliitpildilt suurvee olukorras ei olnud näha, et jõevesi oleks kaldajoonest kaugemal. Teine nimistus olev Võhandu jõe osa (Võõpsu sillast suudmeni) joonis 4.9b asub ETAK-i kaardi järgi märgalal. Siiski ei kinnita satelliitpildid laialdasi üleujutusi Võhandu jõe ning soovitate töö II etapis hinnata võimalust jätta Võhandu jõe osad nimistust välja.



Joonis 4.9. Võhandu jõe kaks osa. Detailsem suurendus täna suurte üleujutusalaadega siseveekogudenimistus olevatest aladest.

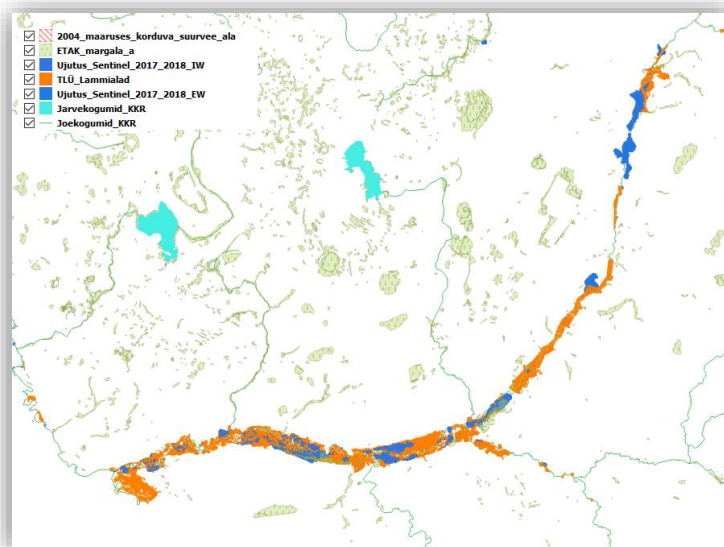
Väike Emajõgi (joonis 4.10) on täna nimistus. Jooniselt 4.10 on näha, et TLÜ kaartidel nimistus olev jõe osa on kaardistatud lammialana, kuid suurvee olukorras satelliitpiltidelt nimetatud piirkonnas laialdasi üleujutusi tuvastada ei olnud võimalik. Siiski soovitate võtta töö II etapis täiendavasse analüüsi, et

tuvastada, kas nimetatud piirkonnas esinevad üldse laialdased üleujutused, mis ulatuksid kaugemale kaardistatud kaldajoonest.



Joonis 4.10. Väike-Emajõgi Alamõisa külast suudmeni. Detailsem suurendus täna suurte üleujutusosaladega siseveekogude nimistus olevatest aladest.

Analüüsis eraldus selgelt teistest jõgedest Mustjõgi (joonis 4.11), kus satelliitpildidel eristus ulatuslik üleujutus jõe kallastel. Ühtlasi on nimetatud üleujutusala kaardistatud lammialana TLÜ kaartidel. Satelliitpildidel tuvastatud üleujutus Mustjõe piirkonnas ulatus ametlikust kaldajoonest (allikas ETAK) kaugemale kui 400 meetrit, seetõttu soovitame kaaluda Mustjõe nimetamist nimistusse töö II etapis.



Joonis 4.11. Suurendus Mustjõe üleujutus alast.

4.3 Kokkuvõte – suurte üleujutusalaadega siseveekogud

- **Hindamaks suurevee esinemist siseveekogude kallastel analüüsiti erinevaid kaardikihte: märgalade kaardid** (ETAK ja TLÜ Ökoloogia Instituut) ja **2017–2018 Sentinel-1 ja -2 satelliitpiltidelt** hinnatud vee ulatust. Nimetatud kaartidel on erinev koostamise meetodika, kuid nad iseloomustavad korduva vee esinemist siseveekogude kallastel. Märgala, vett või niisket ala iseloomustavate polügoonide kokkulangevuse analüüs nimetatud kaartidel võimaldab hinnata korduva üleujutuse esinemise tõenäosust ja ulatust siseveekogude kallastel.
- Esmalt vaadati analüüsis läbi Keskkonnaministri 2004 a määruses nimetatud suurte üleujutusalaadega siseveekogude nimistu
 - Nimistus olevatest aladest eristusid selgelt: **Kasari, Soomaa ja Alam-Pedja** piirkonnad, Nimetatud piirkonnad olid eristatavad kõikidel analüüsitud kaartidel (TLÜ, ETAK ja S-1 ja S-2 satelliitpildid) kui korduva suurveega alad. Lisaks täna nimistus olevatele jõgedele olid nimetatud piirkondades korduvalt üle ujutatud ka Lemmjõgi Soomaal ning Põltsamaa ja Laeva jõgede osad Alam-Pedja LKA-I. Samas esines ka jõe osasid, kus üleujutused ei olnud tuvastatavad. Seetõttu **soovitame töö teises etapis täpsustada/muuta täna nimistus olevate Soomaa ja Alam-Pedja piirkonna suurvee alad ja nende piirid.**
 - Suurte üleujutusalaadega siseveekogudenimistus oleva **Navesti jõe** (Loopere sillast Viljandi maanteeeni) kallastel oli satelliitpiltidelt tuvastatav korduv üleujutus ja piirkond oli kaardistatud märgalana ETAK kaardil, kuid **soovitame siiski töö II etapis analüüsida täiendavalt võimalust jätta nimetatud ala suurte üleujutusalaadega siseveekogude nimistust välja**, kuna sarnaseid märgalal paiknevaid jõgesid, mis on ajutiselt üle ujutatud on Eestis kümneid.
 - Suurte üleujutusalaadega siseveekogude nimistus olev **Narva jõe osa** (Narva jõgi koos vanajõgedega Vasknarvast Karoli vanajõe suudmeni) oli korduvalt kaardistatud märgalana (ETAK ja TLÜ) ning ka satelliitpiltidelt oli tuvastav korduv suurvesi nimetatud piirkonnas, seetõttu **soovitame nimetatud ala jätta nimistusse piire muutmata.**
 - Nimistus olevatel aladel: **Tänassilma** jõgi (Jõeküllast suudmeni), **Kargoja** jõgi (Lagimuse jõest Koosalaane külani), **Võhandu** jõgi (Vagula järvest Kääpa külani ja Võõpsu sillast suudmeni ning Räpina paisust suudmeni) kallastel ei olnud satelliitpiltidelt võimalik üleujutusi tuvastada või olid üleujutused väga väikesed. Nimetatud jõgede osad on küll mõnes kohas kaardistatud märgalana, kuid sarnaseid märgaladele jäävaid jõgesid on

Eestis sadu ning kõiki neid alasid nimistusse nimetada ei ole mõistlik. Lisaks arvestades asjaolu, et nimetatud piirkonnad on väga väikesed ja satelliitpiltidelt suurvee olukorras üleujutusi tuvastada võimalik ei olnud, **soovitame jätta need alad suurveega alad nimistust välja.**

- **Väike Emajõgi** (Alamõisa külast suudmeni) on suurte üleujutus aladega siseveekogude nimistus, kuid satelliitpiltidelt nimetatud piirkonnas laialdasi üleujutusi tuvastada võimalik ei olnud. Samas on TLÜ lammialade kaardil piirkond märgitud kui oluline lammiala. Soovitame võtta töö II etapis **täiendavasse analüüsi kas nimetatud piirkonnas erinevad üldse laialdased üleujutused.**
- Analüüsist tuli välja **Mustjõe** osa, mis satelliitpiltidel oli korduvalt üle ujutatud ja samuti TLÜ kaardil oli märgitud kui lammiala. Nimetud jõe osa on väga pikk, seetõttu **soovitame kaaluda nimetatud ala määramist suurte üleujutusalaadega siseveekogude nimekirja.**
- Samuti tuleb välja tuua, et satelliitpiltidelt oli võimalik hinnata väga mitmetes piirkondades väikeseid korduvaid üleujutusi erinevate siseveekogude kallastel. Kõiki neid alasid pole ilmselt mõistlik lisada seadusandlusesse, kuid koostatud kaardikiht võiks olla KOV–le taustainfoks detail- ja üldplaneeringu läbiviimisel, hindamaks alasid, kuhu suurveeperioodil koguneb ajutiselt vesi. Lisaks on TLÜ Ökoloogia Instituudi 2012 a. töös kaardistatud lammialad siseveekogude ümber, nimetatud kaart võiks samuti olla üheks täiendavaks infoallikas KOV-le detailplaneeringu läbiviimisel. Et uuringu käigus koostatud ja kasutatud kaardimaterjal oleks kättesaadav ka KOV-le koostasime kaardirakenduse, kus on võimalik vaadata veebikaardil: https://qgiscloud.com/agnea/korgvee_tase_maaramine

Kasutatud materjalid

Du, Y., Zhang, Y., Ling, F., Wang, Q., Li, W., Li, X. 2016. Water Bodies Mapping from Sentinel-2 Imagery with Modified Normalized Difference Water Index at 10-m Spatial Resolution Produced by Sharpening the SWIR Band. *Remote Sens.*, 8,354.

Keskkonnaministeerium 2012. Üleujutusohuga seotud riskide esialgne hinnang.

<https://envir.ee/media/834/download>

Keskkonnaministeerium 2019. Üleujutusega seotud riskide hindamine. Ajakohastamine.

<https://envir.ee/media/828/download>

Keskkonnaministri määrus 28.05.2004 nr 58. Suurte üleujutusosaladega siseveekogude nimistu ja nendel siseveekogudel kõrgveepiiri määramise kord. <https://www.riigiteataja.ee/akt/765431>

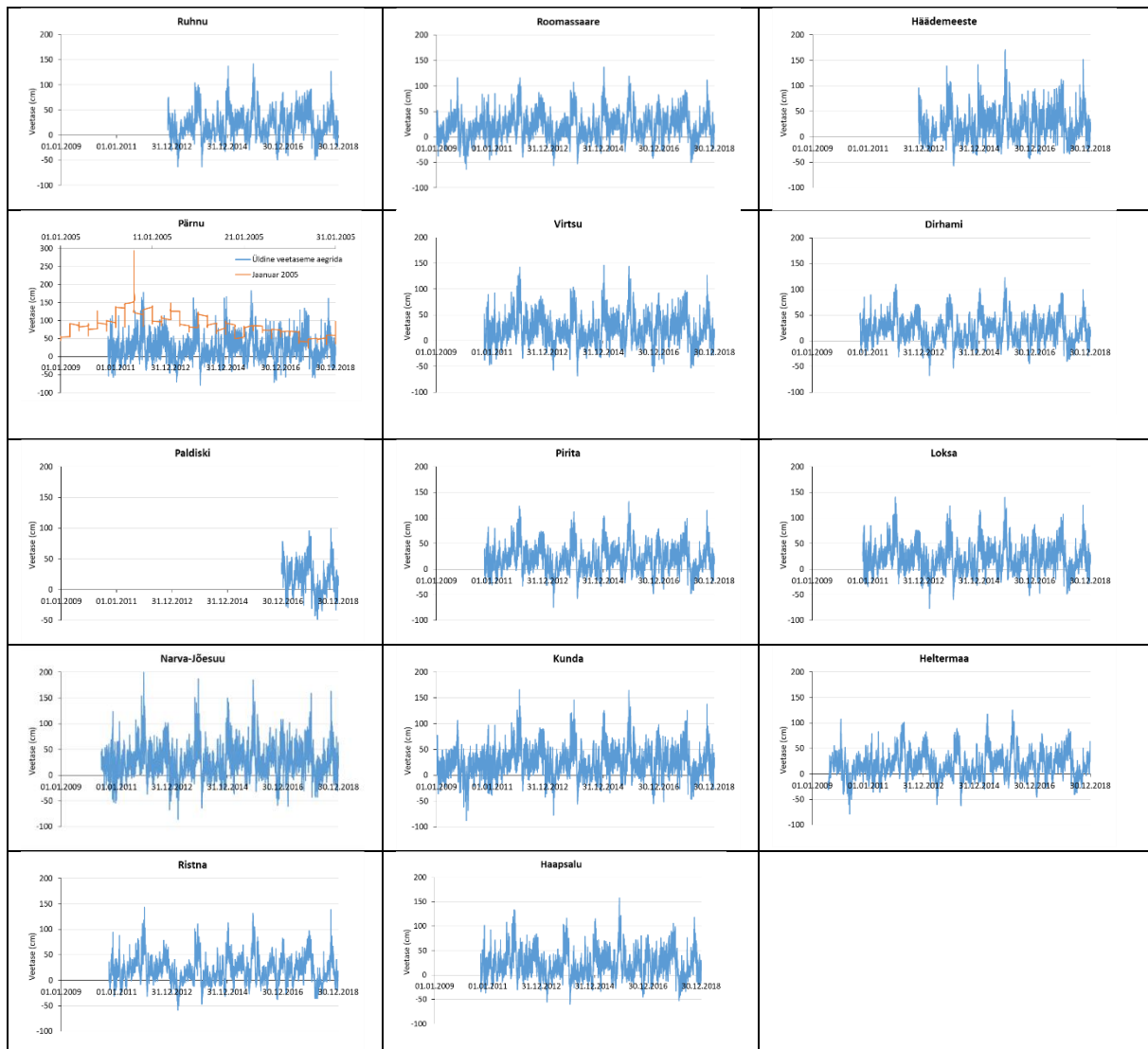
Lagemaa, P. jt. 2018 Taresta lahe veetasemete aegriidade modelleerimine ja tõenäosusstsenaariumide arvutamine ning Tallinna lahe veetasemete tõenäosusstsenaariumite hinnangu uuendamine, Tallinna Tehnikaülikooli Meresüsteemide Instituut, 2018

Lagemaa, P. jt. 2013. Tallinna Linna Haabersti, Põhja-Tallinna ja Kakumäe Linnaosade Meretasemete Stsenaariumite Modelleerimine. Tallinna Tehnikaülikooli Meresüsteemide Instituut Tallinn, 29 lk

Lode, E. jt 2012. Märgalade seisundi hindamine ja keskkonnamärgide määramine, Tallinna Ülikooli Ökoloogia Instituut, 2012

LISAD

Lisa 1. Veetaseme aegread rannikujaamades 2009–2018 (kõrgussüsteem EH2000).



Lisa 2. Veetaseme aegread vooluveekogude mõõtejaamades 2015–2018 (kõrgussüsteem EH2000).

