Suurte üleujutustega siseveekogude nimistu ja kõrgveepiirid

Aruanne. Riigihange nr: 223733.

Kristjan Piirimäe, Mari Raidla, Evelyn Uuemaa, Agne Peetersoo, Kristo Kiiker, Triin Reitalu

Sisukord

1. Sissejuhatus 2
2. Alused ja metoodika suurte üleujutusaladega siseveekogude nimistu muutmiseks 5
2.1. Lammide looduskaitseline väärtus 5
2.2. Varasemad uuringud ja lahendused 8
2.3. Nimistusse määramise põhimõtted 9
2.4. Kartograafilised lähteandmed 10
2.5. Kontseptuaalne nimistu täiendamise skeem 11
2.6. Mudeli läviväärtused ja konkreetsed lahendid 13
2.7. Tehniline lahendus: GIS sõel nimistu täiendamiseks 14
3. Esialgne suurte üleujutusalade nimistu 17
4. Alused ja metoodika suurte üleujutusaladega siseveekogude kõrgveepiiri määramiseks 26
4.1. Senine lahendus 26
4.2. Muu maailma praktika 26
4.3. Alused ja põhimõtted 26
4.4. Hüdroloogiliste seireandmete analüüs 32
4.5. Vooluhulkade GIS modelleerimine 35
4.6. HEC-RAS mudeli rakendamine kõrgveepiiri määramiseks 40
4.7. Lõpptöötlus 45
5. Suurte üleujutusaladega siseveekogude nimistu kõrgveepiirid 47
5.1. Analüüsi kitsaskohad ja tulemused 47
5.2. Hüdroloogilised trendid 48
5.3. Analüüsi väljund 51
5.4. Üleujutusalad 56
6. Suunised metoodika ajakohastamiseks 58
Viited 60
Lisad 63

1. Sissejuhatus

Hetkeolukord

Looduskaitseseaduse § 35 lg 1 ja veeseaduse § 118 sätestavad veekogude kaldal inimtegevust piiravad vööndid, mille eesmärk on vähendada inimmõju veekogudele ja veekogude kallastele. Kui valdavalt arvestatakse nimetatud vööndite ulatust Eesti topograafia andmekogu põhikaardile kantud veekogu veepiirist, siis selles üldreeglis on mõningad erisused. Üheks erisuseks on suurte üleujutusaladega siseveekogud, mille puhul kitsenduste ulatust arvestatakse kõrgveepiirist ehk üleujutatavast alast. Looduskaitseseaduse § 35 lg 3 alusel kehtestatud keskkonnaministri 2004. aasta määrusega nr 58 on määratud **suurte üleujutustega siseveekogude nimistu** ja nende siseveekogudel kõrgveepiiri määramise kord (https://www.riigiteataja.ee/akt/765431). Nimistus on kokku 16 veekogu, millest mõned on määratud kogu ulatuses, teised aga teatud lõikudena. Määrus on aga vastuoluline ja selle rakendamisel esinevad takistused.

Nimistus olevatel veekogudel on määruse järgi kõrgveepiiriks alaliselt liigniiskete alluviaalsete soomuldade (praktikas kasutatavatel Eesti suuremõõtmelistel mullastiku kaartidel tähistatud kui lammi-madalsoomullad ehk AM erimiga mullad) levialapiir veekogu veepiirist arvates. Osades kohtades aga, kus mullakaardi järgi peaks olema tegemist alaliselt liigniiskete alluviaalsete soomuldadega, neid tegelikkuses ei leidu. Osade määruses märgitud veekogude kallastel liigniisked AM erimiga soomullad mullakaardi järgi aga üldse puuduvad. Samuti on määruses viidatud mitmele kehtetule või ruumiliselt liiga üldisele toponüümile nii külade kui veekogude osas, mistõttu mõne lõigu puhul võib jääda arusaamatuks, millisest konkreetsest kohast on õige lugeda suure üleujutusega veekogulõigu otspunkti.

Kehtiv määrus ignoreerib teisi lammimuldasid nagu näiteks lammi-gleimullad (AG) ja lammi-turvastunud mullad (AG1). Kui aga neid arvesse võtta, siis siiski, lammimuldade järgi on võimalik kaardistada vaid niisuguseid üleujutusalasid, kus toimub alluviaalsete heljuvate setete kuhjumine. Üleujutusaladel, kus kõrgvee ajal setete kuhjumist ei toimu, ei saa lammimuldi kujuneda. Kõrgvee ajal on jõgedel kiirevoolulised kohad, kus võib toimuda hoopis ulatuslik pinnase erosioon (Iwasaki *et al.*, 2016).

Suurte üleujutusaladega siseveekogude nimistu on üpris piiratud. Sellest puuduvad näiteks Mustjõgi ja enamikud Soomaa jõgedest, mis on ulatuslike üleujutusaladega. Nimekirja koostamise alused, sh kriteeriumid ja lävendid, on ebaselged. Puudub ühtne ja kogu Eestit kattev süsteem nimekirja täiendamiseks.

Ülaltoodud põhjustel vajab suurte üleujutustega siseveekogude nimistu ülevaatamist, metoodiliselt ühtset lähenemist ja ajakohastamist.

Üleujutusalade roll

Perioodiliselt üleujutatavad jõekaldad on lammid. Need pakuvad olulisi ökosüsteemiteenuseid, sh veetaseme ja vooluhulga stabiliseerimine, süsiniku sidumine, vee puhastamine, elupaigad ja elurikkus ning puhkemajandus (EEA, 2020). Need teenused töötavad eelkõige hästi säilinud looduslikel lammidel. Seetõttu on üleujutusalasid tarvis kaitsta inimmõju eest.

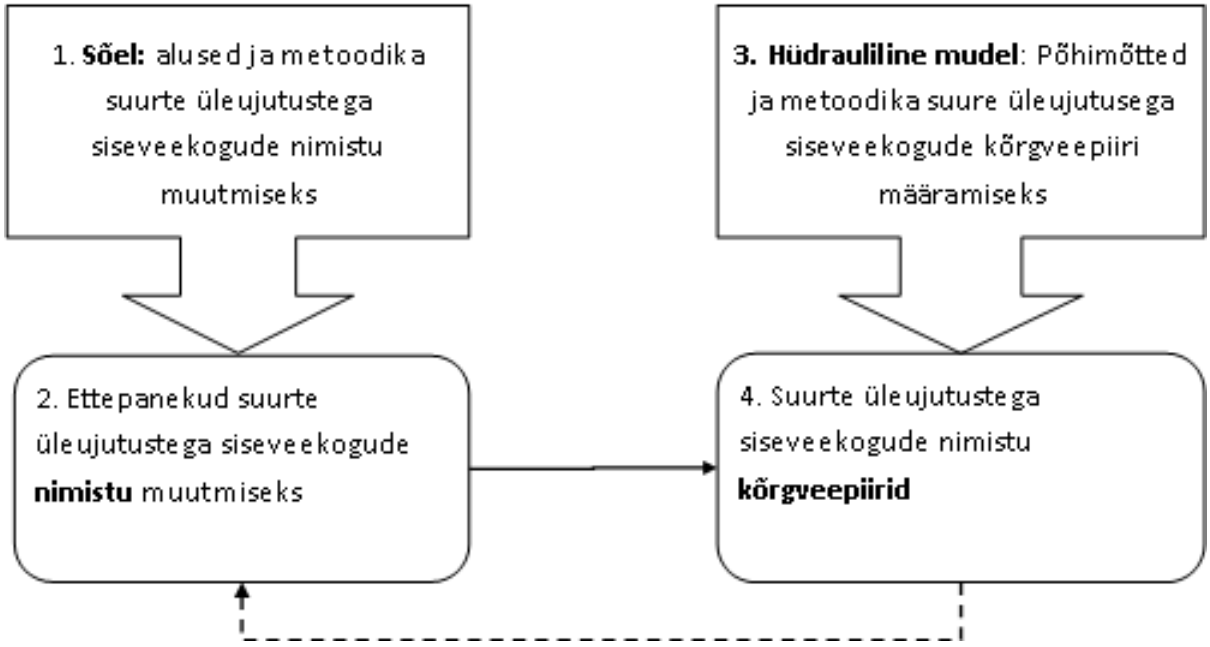
Senised uuringud

Lode (2012) lammialade kaardil ja kaasnevas aruandes on näidatud ca 45 olulist lammimärgala üle Eesti. Sipelgas & Arikas (2019) analüüsisid Eesti siseveekogude üleujutusalasid satelliidipiltide põhjal ajaperioodist 2017 kuni 2018. Analüüsi järeldustes soovitati jätta suurte üleujutusalade nimistust välja

Navesti j., Tänassilma j., Kargoja j. ja Võhandu j. Analüüsis leiti samas suurvesi mitmel määruse nimekirjast väljas olevatel jõgedel: Mustjõgi, Lemmjõgi ning Põltsamaa ja Laeva j. lõigud Alam-Pedja LKA-l. Need soovitati täiendavalt nimistusse lisada.

Töö eesmärgid ja raamistik

Käesoleval tööl oli vastavalt lepingu tehnilises kirjelduses tellitavale sisule viis omavahel seotud tulemit (Joonis 1).



Joonis 1. Töö eesmärkide omavahelised seosed

(1) Alused ja metoodika suurte üleujutustega siseveekogude nimistu muutmiseks.

Keskkonnaministri 2004. aasta määrusega on kehtestatud suurte üleujutustega siseveekogude nimistu, kuid tarvis on aluseid ja metoodikat selle täiendamiseks ja muutmiseks. Selleks oli vajalik luua **sõel**, mis analüüsib suuremat hulka üleujutusalasid ning valib nendest nimistusse sobivaimad: suuremad ja looduskaitseliselt olulisemad.

(2) Ettepanekud suurte üleujutustega siseveekogude nimistu muutmiseks

Kasutades eelmist tulemit – sõela – tekitati uus suurte üleujutustega siseveekogude nimistu. Sõel näitab kohad või piirkonnad, kus on looduskaitseliselt olulised lammialad. See nimekiri aga jäi vaid esialgseks, sest järgmistes etappides, kõrgveepiiride täpsustamisel, nimekiri muutus.

(3) Põhimõtted ja metoodika suure üleujutusega siseveekogude kõrgveepiiri määramiseks

Suurte üleujutusaladega siseveekogude nimistus on vaid kohad ning sõel näitab kätte vaid nende kohtade esialgsed piirid. Kõrgveepiiri täpsemaks määramiseks rakendati ning kohandati Eesti olude ja ülesande täitmiseks vastavaks temaatiline **hüdrauliline mudel**. Lisaks rakendati teisi, abistavaid töövahendeid ja andmeid kõrgveepiiri määramiseks.

(4) Suurte üleujutustega siseveekogude nimistu kõrgveepiirid

Kasutades kõiki eelmisi tulemeid – nii üleujutusalade nimistut kui hüdraulilist mudelit – määrati nimistusse jäävate alade kõrgveepiirid. Kui analüüsi tulemusena osutusid osad alad liiga väikesteks, et neid nimistusse jätta, siis nimistut lühendati.

(5) Suunised metoodika ajakohastamiseks

Arvestades, et tehnoloogia ja andmebaasid uuenevad, töötati välja suunised, kuidas edaspidi nimistut täiendada ja kõrgveepiire andmete täpsustumisel uuendada.

Uurimismeeskond

Töö viisid ellu ruumiandmete ja hüdroloogia ekspert Kristjan Piirimäe (PhD), ökoloogia ekspert Triin Reitalu (PhD), ruumiandmete ekspert Evelyn Uuemaa (PhD), planeeringute ekspert Agne Peetersoo (MSc), keskkonnaekspert Mari Raidla (MSc) ja projektijuht Kristo Kiiker (MSc).

Elluviimise aeg

Töö teostati vahemikus september 2020 kuni november 2021.

2. Alused ja metoodika suurte üleujutusaladega siseveekogude nimistu muutmiseks

2.1. Lammide looduskaitseline väärtus

Lammielupaigad

Jõed on palju laiemad kui vaid jõesäng. Jõesüsteemi osaks on ka kallastega piirnevad alad, mis on veega kaetud vaid üleujutuse perioodil. Niisugused lammialad on puhvriks valgla ja jõe vahel.

Looduslikes tingimustes on jõgede kaldad ja lammid kõrge elurikkusega, nn elurikkuse kuumad punktid (Schindler *et al.,* 2016). Väikeseskaalaliselt liigirikkuselt (ruutmeetrite skaalas) on luhad suhteliselt liigivaesed, liigirikkus on kõrge pigem maastiku skaalas (terve lammiala skaalas). Selle kõrge liigirikkuse peamiseks põhjuseks on asjaolu, et lammid pakuvad mitmeid strukturaalselt ja funktsionaalselt erinevaid elupaiku, mida tekitab eelkõige vee vool (Ward *et al*., 1999). Sageli kirjeldatakse lamme kui elupaikade mosaiiki, mis erinevad üksteisest vanuse, niiskuse, setete, produktsiooni, bioloogilise mitmekesisuse, liikide ohtruse, liigilise koosseisu ja elustiku suktsessioonifaasi poolest (Geilen *et al*., 2004). Mosaiiksuse aluseks on alluviaalsed setted, mis jagunevad tüüpiliselt suuruse järgi jõega paralleelsete ribadena (Pork 1959, Metsoja 2020). Niisugust elupaigamosaiiki asustavad paljud liigid, kelle hulgas on nii elupaiga suhtes vähem valivaid generaliste kui elupaigaspetsiifilisi spetsialiste, nii maismaal kui vees elavaid liike.

Eestis paiknevad lammid tasastel aladel. Iseloomulik on jõesängi looklemine, sest vee vool paigutab setteid pidevalt ümber (Metsoja, 2020). Kohati võib jõesäng muutuda, kui jõevool murrab mujalt läbi ja nii tekivad soodid ehk vanajõed.

Vastavalt lammil paiknevale maakattele võib lammid jaotada lammimetsadeks, lamminiitudeks, soovikuteks ja muudeks lammialadeks. Lammimetsade alla kuuluvad sellise jaotuse korral ka üleujututavad pajustikud, lammipõõsastikud ja -noorendikud ning lamminiitude alla ka lammikarjamaad. Soovikud kitsamas tähenduses on niisugused lammialad, kus ei toimu niitmist ega karjatamist, kuid mis pole ka metsa all. Lammipajustikud, -põõsastikud ja -soovikud on praeguses olukorras looduskaitseliselt pigem vähem väärtuslikud kooslused, samas kui vanad lammimetsad ja hooldatavad lamminiidud on arvestatud väärtuslike koosluste hulka.

Lammimetsad. Lammimetsade mullad on tüüpiliselt kihilised: orgaanilise aine rikkad kihid vahelduvad mineraalsete kihtidega. Eesti haruldasemate metsakoosluste hulka kuuluvad jõesängiga rööbiti kulgevad **laialehised lammimetsaribad** (Natura elupaigatüüp 91F0) nt. Pedja, Halliste, Raudna, Lemmjõe, Poruni ja Jänjõe kallastel. Muld on seal rikastatud suureteraliste jõesetetega. Sageli moodustub ülejäänud lammist kõrgem kaldavall, mis jääb tulvavee alla põgusamalt. Nendel kasvavad laialehised puud: tamm, saar, pärn, jalakas, künnapuu. Puudel ja põõsastel väänleb humal. Niisugust metsa on nimetatud uhtlammimetsaks. Eestis on uhtlammimetsad äärmiselt haruldased, esinedes näiteks Alam-Pedja LKA-l ja Soomaa RP-s. Lammimetsade madalamatel osadel aga kasvavad lammi-**lodumetsad** (Natura elupaigatüüp 91E0), mida esineb peamiselt Pedja, Koiva, Mustjõe, Pärnu, Halliste, Raudna, Lemmjõe, Võhandu, Piusa, Poruni ja Jänijõe ääres. Lodumetsad võivad jääda jõe poolt vaadates uhtlammimetsa taha.

Lammimetsad pakuvad elupaika muuhulgas järgmistele haruldastele liikidele: lindudest suur-konnakotkas, metstilder, valgeselg-kirjurähn, hallpea-rähn; liblikatest jalaka-kannustiib, kolmvööt-kollaöölane (Paal, 2007)

Lamminiidud. Kõige lopsakama taimestikuga Eesti niidukooslused on lamminiidud (Natura elupaigatüüp 6450) ehk luhad. Kaitset väärivad need luhad, mis pole kuivenduskraavidest oluliselt mõjustatud, tugevasti võsastunud ega metsastunud. Eestis on lamminiidud ulatuslikumalt püsinud suuremate jõgede – Emajõgi, Põltsamaa, Pedja, Kasari, Halliste, Raudna, Piusa, Koiva, Mustjõgi, Narva ülemjooks – ääres, samuti järvede (Peipsi jt.) kallastel (Paal, 2007).

Üleujutused esinevad lamminiitudel sagedamini lume sulamise aegu (Metsoja, 2020). Tasase reljeefiga suurte jõgede, näiteks Emajõe luhtadel võib üleujutus kesta enamuse aastast. Väiksemate jõgede ääres võib esineda ägedate vihmasadudega kaasnevat suvist üleujutust. Seoses kliimamuutustega on kevadised suurveed jäänud harvemaks ja madalamaks.

Suurematel Eesti luhtadel eristatakse kolme vööndit: sängiäärne luht, keskluht ja terrassiäärne luht (Pork, 1959). **Sängiäärsele** võrdlemisi kiirevoolulisele luhale ladestuvad paksu korrana liivased setted, mis moodustavad kihilisi lammimuldi. Väikse voolukiirusega **keskluhale** ladestuvad tolmjad ja ibejad setteosakesed, mis kujundavad väga viljakaid lammimuldi. Viimaks, **terrassiäärsele luhale** settib kõige vähem ja kõige peenemad osakesed. Mineraalainerikaste põhjavete tõttu on see osa luhast aga pidevalt liigniiske. Seetõttu on terrassiäärne luht sarnane madalsooga.

Eesti luhtadele on omane madal, käsitsi kaevatud kraavitus (Metsoja, 2020).

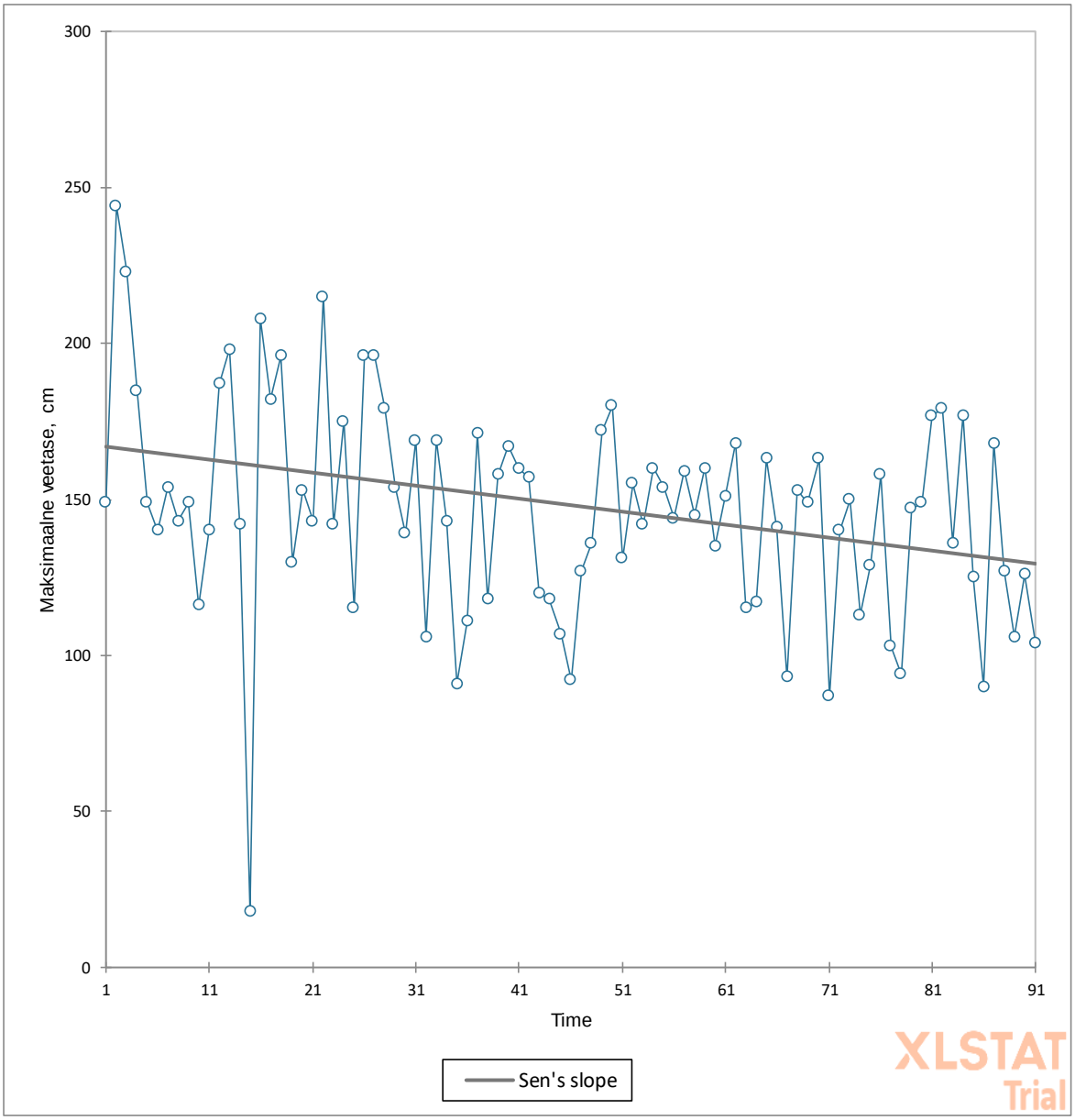
Lamminiidud pakuvad elupaika muuhulgas niisugustele haruldastele taksonitele nagu suur- ja väike-konnakotkas, rohunepp, sookurg, must-toonekurg, kalakotkas, väike-laukhani, tutkas, nahkhiired, harilik kobarpea, pehme koeratubakas (Metsoja, 2011). Vanajõgede ja luhtadega on seotud Eestis umbes 40 kalaliiki. Vanajõed ja luhad on paljudele neist olulisteks kudealadeks.

Muud üleujutatavad alad. Lisaks kaardistatud väärtuslikele elupaikadele ja liikide leiukohtadele on looduskaitseliselt olulised nende vahele jäävad kõrgveealad, mis tagavad lammiökosüsteemide sidususe. Näiteks, soovikud, mida pole elupaikadena väärtustatud, võivad toimida rohekoridoridena.

Looduslike lammide kadu

Euroopa Liidu lammidest on 70-90% ökoloogiliselt degradeeritud eelkõige üleujutuskaitse, jõgede sirgendamise, maastiku killustamise, põllumajandusliku kasutuse ja linnastumise tulemusena (EEA, 2016). Lääne- ja Põhja-Euroopas on lammimetsad peaaegu täielikult hävinud (Paal, 2010).

Tänapäeval ohustab meie ökoregiooni lamme lisaks kliima soojenemine, mille tulemusena lühenevad ja alanevad kevadised üleujutusperioodid (Keskkonnaamet, 2015). Näiteks, Pedja jões alanes maksimaalne veetase 91 aasta jooksul, vahemikus 1930 – 2020 keskmiselt ligi 0,4 cm aastas, kokku ca 38 cm (Joonis 2). Samal ajal ahenesid arvatavasti üleujutusalade pindalad ja alanes kõrgvee sügavus. Võimalik et mullastiku kaardile märgitud lammimuldade aladest osad on vaid ajaloolised lammialad, mis kujunesid toonastes hüdroloogilistes oludes. Tänapäeval ja tulevikus ei tarvitse nendele aladele kõrgvesi enam sellisel määral jõuda, et tagada lammimärgala säilimine. Samal ajal, suureneva sademete hulga tingimustest jõgede summaarne vooluhulk pigem kasvab.



Joonis 2. Aasta maksimaalne veetase Pedja jões, Tõrve lävendis

Eestis on võrreldes Lääne-Euroopaga surve lammide hävitamisele väiksem. Lammide linnastamine või muutmine põllumajanduslikuks alaks on sobivamate maade kättesaadavuse kontekstis võrdlemisi kulukas. Siiski, suur osa Eesti jõgedest on kuivendusvõrkudest oluliselt mõjutatud. Lammimetsad on Eestis looduslikena säilinud vähestes kohtades, kus jõgedel on ulatuslik valgala ning neid pole süvendatud ega õgvendatud (Paal, 2010).

Alam-Pedja näitel, **lammimetsale** otsest ohtu ei nähta (Keskkonnaamet, 2015). Samal ajal on oluline säilitada olemasolev veerežiim, takistada mõjupiirkonnas olevate alade kuivendamist ja teisi tegevusi, mille tagajärjel võib jõgede veerežiim muutuda.

Luhtade puhul on suurimaks ohuteguriks hoolduse lakkamine ning alade võsastumine ja liigirikkuse langus (Metsoja, 2020).

Meetmed

Kui Lääne-Euroopa on sunnitud tegelema hävitatud lammide taastamisega, siis Eestis on peamiseks lahenduseks looduslike lammialade kaitse. Oluline on vältida edasist lammialade tehislikustamist, sh vee tõkestusrajatiste ehitamist, voolusängi modifitseerimist, maapinna täitmist, kuivendamist jms.

Ühe võimaliku kaitsemeetmena Eesti lammidel on soovitatud kraavide sulgemist, et taastada lammi ja selle looduslike elupaikade toimimine (Keskkonnaamet, 2015).

Luhtade kaitse tähendab eelkõige nende järjepidevat hooldamist – niitmist või karjatamist. Vajadusel eelneb sellele taastamine.

2.2. Varasemad uuringud ja lahendused

Märgalade seisundi hindamine ja keskkonnaeesmärkide määramine

Oluliste lammimärgalade identifitseerimine

Lode (2012) lammialade kaardil ja kaasnevas aruandes on näidatud ca **45 olulist lammimärgala** üle Eesti, kusjuures osad neist koosnevad mitmest isoleeritud alast (polügoonist). Analüüsi aluseks oli mullastiku kaart, kuid lamme on käsitletud ükshaaval, kohapõhiselt. Oluliste lammimärgalade valiku peamiseks kriteeriumiks oli lisaks lammialade pindalalise katvuse esinduslikkus: oluliseks loeti suuremad alad, kus kasvasid olulised taimeliigid ja inimmõju oli väike. Erandina loeti oluliseks ka niisuguseid lammialasid, mis palistasid looduslikus sängis voolavat jõge kitsa, kuid pika ribana.

Kaart toob esile eelkõige kaitsealadel paiknevad suured, niidetavad lamminiidud, sh Matsalu ja, Soomaa RP-s, Alam-Pedja ja Järveküla LKA-l, Koiva-Mustjõe, Piusa jõe ürgoru ja Struuga MKA-l, Õhne j. ääres.

Teiste märgalade inventeerimine

Lode (2012) töös on osad tõenäolised lammialad paigutatud kategooriatesse 'järvemärgalad' ja 'vooluveekogumitega seotud märgalad'. Osad neist paiknevad suures osas lammi- või rannikumuldadel või on suurte üleujutusalade ametlikus nimistus.

Järvemärgaladest ehk järvega piirnevatest märgaladest enamus on tekkinud järve maastumise teel. Sellised märgalad ei kvalifitseeru enamuses käesoleva aruande loogika järgi üleujutusaladeks, sest esiteks on need niigi aastaringselt märjad ja teiseks ei tarvitse seal esineda suuri ja ajutisi veetaseme tõuse. Siiski, osad järvemärgalad funktsioneerivad suures osas üleujutusaladena käesoleva aruande definitsiooni kohaselt. Nende hulgas on niisugused merevee üleujutusalad nagu Mullutu-Suurlahe äärne kaldamärgala pindalaga 29 km^2 ning Sutlepa mere äärne kaldaroostik/kaldamärgala üldpindalaga 5,6 km^2. Tõsi, viimase puhul järvemärgala välispiir lõpeb seal, kus algab rannikumuldade piir ehk siis lammiala jääb pigem Sutlepa kaldamärgala taha.

Vooluveekogumitega seotud märgaladest kümne juurde on märgitud, et seal on lammimuld. Lisaks on veel mõned märgalad, mida on märkuste lahtris seostatud lammialadega.

Suurte üleujutusaladega siseveekogude ja mererannikul korduva kõrgvee taseme poolt mõjutatud alade määramine

Sipelgas & Arikas (2019) analüüsisid Eesti siseveekogude üleujutusalasid peamiselt Sentinel-1 ja -2 satelliidipiltide põhjal ajaperioodist 2017 kuni 2018. Sel perioodil esines kaks peamist kõrgveeperioodi: 2017 oktoober – detsember ning 2018 aprill. Peamiseks analüüsimeetodiks oli piltide põhjal kõrgvee

olemasolu visuaalne hindamine. Analüüsi toetasid ETAK märgalade kaart ning Lode (2012) lammialade kaart.

Sipelga & Arika (2019) analüüs langes võrdlemisi veevaesesse perioodi. Aastad 2017 ja 2018 jäid kevadise vooluhulga maksimumi arvestuses mõlemad alla keskmise. Hüdroloogilise seire (EMHI, 1927 kuni 2019) andmete analüüs Tarvastu, Pajupea ja Luguse lävendites näitab, et sõltuvalt vaadeldavast lävendist ja vaatlusperioodi pikkusest ületab kevadine kõrgvesi 2017 kuni 2018 aasta maksimumi 44 kuni 79% tõenäosusega. Seega, satelliidipiltide järgi kaardistatud suurvesi iseloomustab eelkõige iga-aastast olukorda, kuid jätab välja need lammialad, kuhu suurvesi jõuab harvemini, näiteks, keskmiselt kahe aasta tagant. Viidatud analüüs tuvastas tõenäoliselt eelkõige tasase reljeefiga suurte jõgede äärsed lammid, kus üleujutus võib kesta enamuse aastast (Metsoja, 2020). Analüüs võis jätta kahe silma vahele veidi väiksemate jõgede või reljeefsema pinnamoega lammid.

Analüüs näitas, et osadel määrusejärgses nimistus olevatel jõelõikudel puudus vaadeldud perioodil suur üleujutus. Seetõttu soovitati jätta suurte üleujutusalade **nimistust välja Navesti j., Tänassilma j., Kargoja j. ja Võhandu j.** Osadel nendest jõgedest oli suurvesi „märgaladel“ (mõeldud on eelkõige madalsoid) ning analüüsis leiti, et niisuguseid üleujutusi pole mõistlik nimistusse jätta.

Lahtiseks jäi küsimus, kas Väike-Emajõe suudmealal esineb korduvat suurvett.

Analüüsis leiti suurvesi järgmistel määruse nimekirjast väljas olevatel jõgedel: **Mustjõgi, Lemmjõgi ning Põltsamaa ja Laeva j.** lõigud Alam-Pedja LKA-l. Need soovitati **täiendavalt nimistusse lisada**.

2.3. Nimistusse määramise põhimõtted

Üleujutusala **suuruse** mõõtmisel on teoreetiliselt võimalik rakendada erinevaid parameetreid. Peamine ühik on **üleujutusala pindala**, kuid küsimus on siinjuures, millise veetaseme juures. Mida väiksem veetaseme ületustõenäosus (madalam kordumise sagedus), seda suurem üleujutusala pindala.

Vee hulk on tõenäolisemalt suurem nendel magevete üleujutusaladel, millel on **suurem valgala**. Seda arvesse võttes haarati suurte mageveeliste üleujutusalade esialgsesse nimistusse vaid üle 50 km^2 suuruse valgalaga üleujutusalad.

Üleujutuse **sagedusest** ja kestusest sõltub üleujutusala looduskaitseline väärtus, sh küsimus, kas tegemist on pigem lammimulla ja lammielupaigaga või pigem näiteks mineraalmuldade ja muude elupaikadega. Sagedamini esinev ja pikemalt kestev kõrgvesi on üldiselt looduskaitseliselt väärtuslikum. Osadele liikidele võib aga sobida hoopis harva esinev üleujutus. Austraalias kasvab liik *Muehlenbeckia florulenta* kõige paremini nendel mageveelistel lammidel, mille üleujutuse sagedus on 3 – 10 aastat (Craig *et al.*, 1991). Käesolevas analüüsis loeti üleujutusalade sisse need alad, kuhu kõrgveepiir ulatus sagedamini kui keskmiselt kord kümne aasta järel.

Iga üleujutusala administreerimine nõuab ressursse. Väikse pindalaga üleujutusala ei saa pakkuda nii palju elupaiku ega puhverdada nii palju suurvett kui suur üleujutusala. Ainult piisavalt suurel üleujutusalal võivad välja kujuneda jõega paralleelsed lammivööndid, majanduslikult otstarbekad luhad jne. Mõistlik on lülitada suurte kõrgveealade nimekirja need lammid, mille pindala ületab mingit teatud läviväärtust. Selleks lävendiks valiti 100 ha.

2.4. Kartograafilised lähteandmed

Mullastiku kaart

Määruse nr 58 kohaselt määratakse lammialade piirid **lammimuldade** järgi (Riigi Teataja, 2004 b). Vastavalt mullakaardi seletuskirjale (Maa-amet, 2001) on lammimullad jõgede ja ojade lammidel ning järvede üleujutusaladel, kus toimub perioodiline tulvaveega üleujutus ning heljuvate setete kuhjumine.

Samas määruses on aga veekogusid, mille kaldal mullakaardi (Maa-amet, 2020) järgi lammimullad puuduvad. Nende hulgas on Mullutu lahe ja Nasva jõe lammid, kuna mullakaart eristab lammi-madalsoomuldadest merevee mõjualas olevad **rannikumullad.** Senise määruse asjakohaseks rakendamiseks tuleks seega rannikumullad lugeda lammi-madalsoomuldade alltüübiks.

Eesti mullastiku kaart põhineb peamiselt mitukümmend aastat tagasi kogutud andmetel, mistõttu kaardi asjakohasus tulevikku vaatava määruse toetamisel on piiratud (Reintam *et al.*, 2005). Mullastiku kaardistamise eesmärgid olid suunatud põllumajanduse ja metsanduse arendamiseks. Seetõttu ei saa eeldada, et lammi- ja rannikumuldade täpne kaardistamine oleks fookuses olnud. Siiski, mullastiku kaart võib olla oluline teabeallikas suurte üleujutusalade sõelumisel ja nimistu muutmisel.

Hüdrograafilised andmed

Suurte üleujutusalade nimekirja uuendamine eeldab andmeid veekogude paiknemisest, mis võiksid suurelt (kokkuleppeliselt üle 100 ha) üle ujutada.

ETAK (2021) hõlmab muuhulgas üleriigilise katvuse ja piisava ruumilise täpsusega andmekihte voolu- ja seisuveekogude kohta. Lode *et al*. (2020) leidsid, et kõrgveepiiri edukaks modelleerimiseks on tarvis vooluveekogude andmeid oluliselt töödelda. Veekogude paiknemise määramiseks aga mingit edasist parandust pole ilmselt tarvis teha.

Väljakutseks on aga veekogude hüdrograafiliste andmete sorteerimine antud tööülesande kontekstis. Oluline on eristada ja välja tuua need jõed ja järved, mis suures ulatuses üle kallaste tõusevad.

Lisaks on kasutatavad Põllumajandusameti maaparandussüsteemide paiknemise andmed, mille abil on võimalik voolusuundi ja valglate piire täpsustada.

Hüdroloogilised andmed

Eestis on pikaajalisi seireandmeid jõgede vooluhulkade ja veekogude veetasemete kohta. Tänasel päeval kogutakse vooluveekogude vooluhulkade andmeid 55 lävendi kohta. Veetasemete andmeid kogutakse 62 siseveekogu seirepunkti kohta. Lisaks on võimalik kasutada ajaloolisi vaatlusandmeid tänaseks suletud seirepunktidest. Neid andmeid on võimalik kasutada paljude jõgede ja järvede kõrgvee prognoosimiseks. Seevastu näiteks Kargaja ja Raudna jõel hüdroloogilised seireandmed puuduvad, samas kui need jõed on kõrgveealade nimekirjas.

Kõrgusmudel

Eesti kõrgusmudeli maapinnapunktide (Maa-amet, 2021) resolutsioon 5 x 5 m2 võimaldab käesoleva töö kontekstis erinevate hüdroloogiliste ja hüdrauliliste analüüside läbiviimist. Suurte kõrgveealade määramiseks on kõrgusmudeli abil võimalik kaardistada voolusuunad, valgalad ja ka vooluhulgad. Lode *et al*. (2020) tegid kõrgusmudelisse käsitsi muudatusi, ehitades virtuaalselt sellesse müüre ja kanaleid, kuid jääb selgusetuks, kas põhjuseks oli kõrgusmudeli ebatäpsus või kõrgveemudeli spetsiifiline vajadus.

Maakate

Kõrgvee kartograafilisel prognoosimisel võib olla abi maakatte andmetest. Lammialad on maakatte kaardil enamasti märgitud kui 'soovikud'.

Muud andmed

Voolusuundade modelleerimisel on lisaks kõrgusmudelile ja hüdrograafilisele andmestikule tarvis täpsustavaid andmeid sildade, truupide ja muude rajatiste kohta. Need andmed leiduvad ETAK-is.

2.5. Kontseptuaalne nimistu täiendamise skeem

Siseveekogude üleujutusalasid defineeriti kahte tüüpi: (1) mageveelised ja (2) mereveelised (Joonis 3).

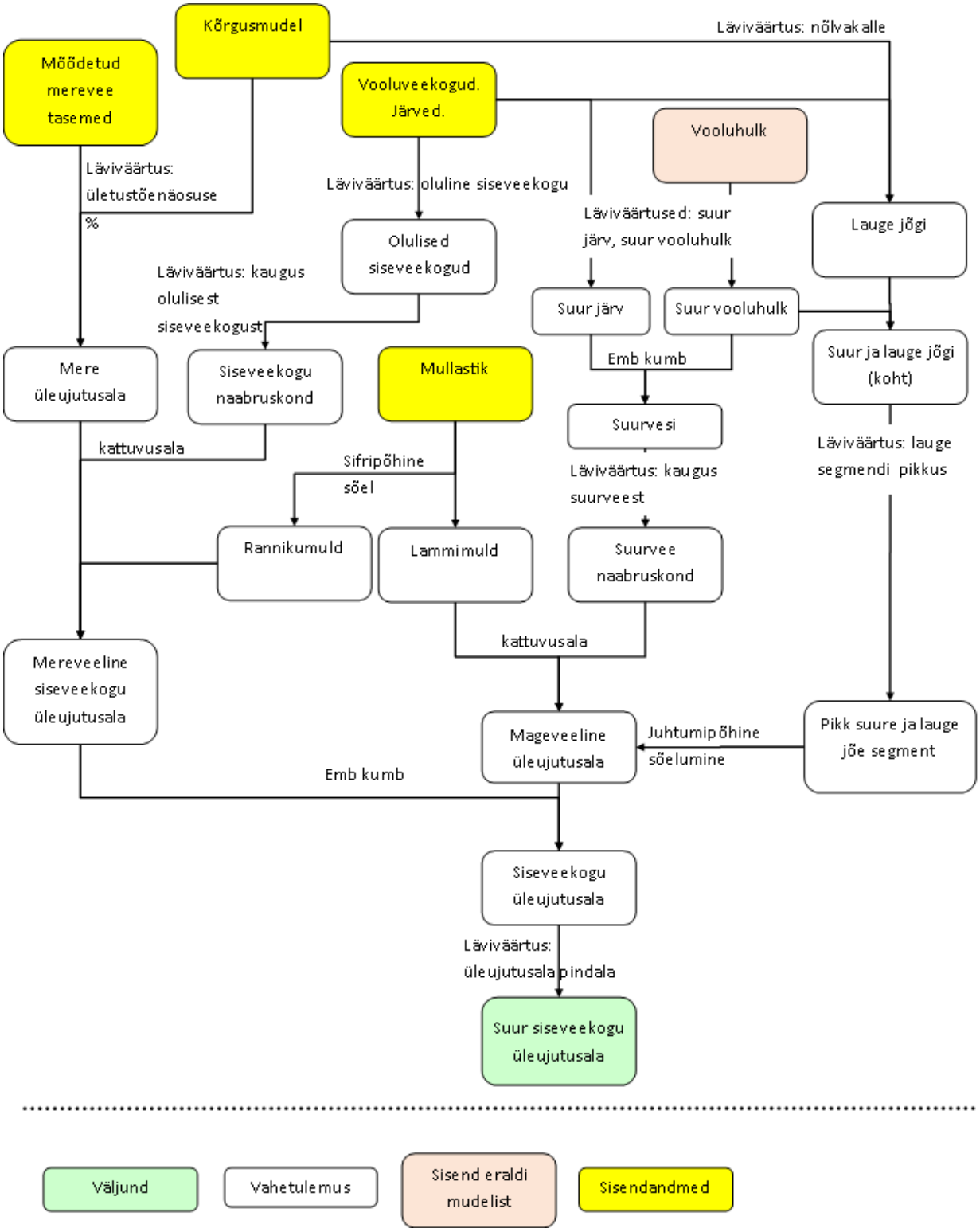
Mageveelised üleujutusalad on niisugused alad, mis paiknevad lammi-madalsoomullal ning samal ajal suure vooluhulga naabruskonnas. Vooluhulk määratakse eraldi mudeli abil.

Mereveelised siseveekogude üleujutusalad on niisugused alad, kus kattuvad mere üleujutusala ja olulise siseveekogu naabruskond. Mere üleujutusala määratakse mõõdetud mereveetasemete statistilise analüüsi ja kõrgusmudeli abil, kasutades veetaseme ületustõenäosuse teatud läviväärtust. Täiendavalt arvestatakse mudelis teisi andmeid: lammi-madalsoomuldade katvus jm.

Pikalt lauged jõelõigud võivad samuti üle ujutada. Nende sõelumiseks sorteeriti veekogude pikslitest välja kõrgusmudeli järgi väikse nõlvakaldega ehk lauged pikslid. Nendest jäeti välja seisuveekogude alla jäävad pikslid, nii et sisse jääksid vaid vooluveekogud. Külgnevad lauged jõepikslid agregeeriti gruppidesse, mis praktikas moodustasid osadel juhtudel harulisi jõelõike. Pikslite arvult suuremad grupid ehk pikemad lauged jõelõigud jäid sõelale kui potentsiaalsed üleujutusalad. Need alad, mis ei kattunud peamisele sõelale jäänud aladega, sõeluti läbi juhtumispõhise ekspertanalüüsi abil küsimustes (1) miks nad peamisele sõelale ei jäänud ja (2) kas nad tuleks lülitada suurte üleujutusalade nimistusse.

Suureks loetakse suure siseveekogu üleujutusala, mille pindala ületab läviväärtust.

Lõplik nimistu. Hüdraulilise mudeli tulemina selgusid mh üleujutusalade ulatused. Alla 100 ha alad jäeti nimistust välja.



Joonis 3. Otsusepuu suurte siseveekogude üleujutusalade nimistu koostamiseks. Põhjendused on esitatud alapeatükis 2.6.

2.6. Mudeli läviväärtused ja konkreetsed lahendid

Esialgsete üleujutusalade defineerimisel rakendati otsusepuud (Joonis 3) vastavalt alljärgnevale tabelile.

Parameeter	Läviväärtus	Põhjendused	Muu info
Mere veetaseme ületustõenäosus, %	Aasta maksimaalne päeva keskmine veetase kuni 10% tõenäosusega	(1) Merevee veetasemete ületustõenäosused oli vaja ühtlustada siseveekogude veetasemete ületustõenäosustega, et tekitada terviklik mudel (2) 10% ületustõenäosuste arvutamiseks on publitseeritud juhendid (3) 10% ületustõenäosuse kohta on varasematest uuringutest kõrgveepiire publitseeritud	
Oluline siseveekogu mereveeliste siseveekogude üleujutusalade määramisel	Järv: pindala üle 1 km^2 Vooluveekogu: jõgi	Veeökosüsteemi teevad oluliseks suured mõõtmed. Suurem veemaht tagab avarama eluruumi, mitmekesisema keskkonna ja stabiilsuse (Ott, 2012). Üle 1 km^2 pindalaga rannikulõukal või põhikaardil 'jõeks' klassifitseeritud vooluveekogul võib olla piisav veemaht, et võimaldada merest oluliselt erinevat veeökosüsteemi.	'Jõed' tuvastati põhikaardi järgi. Analüüsiti neid siseveekogusid, kuhu tungib merevesi.
Kaugus olulisest siseveekogust	Kuni 2 km järve kaldast Kuni 2 km jõe keskjoonest	Kartograafilise analüüsi abil kontrolliti kõrgvee võimalikku ulatust. Suurimatel aladel (Kasari delta, Emajõe Suursoo) ulatus kõrgvesi kuni 2 km kaugusele olulisest veekogust	
Mulla tüüp mereveelise siseveekogu üleujutusala määramisel	Kõik rannikumullad	Rannikumullad on mere poolt lähemas minevikus või käesoleval ajal üle ujutatud tugevasti liigniisked mullad (Maa-amet, 2001). Rannikumuldade esinemine prognoosib mere üleujutust.	
Mulla tüüp mageveelise üleujutusala määramisel	Kõik lammi-madalsoomullad	Lammi-madalsoomullad on mullad jõgede ja ojade lammidel ning järvede üleujutusaladel, kus toimub perioodiline tulvaveega üleujutus (Maa-amet, 2001)	
Suur vooluhulk	Esimene järjekord: valgala üle 100	EL ja Eesti tüpoloogia järgi on alla 100 km^2 valgalaga jõed	Teise järjekorra üleujutusalasid

Parameeter	Läviväärtus	Põhjendused	Muu info
	km^2 Teine järjekord: valgala üle 50 km^2	väiksed või väga väiksed (Solheim *et al.*, 2019).	modelleeriti juhul, kui need jäid esimese järjekorra üleujutusaladega samadele valglatele
Suur järv	Pindala üle 100 km^2	Suured järved on pindalaga üle 100 km^2 (Mäemets, 1977)	
Suurvee naabruskond	Kuni 2 km suurveest	Kartograafilise analüüsi abil kontrolliti kõrgvee võimalikku ulatust. Suurimatel aladel (Kasari delta, Emajõe Suursoo) ulatus kõrgvesi kuni 2 km kaugusele olulisest veekogust	
Suur üleujutusala	Esimene järjekord: pindala üle 100 ha Teine järjekord: pindala üle 50 ha	Suur üleujutusala saab pakkuda rohkem erinevaid elupaiku. Ainult piisavalt suurel üleujutusalal võivad välja kujuneda jõega paralleelsed lammivööndid, majanduslikult otstarbekad luhad jne. Läviväärtused otsustati ekspertide nõupidamisel.	Teise järjekorra üleujutusalasid modelleeriti juhul, kui need jäid esimese järjekorra üleujutusaladega samadele valglatele
Lauge vooluveekogu nõlvakalle	Alla 2%	2% lävend toob esile kõige laugemad 25% vooluvete pikslitest	Nõlvakalle pole sama mis lang
Pika lauge jõelõigu pikkus	10 x 10 m^2 pikslite grupi pindala üle 50 000 m^2 ehk jõelõigu pikkus üle ca 4 km	Mõõdeti erinevate üleujutusalade pikkusi mööda jõge. Tulemused näitavad, et ca 4 km on praktilisel analüüsil minimaalne suure üleujutusala pikkus mööda jõge.	

2.7. Tehniline lahendus: GIS sõel nimistu täiendamiseks

GIS platvorm

GIS-modelleerimiseks kasutati tarkvara ArcMap 10.8.1 (ESRI, 2020). Enamus mudelist ehitati üles platvormil ArcGIS Model Builder. Enamus protsessimisest toimus rasteranalüüsidena piksli suurusega 10 x 10 m^2.

Enamus vektorformaadis olevatest lähteandmetest konverteeriti 10 x 10 m^2 resolutsiooniga rasterandmebaasideks.

Töö maskiks valiti Eesti maismaa (*LandmaskA*; EuroGlobalMap, 2015). See jätab lisaks merele välja ka järved. Erandina, mere üleujutusala modelleerimiseks rakendati maski, mis hõlmab lisaks Eesti mereala. Abistav voolusuundade mudel võtab sisse ka Võrtsjärve.

Mudeli väljund – üleujutusalad - konverteeriti muuhulgas vektorformaadis polügoonideks ja punktideks.

Valglate modelleerimine (’valgla’ mudel)

'valgla' mudel oli vajalik nii esialgsete üleujutusalade sõelumiseks kui ka 'Hommik' mudeli sisendina (Joonis 10). Voolu suundade üheks derivaadiks on vooluakumulatsioonide kaart, millest vooluakmulatsiooni näidud arvuliselt võrduvad valgalaga.

Voolusuunad

Voolu suundade andmeid igas maapinna punktis, sh kuival maal, on tarvis selleks, et prognoosida vooluhulka. Selles kontseptsioonis tekib vooluhulk valglalt kogutud veest.

Peamiseks voolu suundade determinandiks 'valgla' mudelis on kõrgusmudel, mille järgi vesi voolab mööda gravitatsioonigrandienti allapoole. Vastav eeldus kehtib halvasti allikalistel aladel.

Voolusuundade kaart tekitati peamiselt 10 x 10 m^2 kõrgusmudeli (Maa-amet, 2020) põhjal. Selles on aga lüngad Võrtsjärve, Peipsi järvistu ja Narva j kohal. Järvede osas täideti need lüngad käsitsi. Võrtsjärve kohal olev auk kaeti, võttes arvesse ümber augu jääva kõrgusmudeli andmeid, väärtusega 33 m. Analoogselt, Peipsi auk kaeti väärtusega 29,9 m. Narva j. kõrgusmudeli täieliku katvuse saavutamiseks kasutati tööriista 'Focal Statistics', mis omistas andmelünkade kohtades olevatele pikslitele läheduses leiduvad väärtused. Selliste manipulatsioonidega saadi täieliku katvusega kõrgusmudel.

Täpsemalt saadi voolu suunad kõrgusmudelile veekogude kanjonite nn sissekõrvetamise teel (vt näit. Li, 2014). Sissekõrvetamise eesmärgiks on tagada, et mudelis veekokku voolanud vesi sealt maismaale välja ei saaks voolata. Kõrgusmudelisse kõrvetati nn kanjonid vastavalt hüdrograafilistele andmetele, kusjuures kanjonite sügavuste hindamisel võeti arvesse veekogu tüüpi: jõed, ojad, peakraavid, kraavid, kanalid, maaparandussüsteemid ja järved said kõik erinevad kanjoni sügavused. Nendele sügavustele liideti sildade ja truupide kohtades täiendavad sügavused. Kanjonid lahutati kõrgusmudelist maha. Piirijõgede korrektseks modelleerimiseks tehti täiendavaid manipulatsioone: ehitati piiridele müüre, süvendati kanjoneid veelgi jne. Narva jõe modelleerimiseks ehitati Eesti – Vene veepiirile müür ja selle ette kanjon, mis tõmbas kogu piirini valguva vee endasse ja juhtis Soome lahte.

Lõpuks parandati kõrgusmudelit 'Fill' tööriistaga. Flow Direction tööriista abil tekitati voolusuunad.

Voolu akumulatsioon

'Flow accumulation' tööriistaga määrati voolusuundade kihist voolu akumulatsiooni kaart, mis näitab ühtlasi iga piksli **valgala**. Piirijõgede puhul lisati kirjanduse ja andmebaaside abil piiridel paiknevatele sissevooludele täiendavad akumulatsioonid

Lauged jõed

Veed määrati pikslitena, mis jäid konverteerimisel rasterandmebaasidesse veekogude alla. Tööriistaga 'Focal statistics' laiendati vete kihti selliselt, et vetest kuni 15 m kaugusele jäävad pikslid jääksid sisse. Selle kihi abil lõigati kõrgusmudelist sisse veekogude ja nende kallaste kõrgused. 'Slope' tööriistaga määrati lang igal veekogu pikslil. 'Less Than' tööriistaga valiti sisse lauged jõepikslid.

<u>Üleujutusalade sõelumine ('s6el' mudel)</u>

Esialgsete üleujutusalade sõelumiseks töötati välja GIS mudel 's6el'. See mudel kujutab endast esimest plokki üleujutusalade ja nende kõrgveepiiride määramise ahelas (Joonis 10).

Suure voolu lähedale jäävad alad modelleeriti tööriistaga 'Focal statistics'. Siseveekogude lähedusse jäävad alad defineeriti selliselt, et kõigepealt sõeluti põhikaardi kihtidest välja järved ja jõed, jättes välja kraavid, ojad ja kanalid. 'Buffer' tööriistaga defineeriti nende lähialad. Seejärel konverteeriti need kihid rasterandmebaasideks.

Diskreetsed üleujutusalade laigud saadi tööriistaga 'Region Group', kasutades kõiki kaheksat naabervälja, mis tähendab, et ühte laiku moodustavad pikslid võivad olla koos ka nurkipidi. Nende gruppide pindalad arvutati tööriistaga 'Zonal Geometry'. Sarnasel moel grupeeriti lauged jõepikslid, tekitades laugete jõelõikude grupid (harulised segmendid) ja mõõtes nende pindalad, mis on nende segmentide pikkuse ligikaudseks mõõduks.

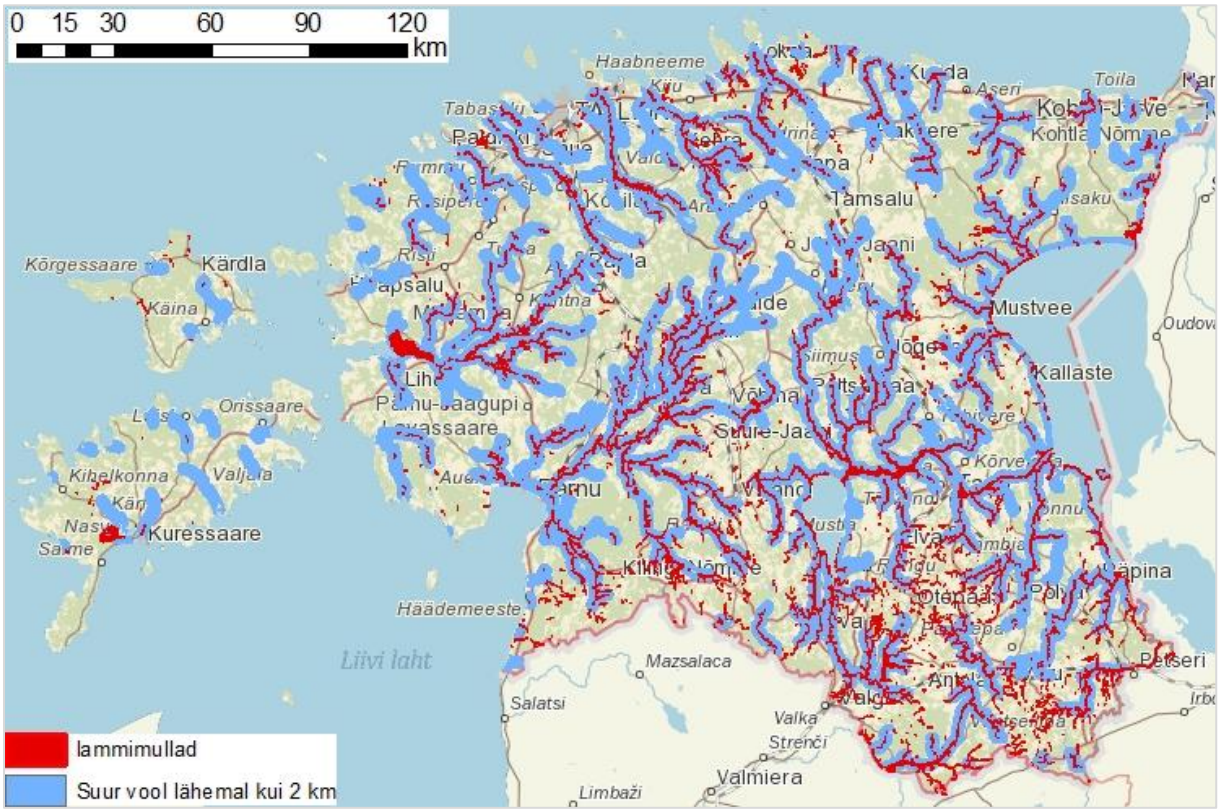
Tulemuste interpreteerimisel liideti üheks kokku kaks või enamat üleujutusala, mis moodustasid omavahel seotud terviku. Näiteks, kui kahte ala eraldas ükteisest vaid jõgi, siis liideti nad interpretatsiooni faasis üheks.

3. Esialgne suurte üleujutusalade nimistu

Käesolev peatükk käsitleb 's6el' mudeliga saadud esialgset üleujutusalade nimistut, mis kujutab endast analüüsi vahe-etappi. Lõplik nimistu koos kõrgveepiiridega on esitatud Peatükis 5 ja Lisas 4. Metodoloogia käesolevas peatükis esitatud tulemuste saamiseks on esitatud peatükis 2. Joonis 1 annab ülevaate kogu analüüsiahelast, sh küsimusest, kuidas see nimistu saadi ja milleks rakendati.

Mõõduka ja suure vooluhulga naabruskonnad

Võttes vähemalt mõõduka vooluhulga piiriks 50 km^2 suuruse valgala, lisandub kokku 1616 km^2 alasid vähemalt mõõdukale vooluhulgale lähemale kui 2 km (Joonis 4). Selle sisse on arvestatud ka Peipsi ja Võrtsjärve rannik 2 km laiuse ribana. Suure vee lähedusse jääb kokku 625 km^2 lammi- ja rannikumuldi.



Joonis 4. Lammi-madalsoomullad, sh rannikumullad ja alad, mis jäävad mõõduka suurusega või suure siseveekogu lähedusse.

Lammi- ja rannikumullad

Lammi-madalsoomullad katavad 604 km^2 Eesti territooriumist. Suurim ala paikneb Matsalu lahe ja Kasari jõe suudmealal, pindalaga ligi 40 km^2. See ala jääb suures osas Kasari ja Rannamõisa jõgede naabrusse. Suuruselt teine lammiala on hiiglaslik, katkematu kontinuum, mis hargneb Emajõe ja selle paljude lisajõgede – Pedja, Põltsamaa, Elva, Amme jt – kallastel. Selle laius ulatub kahe kilomeetrini.

Kokku 361 km^2 lammi-madalsoomuldadest ehk 60% jäävad suure voolu naabruskonda.

Rannikumullad katavad ühtekokku 91 km^2 suuruse ala peamiselt Lääne-Eesti ja saarte rannaaladel. Suurim rannikumuldade kontsentratsioon on Noarootsi poolsaare ümbruses, kus Sutlepa lahe kaldal on ligi 3,4 km^2 suuruse pindalaga rannikumullamassiiv.

Mageveelised jõgede lammid

Alljärgnevates lõikudes esitatakse informatsioon sõeluuringu tulemusena mõõdetud lammialadest. Täpsem info on edasistes peatükkides.

Üle 10 km^2 pindalaga katkematuid kevadise suurvee alasid tuvastati kolm. Suurimaks katkematuks kevadise suurvee alaks osutus **Emajõe** lamm, mis hargneb Elva ja Amme jõgedesse, üldpindaga 34,1 km^2. Emajõe osa algab lähtest (Rannu-Jõesuus) ja lõpeb Amme jõe suubumisel Kärknas. Harud ulatuvad mööda Amme jõge ülesvoolu Kuusikuni, mööda Elva jõge Keeri järveni ning mööda Ilmatsalu jõge Ilmatsaluni. Suuruselt järgmiseks osutus **Kasari jõe** suudmeala lammi-madalsoomuldade kogupindaga 18,4 km^2. See kulgeb Kasari sillast suudmeni enam-vähem võrdselt mõlemal pool jõge kogulaiusega ligi 1,8 km. Pindalalt kolmandana järgneb **Mustjõe** luht 17,2 km^2. See kulgeb piki jõge Vana-Roosalt Läti piirini.

Mageveelised suurjärvelammid

Eraldi määrati suurjärvede – Peipsi järvistu ja Võrtsjärve – suured üleujutusalad. Võrtsjärve ääres neid iseseisvatena ei leitud ehkki Tänassilma ja Väike-Emajõe suudmealade ning Emajõe lammialad jäävad osaliselt Võrtsjärve üleujutusala sisse. Peipsi järvistu ääres on aga kaks puhtalt järvelist suurlammi:

(1) Meerapalu ümbruse kalda-ala Pedaspäält Parapaluni
(2) Räpina poldri tagune lamm koos Naha oja suudmealaga

Lisaks tungib Peipsi üleujutus sügavalt ja laialt üle kallaste Võhandu ja Mustvee jõgede suudmetes ning Narva jõe lähtes, muutes need samuti suurteks üleujutusaladeks.

Mereveelised lammid

Suuri mereveelisi siseveekogude üleujutusalasid tuvastati 19:

Hiiumaal:

(1) Kirikulahe (põhikaardi järgi järv) ümbrus Kõrgessaarel
(2) Vaemla jõe suudmeala
(3) Suuremõisa jõe suudmeala ja Salinõmme rand

Saaremaal:

(4) Mullutu-Suurlahe ja Pühajõe suudmeala lamm
(5) Lõve jõe suudmeala
(6) Arjulahe (põhikaardil järv) lamm
(7) Undu lahe (põhikaardil järv) lamm

Noarootsi kandis:

(8) Sutlepa mere, Saaremõisa lahe ja Saljõe suudmeala üleujutusala
(9) Taebla jõe suudmeala

Pärnumaal:

(10) Kasse lahe ja Mõisalahe (põhikaardil järved) ümbrus Virtsus
(11) Pärnu, Audru ja Sauga jõgede suudmeala Pärnus ja Valgerannal
(12) Rannametsa jõe suudmeala
(13) Häädemeeste rand

Soome lahe ääres:

(14) Kloostri jõe suudmeala Paldiski lahes
(15) Pudisoo jõe suudmeala
(16) Loobu jõe suudmeala
(17) Kunda jõe suudmeala
(18) Pada jõe suudmeala
(19) Narva jõe suudmeala (see piirdub küll peamiselt vaid mereveega Narva jões ja selle saarel)

Pikalt lauged jõelõigud

Eeldusel, et iga piksli nõlvakalle jääb alla 2 protsendi ja minimaalne väikse kaldega lõigu pikkus on üle 4 km (üle 500 piksli), jäi sõelale 31 pikka, lauget jõelõiku. Pikim nendest on 17,8 km **pikkune Pärnu jõe lõik Murakalt Sindini**. Analüüsi aluseks olevad kõrgusandmed pärinevad aga tõenäoliselt aastast 2017, mil Sindi pais veel toimis. Tänapäeval võib see Pärnu jõe lõik järsem olla. Peamisest sõelast võis see jõelõik välja jääda tänu kõrgetele kallastele, mis ei lase kõrgveel endast üle tõusta.

Pikkuselt järgmine on 11 km pikkune **Ahja jõe lõik Emajõe Suursoo osas Võngjärvest suudmeni**, kust sama lõik keerab veel mööda Emajõge ülesvoolu. Peamisele sõelale ei jää see lõik sellepärast, et lammi-madalsoomuldade riba jõe kaldal on liiga kitsas, kõigest ligi 20 m laiune, et anda kokku suurt pindala. Lammi taha jäävad ulatuslikud madalsoomullad.

Suur osa laugetest jõelõikudest kattuvad peamise mudeli kaardistatud suurte üleujutusaladega, sh

- Põltsamaa jõgi Endla ja Kanamatsi raba vahel
- Rannamõisa jõe suudmeosa
- Kasari jõe suudmeosa

Peamisest sõelast jäid välja järgmised pikad ja lauged jõelõigud, mis tänu 'pikalt laugete jõelõikude' mudelile siiski lõplikule sõelale jäid:

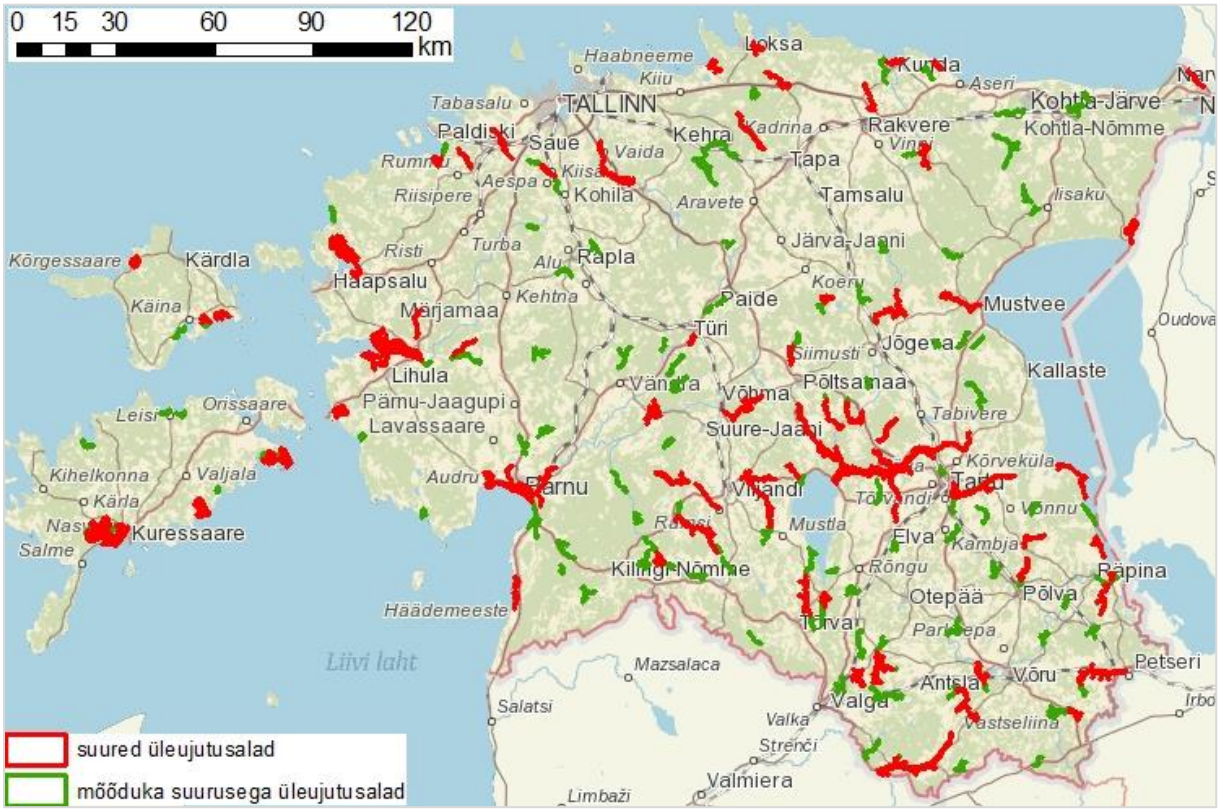
- **Audru jõe suue, 5,5 km**
- **Kargaja ja Koosa jõgede võrk Emajõe Suursoos, 3,5 km**. Sarnaselt Ahja jõega on seal lammi-madalsoomuldade riba kitsas ning enamus suurveest valgub hoopis madalsoomuldadele.
- **Navesti jõe suue ja Pärnu jõgi Jõesuust Murakani, 5,9 km**

Ülevaade esialgsest üleujutusalade nimistust

GIS-analüüs (Joonis 3) andis väljundkihi, mis kombineeris erinevaid andmeid ja tuletiskaarte. Selle väljundkihi interpretatsioon andis esialgse nimistu, mis tehti kaheosalisena: (1) suured üleujutusalad ja (2) mõõduka suurusega üleujutusalad (Joonis 5).

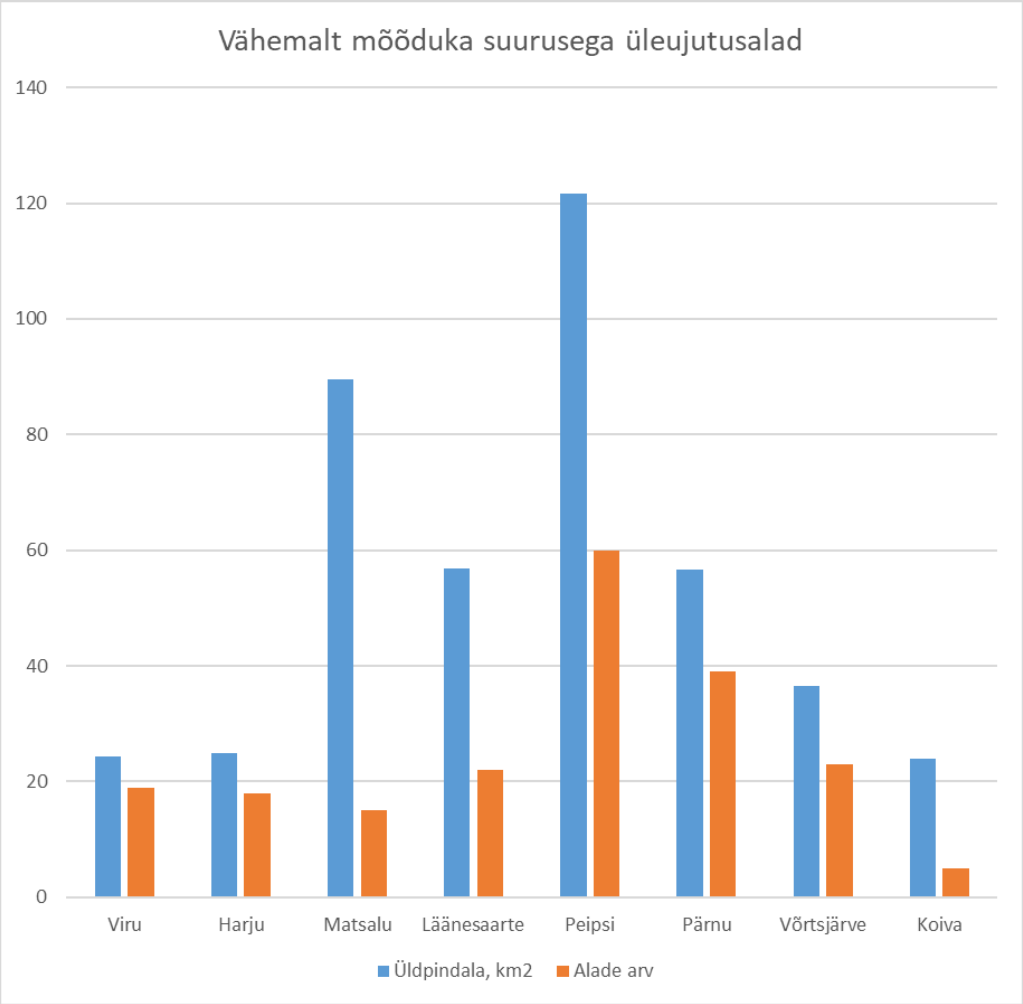
	Kriteeriumid	Arv	Pindala, ha
Suured üleujutusalad	Valgala üle 100 km^2, polügoon üle 100 ha	85 polügooni (63 ala)	34 224
Mõõduka suurusega üleujutusalad	Valgala üle 50 km^2, polügoon üle 50 ha	112 polügooni	9 319
Kokku: vähemalt mõõduka suurusega üleujutusalad		**197 polügooni**	**43 543**

'Suured' katavad nendest pindalaliselt 79% ja 'mõõdukad' 21%. Ühtekokku katavad nad 78% lammi-madalsoomuldadest. 'Suured' paiknevad eelkõige suurtel jõgedel ja keskmiste jõgede alamjooksudel, 'mõõdukad' aga peamiselt keskmiste jõgede ülemjooksudel ja väikeste jõgede alamjooksudel.



Joonis 5. Suured ja mõõduka suurusega siseveekogude üleujutusalad

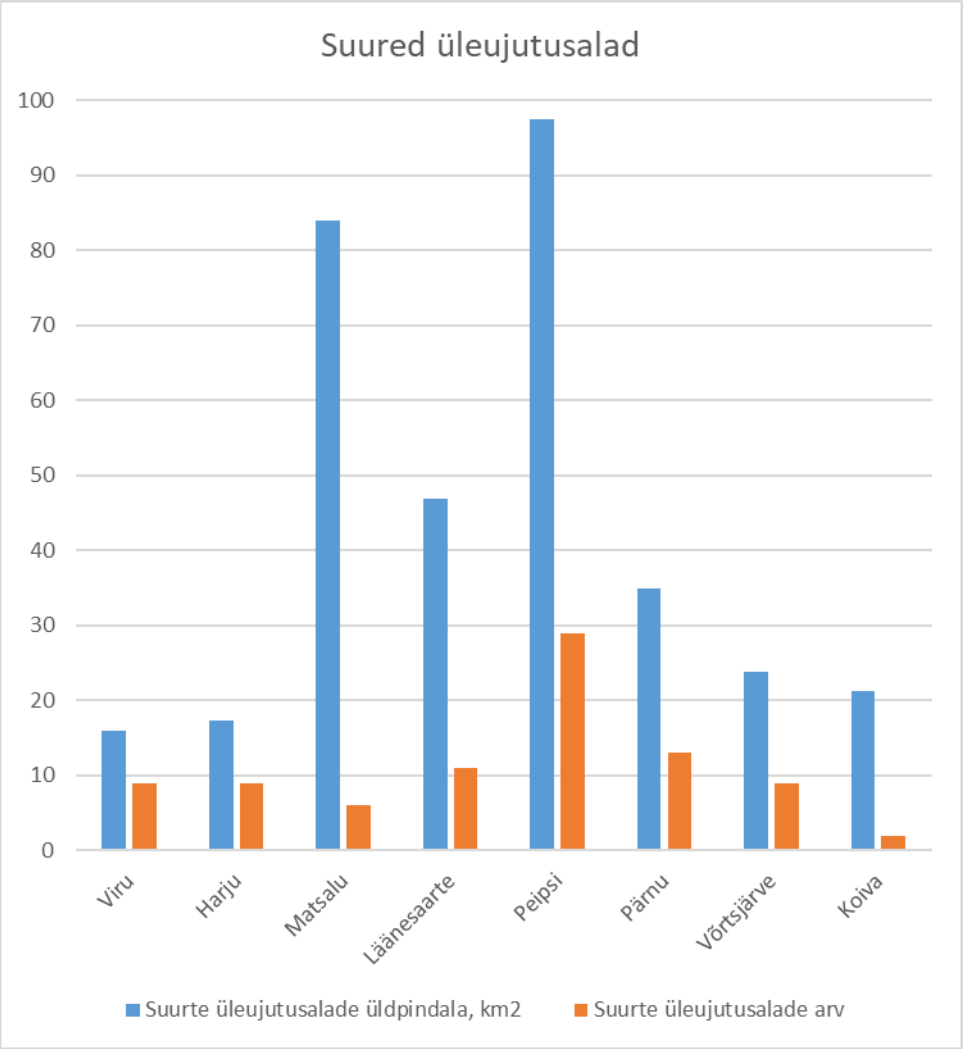
Kõige rohkem on üleujutusalasid arvuliselt Peipsi ja Pärnu alamvesikondades, kuid pindalaliselt tõusevad esile Peipsi ja Matsalu alamvesikonnad (Joonis 6).



Joonis 6. Vähemalt mõõduka suurusega üleujutusalade jagunemine alamvesikondade vahel

Suured üleujutusalad

Eraldi analüüsiti 85 suurt üleujutusala. Osad neist paiknevad niivõrd lähestikku, et mõistlik on neid ühendada nii, et funktsionaalselt langeb nende arv 63-ni. Nende üldpindala on 34 224 ha. Pindalaliselt on neid kõige rohkem Peipsi ja Matsalu alamvesikondades, arvuliselt Peipsi ja Pärnu alamvesikondades (Joonis 7).



Joonis 7. Erinevate alamvesikondade suured üleujutusalad

Viis neist on esialgseil andmeil suuremad kui 10 km^2.

(1) Suurim neist on **Kasari jõe suudmeala ja Matsalu lahe kalda** mere- ja mageveeliste üleujutuste hübriidala pindalaga 5678 ha.
(2) Teisel kohal on Emajõe ülemjooksu lamm, ülpindalaga 3798 ha. **Vasakkalda** lamm ulatub Palupõhjast Kärknani ning hargneb mööda Laeva ja Amme jõgesid ülesvoolu. **Emajõe paremkalda** lamm ulatub Võrtsjärvest Vorbuseni ning hargneb Elva jõkke Keeri järveni ja Ilmatsalu jõkke kalatiikideni. Sisuliselt võik nendega ühendada veel ka Pedja ja Põltsamaa jõgede alamjooksu ligi 1200 ha. Selles süsteemis on ühtekokku 6 polügooni, mis võiks ühendada üheks üleujutusalaks.
(3) Sellele järgneb **Mullutu-Suurlahe ümbruse** mereveelise üleujutuse ala pindalaga 2552 ha.
(4) Suuruselt neljas on **Noarootsi poolsaare** ja mandri vahele jääv mereveeline üleujutusala Sutlepa mere ja Saaremõisa lahe ümbruses, üldpindalaga 1868 ha.
(5) Viies on **Mustjõe luht** Vana-Roosalt suubumiseni Koivasse Läti piiril, üldpindalaga 1857 ha.

Esialgne üleujutusala	**Valgla**	**Pindala, ha**
Kasari delta	Väinameri	5678
Emajõega seotud üleujutusalade võrk	Narva j	3798
Mullutu-Suurlahe ümbrus	Liivi laht, muu	2552
Üleujutusala Sutlepa mere ja Saaremõisa lahe ümbruses	Väinameri	1868
Mustjõe luht	Koiva j	1857
Piusa keskjooksul Mäe-Kõokülast Koidulani	Narva j	452
Piusa jõel Vastseliinas	Narva j	115
Rõuge ja Võhandu jõe suudmealal Vagula järve ääres	Narva j	301
Mädajõe alamjooksul	Narva j	264
Võhandu suudmealal	Narva j	112
Meerapalu ümbruse kalda-ala Pedaspäält Parapaluni Peipsi ääres	Narva j	301
Räpina poldri tagune lamm koos Naha oja suudmealaga Peipsi ääres	Narva j	203
Sangaste juures Väike-Emajõel	Narva j	268
Laatre juures Väike-Emajõel	Narva j	225
Tsirguliina juures Väike-Emajõel	Narva j	119
Väike-Emajõe suudmealal, Pikasillal	Narva j	123
Õhne keskjooksul	Narva j	429
Kogu Ärma j alamjooks ja sellega ühendatud Tänassilma j keskjooks Vana-Võidust Tänassilmani	Narva j	201
Tänassilma alamjooksul	Narva j	105
Põltsamaa j ülemjooksul Preedi jõe suubumiskohas	Narva j	120
Põltsamaa j keskjooksul Adavere juures	Narva j	124
Umbusi j suudmealal	Narva j	242
Pikknurme j suudmealal, 166 ha, millele võiks funktsionaalselt liita Pedja j Jüriküla osa, 173 ha	Narva j	340
Pedja j ülemjooksul Sadala ja Jõgeva vaheline lamm	Narva j	557
Laeva j enne Laeva asulat	Narva j	275
Emajõe lamm Annelinnast ja Ülenurmelt Kastreni	Narva j	210

Esialgne üleujutusala	Valgla	Pindala, ha
Ahja j keskjooksul Orajõe suubumiskohas	Narva j	200
Ahja j keskjooksul Ahja asula juures, millega ühendub Lutsu j alamjooksu lamm	Narva j	110
Mustvee j peaaegu kogu ulatuses, kus mudeli järgi on kaks polügooni, mis tuleks liita funktsionaalselt üheks üleujutusalaks	Narva j	245
Narva j lähtmel, Struuga luhal ja Veskisaarel, kahel pool Jaama jõge polügooni	Narva j	610
Narva-Jõesuus Narva j suudmealal	Narva j	43
Kunda j ülemjooksul Anguse j suubumisel, Lavi küla lähistel	Soome laht, muu	114
Selja j keskjooksul Arkna ja Essu piirkonnas	Soome laht, muu	258
Loobu j keskjooksul, Loobu ja Aasumetsa külade vahel, Uuemõisa ja Lauka soode vahel	Soome laht, muu	139
Pirita j keskjooksul Kose-Uuemõisast Patikani	Soome laht, muu	139
Keila j Kiisal	Soome laht, muu	127
Keila j Keilas ja Karjakülas	Soome laht, muu	279
Vasalemma j Ämari lennuvälja ja Klooga järve vahel	Soome laht, muu	136
Kloostri j suudmeala Paldiski lahes	Soome laht, muu	185
Pudisoo j suudmeala	Soome laht, muu	108
Loobu j suudmeala	Soome laht, muu	126
Kunda j suudmeala	Soome laht, muu	165
Pada j suudmeala	Soome laht, muu	116
Kirikulahe (põhikaardi järgi järv) ümbrus Kõrgessaarel Hiiumaal	Väinameri	230
Vaemla j suudmeala Hiiumaal	Väinameri	159

Esialgne üleujutusala	Valgla	Pindala, ha
Suuremõisa j suudmeala ja Salinõmme rand Hiiumaal, kaks polügooni	Väinameri	253
Lõve j suudmeala Saaremaal	Väinameri	454
Arjulahe (põhikaardil järv) ja Undu lahe (põhikaardil järv) ümbruse alad Muraja ja Kalkuna külades Saaremaal, kokku kolm polügooni	Väinameri	740
Taebla j suudmeala	Väinameri	223
Kasse lahe ja Mõisalahe (põhikaardil järved) ümbrus Virtsus	Väinameri	343
Vigala j ülemjooks Paljasmaal	Väinameri	162
Liivi j ülemjooks Liivi külas ja sealt edasi	Väinameri	124
Pärnu j Säreveres	Pärnu j	105
Navesti j kaks polügooni Looprest Olustvereni	Pärnu j	564
Navesti j alamjooksul Kaansoos, kitsas ja haruline üleujtusala, mis ukatub sügavale suubuvate jõgede ja ojade suudmetesse	Pärnu j	146
Raudna j ülemjooksul Ramsist Väike-Kõpuni	Pärnu j	206
Raudna j keskjooksul Tohvrist Sandrani	Pärnu j	363
Kõpu j ülemjooksul Õisu järvest Naistevallani, kaks polügooni	Pärnu j	429
Halliste j keskjooksul Maru küla lähistel	Pärnu j	193
Pärnu, Audru ja Sauga jõgede suudmeala Pärnus ja Valgerannal, ulatub Audru, Sauga ja Sindini	Pärnu j	951
Rannametsa j suudmeala	Liiv laht, muu	181
Häädemeeste rand	Liiv laht, muu	158
Pärlijõe alamjooks, suubumiskoht Mustjõkke ja Mustjõe ülemjooks	Koiva j	272

4. Alused ja metoodika suurte üleujutusaladega siseveekogude kõrgveepiiri määramiseks

4.1. Senine lahendus

Kõrgvett on määruse järgi seni piiritletud kui „alaliselt liigniiskete alluviaalsete soomuldade leviala piir veepiirist arvates“ ning lisaks niisuguste toponüümide kaudu nagu „Lääniste sild“, „Utsali küla“ jne. Alaliselt liigniiskete alluviaalsete soomuldade leviala määratakse mullastiku kaardi järgi.

Pole ühest selgust, millised mullastiku kaardi tüübid selle alla lähevad, sh on küsimus rannikumuldades. Mullastiku kaardi seletuskirja ja suurte üleujutusaladega siseveekogude nimistu vahel valitseb vastuolu küsimuses, kas rannikumullad kuuluvad lammimuldade hulka. Samuti on mullakaardid üsna ebatäpsed ega arvesta täidetud ja kuivendatud lammialadega või sellega, et veekogude üleujutustasemed on muutunud. Kõik alluvaalsete soomuldadega piirnevad veekogud ei sisaldu praeguses määruses ning veekogude valiku kriteeriumid määrusesse on selgusetud. ’Küla’ on aga antud kontekstis liiga suur üksus üleujutusala piiritlemiseks. Määrus jätab selgusetuks, kas kõrgvesi ulatub küla administratiivse välispiirini, küla keskuseni või jääb kogu küla alluviaalsete soomuldade osa üleujutusala sisse.

4.2. Muu maailma praktika

Kõrgveepiire määratakse enamasti GIS-modelleerimise teel, lähtudes kõrgusmudelist ja muudest andmetest. Juhul kui jões on tiheda sammuga, näiteks, iga kilomeetri kohta, veetasemete andmeread, on võimalik neid kõrgusmudeliga kombineerides tekitada kõrgveepiirid **hüdroloogilise modelleerimise** teel. Niisugust võimalust pakub näiteks ArcGIS-i juurde loodud spetsiaalne tööriistakast **ArcHydro**. See tarkvaratäiend kasutab kõrgvee ulatuse määramiseks veetaseme andmeid, mida kombineeritakse kõrgusmudeli ja jõe vektorandmetega.

Juhul kui kõrgveepiire on vaja määrata paljudele jõgedele kogu ulatuses, siis enamasti piisava ruumilise tihedusega veetasemete aegridasid pole. Selline olukord kehtib Eesti jõevõrgu kohta. Näiteks, puuduvad veetasemete mõõtmised Rannamõisa ja Mustvee jõgedel. Veetasemete andmete vähesuse korral kasutatakse **hüdraulilist modelleerimist**, mille korral veetasemed prognoositakse kõrgusmudelile teiste andmete põhjal.

Veetasemete andmete puudumisel sobib kõrgveepiiri määramiseks hästi **HECRAS mudel**, mis võimaldab võtta veetaseme asemel aluseks vooluhulgad. Veepinna sügavus arvutatakse veetaseme ja maapinna (tahke pinna) kõrguse vahena. Veetase ehk veepinna kõrgus tekitatakse interpolatsioonipinna kaudu mööda jõe ristlõikeid. Sisendiks on mh nende ristlõigete vooluhulgad.

GeoHECRAS on tarkvara, mille hüdrauliline sisu toetub HECRAS-ile. GeoHECRAS pakub täiendavaid võimalusi, sh mugavaid lahendusi lähteandmete ja sisendkaartide töötluseks, väljundi analüüsimiseks ja visualiseerimiseks, sh 3D-mudelid.

4.3. Alused ja põhimõtted

Veetaseme ületustõenäosus

Maaparandussüsteemide projekteerimisnormide (Maaeluminister, 2019) järgi määratakse üleujutuspiirkond voolusängi kevadise suurima päevakeskmise järgi, ületustõenäosusega 10% ehk korduvusega keskmiselt iga 10 aasta järel.

Pikaajaliste seireandmete põhjal on võimalik määrata kõrgveepiiri empiiriliselt seirejaamades. Mida haruldasema olukorra tõenäosust on vaja arvutada, seda suurem peab olema vaatluste arv (pikem vaatlusperiood), et saada usaldusväärseid hinnanguid. Nendes jaamades, kus veetaset on mõõdetud aastakümneid, on võimalik usaldusväärsuselt arvutada veetasemete ületustõenäosused ligi 10% juures.

Oosterbaan (1994) märgib, et kui mineviku vaadeldud (seirel põhinev) sagedusjaotus ehk valim on vooluhulkade osas esinduslik, siis on meil võimalik eeldada, et tuleviku vaatlusperiood annab samasuguse sagedusjaotuse. Niisugune sarnasuseeldus (esinduslikkus) annab võimaluse kasutada vaadeldud sagedusjaotust juhtumi (veetaseme ületuse) korduvuse hindamiseks. Niisugune esinduslikkus eeldab aga ajalise trendi puudumist.

Ajalised trendid

Kliimamuutus. On tõenäoline, et seoses kliima soojenemisega on talvine vee akumulatsioon Eesti siseveekogude valglatel oluliselt vähenenud. Seetõttu on kevadtalvisel perioodil vooluhulgad ühtlustunud: talvised vooluhulgad on kasvanud ning kevadised maksimumid langenud.

Seda arvesse võttes on tõenäoline, et mitukümmend aastat tagasi mõõdetud kevadised maksimumid ei tarvitse tuleviku veetasemete prognoosimisel olla piisavalt representatiivsed. Kevadise maksimumi langustrendi arvesse võtmata on oht, et kõrgvee ulatust võidakse tulevikku vaatavalt üle hinnata.

Viru & Jaaguse (2020) järgi vähenes vahemikus 1950 – 2016 lumikatte paksus ja kestus kõige enam Kesk-Eestis, Põhja-Eestis ja kõrgustikel. Samas, saartel, Valgas, Põlvas ja Kirde-Eestis olulist trendi siiski ei tuvastatud. Sellest tulenevalt peaksid ka kevadiste veetasemete maksimumid olema erinevad. Näiteks, Kasari, Vääna ja Pirita jõgikondades peaks esinema võrdlemisi tugev langustrend, samas kui saartel, Ahja jõel ja Mustjõel ei tarvitse olulist trendi ilmnedagi.

Muud looduslikud asjaolud. Kliimamuutuse mõjud võivad erinevate siseveekogude ja nende lõikude veetasemetele mõjuda erinevalt. Jõesuudmetes, aga ka paisjärvede, sildade ja muude takistuste juures võib kevadist maksimumi oluliselt mõjutada jääpais. Näiteks, Halliste ja Navesti jõgede ühinemiskohas tekib mõnikord jääpais, mis ujutab Aesoo küla. Narva jõe ülemjooksu mõjutavad mõnikord Peipsilt lõunatuulega kokkulükatud jäätükid, mis ajutiselt voolu jões vähendavad, et pärast suure lainena üleujutust tekitada.

Veekogude modifitseerimine. Globaalsoojenemine ei tarvitse olla ainus oluline faktor, mis pikaajalisi trende mõjutab. Nii Eestis tervikuna kui ka teatud jõgedel võib esineda ka teisi kevadiste maksimumide trende mõjutavaid tegureid.

Peipsi üleujutusi püüti 1930ndatel aastatel vähendada Narva j süvendamise ja lähtesse buunide rajamise teel. Nende funktsiooniks on suudme lahti hoidmine, mis väldib järve paisutust. Analoogse eesmärgiga rajati 1932. aastal muulid Emajõe lähtesse, nii et need väldivad Võrtsjärve paisutust. Niisugused süsteemid mõjutavad veetasemete maksimume nii allavoolu jäävatel jõgedel (Narva j., Emajõgi) kui ka ülesvoolu jäävatel järvedel (Peipsi, Võrtsjärv). Ummistus paisutab vett ülesvoolu, kuid ummistusest läbi murdmise järel läbib kõrgvee laine ka allavoolu jäävaid jõelõike.

Paljudele jõgedele on vaatlusperioodil rajatud paise, milledest osasid on perioodiliselt hooldatud või rekonstrueeritud ning osad on ära lagunenud või lammutatud. Näiteks, Ahja jõele on rajatud rida paise, mis hiljem on lagunenud või lammutatud. Paisudega seotud asjaolud võivad olla määrava tähtsusega pikaajaliste trendide juures.

Kevadisi veetasemete maksimume võivad mõjutada ka kuivendussüsteemid, mis kiirendavad kevadise suurvee äravoolu ja võivad seega maksimaalset veetaset tõsta.

Heine (2012) näitas, et jõgede kaldatammide rajamised põhjustavad suurvee tasemete tõusu ülesvoolu jäävas jõelõigus. Pole kahtlust, et ka Tartus paiknevad kaldakindlustused põhjustavad suurvee ajal paisutusefekti Emajõel.

Maakasutus. Kõrgvee maksimumide trende võivad mõjutada maakasutuse muutused. Mets toimib üldiselt puhvrina, vähendades lume sulamise kiirust ja aurutades vett. Lagealadelt tuleb pindalaliselt rohkem suurvett. Suurvee hulka suurendavad asustused, poldripumbad, kaevandusvete ärajuhtimine jpm.

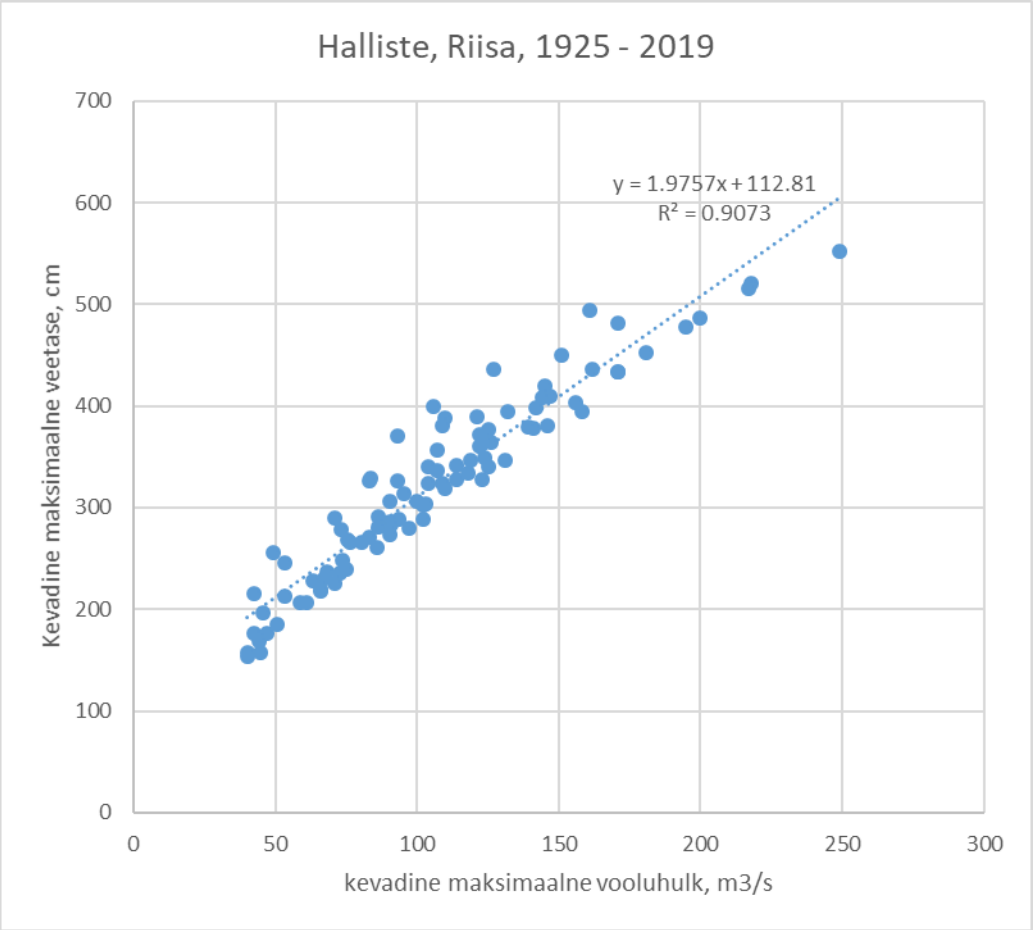
Trendide varieerumine. Veekogude modifitseerimine ja inimtegevused valglal võivad kliimamuutustest põhjustatud trende tasandada või võimendada. Seetõttu ei tarvitse kõikides seirelävendites negatiivne ajaline trend ilmneda ning kui ilmneb, siis mitte sama tõusuga.

Trendianalüüs. Suurema representatiivsuse saavutamiseks tuleviku prognoosimisel manipuleeriti veetasete mõõdetud maksimume vastavalt trendi tõusule. Mida vanem vaatlus, seda enam tulemust vähendati. Kui olulist trendi ei leitud, siis veetasemete andmeid ei manipuleeritud. Selliselt saadi teoreetilised veetasemete maksimumid, kui kliima olnuks kogu aeg selline nagu tänapäeval (Joonis 11). Manipuleeritud andmetest arvutati tänapäeva kliimaolusid arvestavad veetasemete ületustõenäosused.

Analüüsiahel

Vooluhulkade mõju

Kõikide üleujutusalade kõrgveepiire pole võimalik määrata mõõtmise teel. Selle asemel on vajalik modelleerimine ehk kõrgveepiiri kaudne prognoosimine. Modelleerimisel lähtutakse eeldusest, et kõrgveepiir on määratud muuhulgas vooluhulkade poolt (Joonis 8). Vooluhulkade modelleerimisel lähtutakse voolu suundadest ning vastavalt Hommiku võrrandile (Timmusk, 2020) maakattest, kuivendusvõrgust, äravoolu iseloomustavatest kartogrammidest. Voolu suunad tekitatakse peamiselt kõrgusmudeli põhjal.



Joonis 8. Halliste j maksimaalsete vooluhulkade ja veetasemete seos

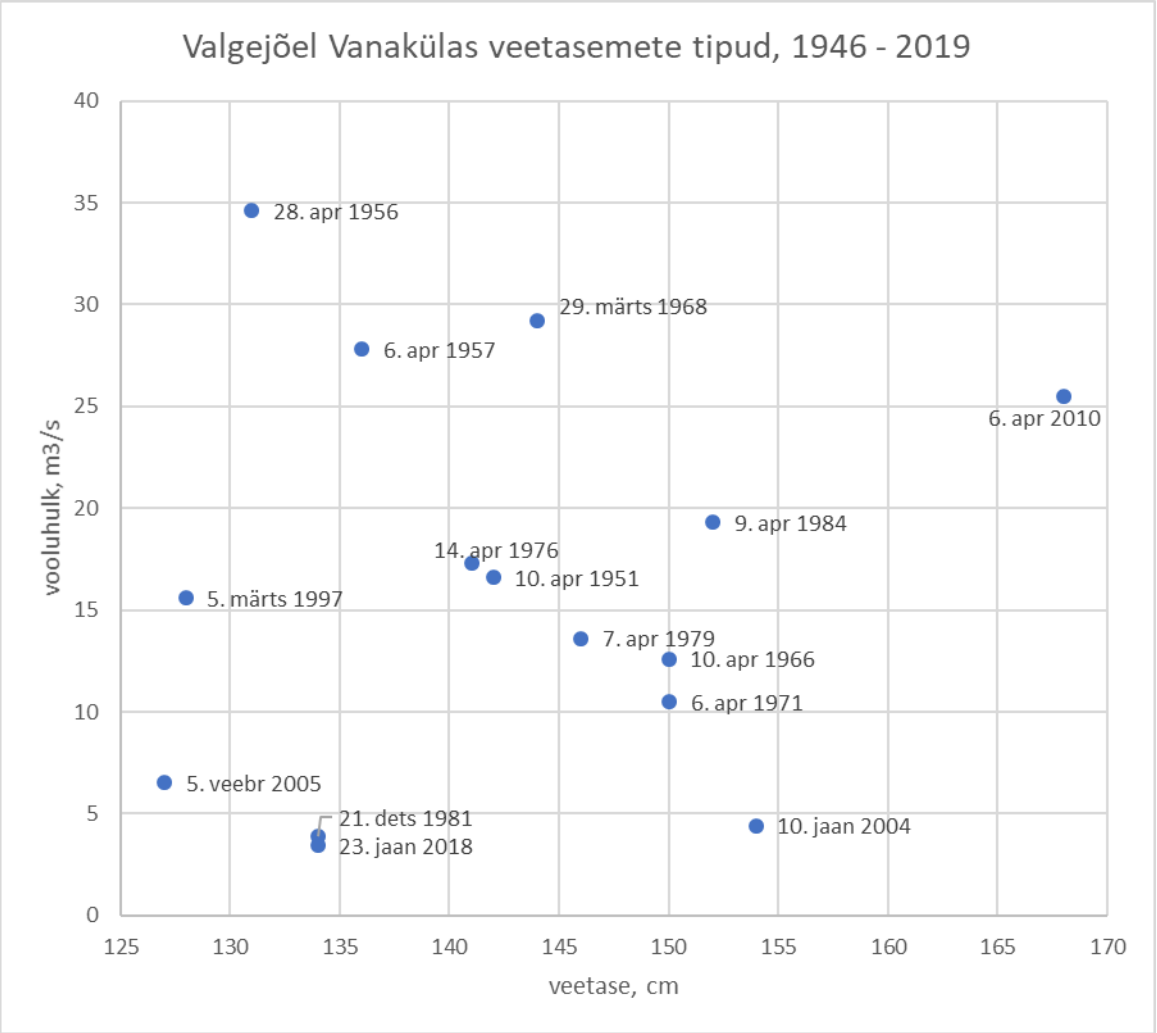
Ekstreemsel vooluhulgal ja üleujutusel on aga kahesuunaline vastasmõju. Lisaks sellele, et suur voolhulk põhjustab üleujutust, üleujutus omakorda vähendab allavoolu jääva vooluhulga maksimumi. Seega, vooluhulkade ja üleujutuste modelleerimisel võiks rakendada interaktiivset lähenemist, kus igas tsüklis mudel täpsustub. See eeldaks aga vooluhulga mudeli täiendamist selliselt, et üleujutusalad oleksid sisendiks vooluhulkade prognoosimisel.

Samas, osades seirelävendites on vooluhulga ja veetaseme seos piiratud. Näiteks, Valgejões Vanaküla lävendis on nende korrelatsioonikoefitsient ainult 0,55 ja R^2 vaid 0,3.

Jääummistuste mõju

Rokaya *et al.* (2018) järgi mõjutab ligi 60% põhjapoolkera jõgede veetaset oluliselt jõejää. Vooluhulk ei tarvitse jääpaisutuse ajal suur olla.

Näiteks, Valgejões Vanaküla lävendis on ette tulnud, et ekstreemselt kõrgete veetasemete ajal on vaid äravoolunormi suurusjärgus vooluhulk (Joonis 9). Veetasemete tipud ei korreleeru sugugi vooluhulkadega. Pole kahtlust, et lisaks vooluhulkadele on kriitiliseks veetasemete teguriks just jääummistused. Kõrgeim veetase, 168 cm, kaasnes 6. apr 2010 kõrge vooluhulgaga 25,5 m^3/s. Kõrguselt teine veetase, 154 cm, aga toimus 10. jaanuaril 2004 (sugugi mitte kevadel) ajal, mil vooluhulk oli nii madal kui vaid 4,41 cm m^3/s. Vanaküla näitel näeme, et 15 kõrgeimast veetaseme juhtumist neli esinesid talvekuudel ning need neli juhtumit eristusid ühtlasi võrdlemisi väikse vooluhulga poolest. Järelikult 15st juhtumist oli vaid 11 põhjustatud suurest vooluhulgast, kuid ka nende puhul võis mängida täiendavat rolli varieeruv jääummistus. Ülejäänud neli juhtumit olid põhjustatud tõenäoliselt ainult jääummistustest.



Joonis 9. Veetasemete tipud Valgejõel Vanakülas ja vooluhulgad samadel päevadel

Jääummistuste prognoosimiseks on näiteks Kanadas ja Saksamaal rakendatud RIVICE mudelit (Environment Canada, 2013). See on aga arvutusmudel, mis pole ühildatav kättesaadavate GIS-andmetega. Jää komponent on ka HEC-RAS mudelis. Selles tuleb kasutajal sisestada detailsed jää andmed jõe ristlõigetes ning mudel saab selle järgi veetasemeid prognoosida. Kui aga jää andmed puuduvad, siis pole see komponent praktiliselt kasutatav.

Tänapäeval puudub seega praktiliselt kasutatav meetod olemasolevate ruumiandmete põhjal jääummistuste ning nende põhjustatud veetasemete prognoosimiseks. Selle asemel kasutatakse pigem kognitiivseid lähenemisi: hajusloogikat ja neuraalvõrke (Rokaya *et al.*, 2018). Seega, jääummistustest põhjustatud ekstreemsete veetasemete sagedusi, paiknemisi ja kõrgveepiire on deterministlikku hüdraulilisse GIS mudelisse praktiliselt võimatu integreerida.

Jääummistuste põhjustatud üleujutusalade ja nende kõrgveepiiride määramine jääb tulevikus lahendamist vajavaks ülesandeks. Käesolevas analüüsis on võetud arvesse ainult hüdroloogiliste seirepunktide juures olevaid jääpaisutuste tõttu tekkinud veetasemeid. See tähendab, et **üldiselt on käesolev analüüs piiratud selliselt, et jääpaisutuste tõttu tekkinud kõrgvett ei arvestata**. Sellest johtuvalt, mudelist võivad olla välja jäänud või alahinnatud mingid suured üleujutusalad, kuid selle puudujäägi ulatus on teadmata.

Jääpaisutuste väljasorteerimiseks rakendati vastavat jääpaisutusparameetrit

$$IP = \frac{H^2}{\sqrt{Q}}$$

milles IP on jääpaisutusparameeter, H on veetase ja Q on vooluhulk. Kõrgete IP väärtustega veetasemed sorteeriti vooluhulkade poolt põhjustatud üleujutusmudelist välja. Täpsemalt, kui mudel alahindas veetasemeid võrreldes mõõdetud andmetega, kontrolliti, kas alahindamine võib tuleneda jääummistustest ning viidi läbi vastav väljasorteerimine. Täiendava infona kasutati kuupäevi: talvised kõrgvee kuupäevad (keskmise või madala vooluhulgaga) on eelduslikult põhjustatud jääpaisutusest.

Kui suure vooluhulga poolt põhjustatud ekstreemsetele üleujutustele lisandusi seirelävendis jääpaisutuste poolt põhjustatud ekstreemsed üleujutused, siis manipuleeriti ületustõenäosustega.

Qp% = Hp% x (100- IR%),

milles Qp% on vooluhulga ületustõenäosus, Hp% - veetaseme ületustõenäosus ja IR% - jääpaisutuste osakaal ekstreemsete veetasemete põhjustajatena.

Vanaküla näitel, kui jääpaisutus põhjustab 27% ekstreemsetest veeseisudest, siis 10% tõenäosusega esinevale veetasemele vastab 7% tõenäosusega esinev vooluhulk.

Analüüsi etapid

Kõrgveepiiri modelleerimine viidi läbi kuueetapiliselt (Joonis 10).

Etapp 1. 's6el' mudeli abil kaardistati üle Eesti suurte üleujutusalade asukohad ja esialgsed piirid (Peatükid 2 ja 3).

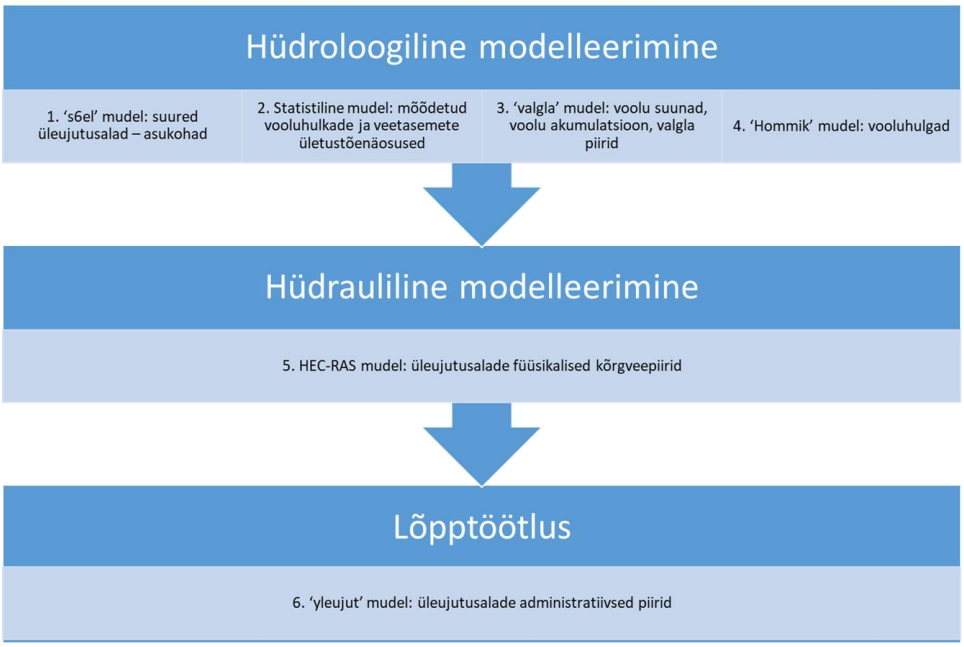
Etapp 2. Seireandmete statistilise analüüsi abil määrati mõõdetud vooluhulkade ja veetasemete aastased maksimumid ning nende ületustõenäosused.

Etapp 3. 'valgla' mudeli abil määrati üle Eesti kogu vetevõrgu voolusuunad, voolu akumulatsioon ja valgalad. 'valgla' mudel on 'Hommik' mudeli sisendiks.

Etapp 4. 'Hommik' mudeli abil määrati üle kogu Eesti erinevatele ületustõenäosustele vastavad vooluhulgad. Peamiseks väljundiks on 10 aasta maksimum. 'Hommik' mudel kasutab sisendina 'valgla' mudelit. 'Hommik' mudeli tekitatud voohulgad on sisendiks HEC-RAS mudelisse.

Etapp 5. HEC-RAS mudeli abil määrati üleujutusalade kõrgveepiirid. Modelleeriti neid jõelõike, mida tõi esile 's6el' mudel. HEC-RAS mudeli sisendina kasutati statistilise mudeli väljundina arvutatud mõõdetud vooluhulki ja veetasemeid ning täiendavalt 'Hommik' mudeli simuleeritud vooluhulki.

Etapp 6. 'yleujut' mudeli abil lihtsustati üleujutusalade piire. Mudeli väljundiks on piiratud arv võrdlemisi lihtsate piiridega üleujutusalade polügoone, milledest eemaldatud väiksed saared (piirväärtus: 100 ha). Niisuguse lihtsustamise eesmärgiks on üleujutusalade efektiivse administreerimise võimaldamine.



Joonis 10. Suurte üleujutusalade kõrgveepiiride modelleerimine

4.4. Hüdroloogiliste seireandmete analüüs

Materjal

Analüüsiti päevakeskmiste vooluhulkade ja veetasemete andmeid kõikides siseveekogude seirelävendites, mis analüüsi hetkel töötasid.

Jaam	Jõgi	Vaatlusperiood
Aesoo	Navesti	1929-2019
Ahja	Ahja	1960-2019
Alajõe	Alajõgi	1978-2019
Arbavere	Loobu	2007-2019
Audru	Audru	2007-2019
Elva	Elva	1981-1996, 2009-2019
Hüüru	Vääna	1968-2019
Kaansoo	Saarjõgi	1980-1966, 2007-2019
Kasari	Kasari	1925-2019
Kehra	Jägala	1976-2019
Keila	Keila	1962-2019
Kirumpää	Võhandu	2011-2019
Kloostrimetsa	Pirita	1979-1993, 2007-2019
Konuvere	Vigala	2007-2019
Korela	Piusa	1962-1966, 2007-2019
Kulgu sadam	Narva vhdl.	1970-2019
Kuningaküla	Narva	2012-2019
Kääpa	Kääpa	1960-2019
Laadi	Reiu	2007-2019
Luguse	Luguse oja	1970-2019
Lüganuse	Purtse	1970-2019

Jaam	Jõgi	Vaatlusperiood
Narva karjäär	Mustajõgi	2003-2019
Narva linn	Narva	2003-2019
Nurme	Sauga	2007-2019
Oore	Pärnu	1923-2019
Pajupea	Leivajõgi	1960-2019
Pajusi	Põltsamaa	1980-2019
Pudisoo	Pudisoo	1986-2019
Põhjaka I	Esna	1971-2019
Põhjaka II	Särgvere pkr	1976-2019
Rannu-Jõesuu	Emajõgi	1922-2019
Reola	Porijõgi	1986-2019
Riisa	Halliste	1925-2019
Roosisaare	Tamula järv	2007-2019
Roostoja	Rannapungerja	1956-2019
Räpina	Võhandu	1925-2019
Separa	Avijõgi	2011-2019
Sämi	Kunda	1963-2019
Taheva	Mustjõgi	2007-2019
Tahkuse	Pärnu	1932-2019
Tartu	Emajõgi	1867-2019
Tarvastu	Tarvastu	2007-2019
Toila-Oru	Pühajõgi	2007-2019
Tori	Prandi	1956-2019
Tudulinna	Tagajõgi	1956-2019
Tõlliste	Väike-Emajõgi	1922-2019
Tõrva	Õhne	1949-2019
Tõrve	Pedja	1930-2019
Tänassilma	Tänassilma	1925-1938, 1946-1969,2009-2019
Türi-Alliku	Pärnu	1977-2019
Uue-Lõve	Lõve	1967-2019
Vanaküla	Valgejõgi	1929-2019
Varangu	Selja	2011-2019
Vasknarva	Narva	1903-1917, 1921-1943,1945-2019
Vihterpalu	Vihterpalu	1964-2019
Vodja	Vodja	1964-2019

Pikaajalised trendid

Ajaliste trendide analüüsimiseks rakendati MS Excel laiendi XLSTAT Mann-Kendalli trenditesti, kasutades olulisuse määra 5%, tõenäosuse intervalli (Sen'i tõus) 95% ja kontinuaalsuse korrektsiooni.

Test andis vastuse küsimusele, kas veetasemetel esineb oluline ajaline trend ning kui järsk on trendi tõus.

Ületustõenäosused

Veetasemete ja vooluhulkade empiirilised ületustõenäosused arvutati vastavalt Oosterbaan (1994) võrrandile

F(x >x_r)=r/(n+1)

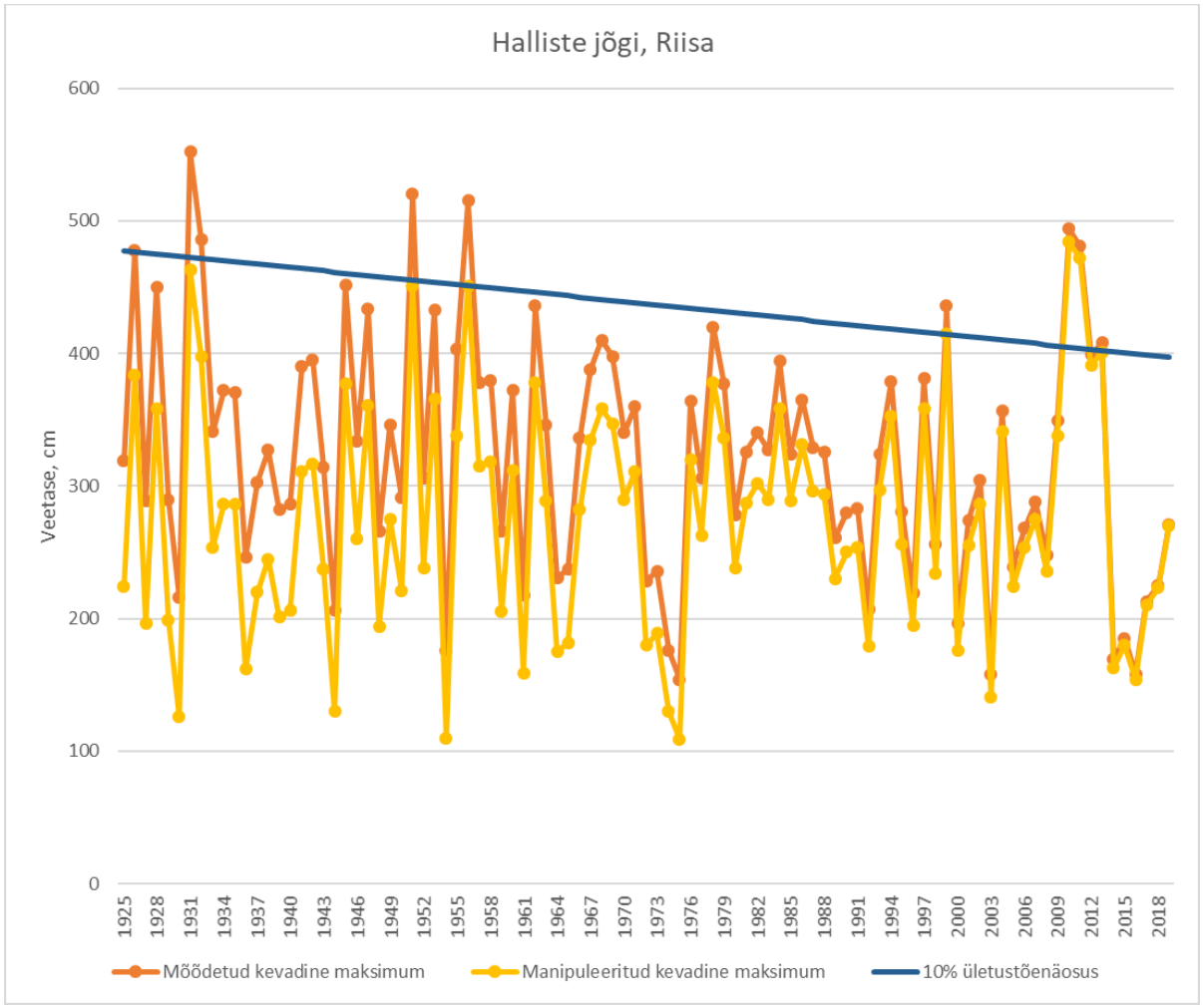
kus n on mõõdetud aastate arv, r – antud aasta järjekorranumber vooluhulga või veetaseme kahanemise järjekorras ja F(x > xr) – vastava vooluhulga või veetaseme ületustõenäosus.

Juhul kui vaatlusrida oli oluliselt lühem kui korduvussagedus, määrati ületustõenäosus teoreetiliselt nagu Loigu & Reihan (2008) töös. Vastav Foster-Rõbkini tabel võeti Votruba & Brozha (1989) raamatust.

Pikaajalise trendi olemasolul manipuleeriti veetasemete ja vooluhulkade maksimume selliselt, et trend ära kaoks (Joonis 11). Näiteks, kui 10% ületustõenäosusega vooluhulga Q10% ajalist trendi väljendada tõusuga k, siis manipuleeritud vooluhulga Q10%mod väärtused arvutati võrrandist:

$$Q10\%man = Q10\% + k \times t$$

Selles võrrandis t jookseb tagurpidi, nii et tänapäeval t = 0, kümme aastat tagasi t = 10 jne.



Joonis 11. Ajalise trendi eemaldamine veetasemete vaatlusandmetest

4.5. Vooluhulkade GIS modelleerimine

Tehniline lahendus – 'Hommik' mudel

Algne võrrand

Kevadine maksimaalne äravool arvutati vastavalt K. Hommiku võrrandile (Eesti Maaparandusprojekt, 1989; Timmusk, 2020):

$$q_{kev.maks.p\%} = \overline{q} \cdot \left[\frac{112 - 52 \cdot \log(p+1)}{(A+1)^{0,14}} \right]^{1-k_{95\%}-r}$$

kus

p – ületustõenäosus, %

$\overline{q}$ – äravoolunorm (l/(s·km^2);

A – valgala pindala, km^2 (päevakeskmise maksimaalse äravoolu määramisel valglas pindalaga alla 100 km^2 voetakse arvutustes A = 100 km^2);

$k_{95\%}$ – päevakeskmine äravoolu moodulkoefitsient;

r – parameeter, mis arvestab valgala soisuse, metsasuse ja kuivenduse mõju kevadisele maksimaalsele äravoolule, arvutatakse valemiga:

$$r = 0,004 \cdot \left[A_{ms} + 0,4 \cdot (A_r + A_{km}) + B + 0,2 \cdot C \right] - 0,20$$

Kus A_{ms} – madalsoode ja soometsade pindala (%) valgala pindalast;

A_r – rabade pindala (%) valgala pindalast;

A_{km} – intensiivselt kuivendatud madalsoode pindala % valgala pindalast;

B – metsaga ja metsavõsaga kaetud ala pindala märjal ja kuival mineraalmullal % valgala pindalast;

C – lagedate mineraalmuldade alade pindala % valgala pindala.

Lisaks soovitatakse võrrandis üle 2% kaldega aladel metsa ja lageala pindala ees olevat koefitsienti vähendada (see suurendab vooluhulka) kuni nullini.

Eeldused

Hommiku võrrand eeldab, et ekstreemseid vooluhulki puhverdavad (vähendavad) eelkõige valglal paiknevad looduslikena säilinud madalsood ja metsad, samas kui lagealadelt tuleb väga palju kevadist suurvett. Madalsoid vaadeldakse kui tasandikke, kust lumesulamisvesi kiiresti ära ei voola. Samal ajal, sood salvestavad soojust ega lase nii suurel hulgal lumel koguneda kui mineraalmaad. Metsas aga sulab lumi aeglaselt ja ebaühtlaselt, mistõttu suurvesi tuleb väiksem.

Mudel ei saa aga eriti täpselt teada tegelikku olukorda looduses. Näiteks, tänapäeval on suur osa puistutest alla 10 aastased metsad ja raiesmikud, sarnanedes funktsionaalselt lagealadega. Suurel osal kuivendatud madalsoodest kuivendus tänapäeval enam hästi ei tööta ja nad funktsioneerivad käesolevas kontekstis pigem kui looduslikud madalsood.

Eeldus, et mets ja madalsoo efektiivselt kevadisi maksimume puhverdavad ning lagealad suurendavad, ei tarvitse tänapäeval alati kehtida. Kui lund sajab võrdlemisi vähe ja see sulab pehmete ilmadega, võivad metsad lagealadest rohkem lund koguda ja seetõttu hoopis suuremat suurvett tekitada. Arvestades, et metsas ja lagealal on olukord erinev, võib suurvett vähendada maastiku mitmekesisus ning suurt suurvett tekitada eelkõige ühetaolise maastikuga valgla, kus lumi sulab kõikjal korraga.

Hommiku võrrand võtab arvesse valgala: mida suurem see on, seda väiksem on pindalaline äravool. Sellel on erinevad põhjused. Suurtel valglatel esinevad kõrgvett puhverdavad lammid. Erinevatest piirkondadest tuleb sulavesi veidi erineval ajal.

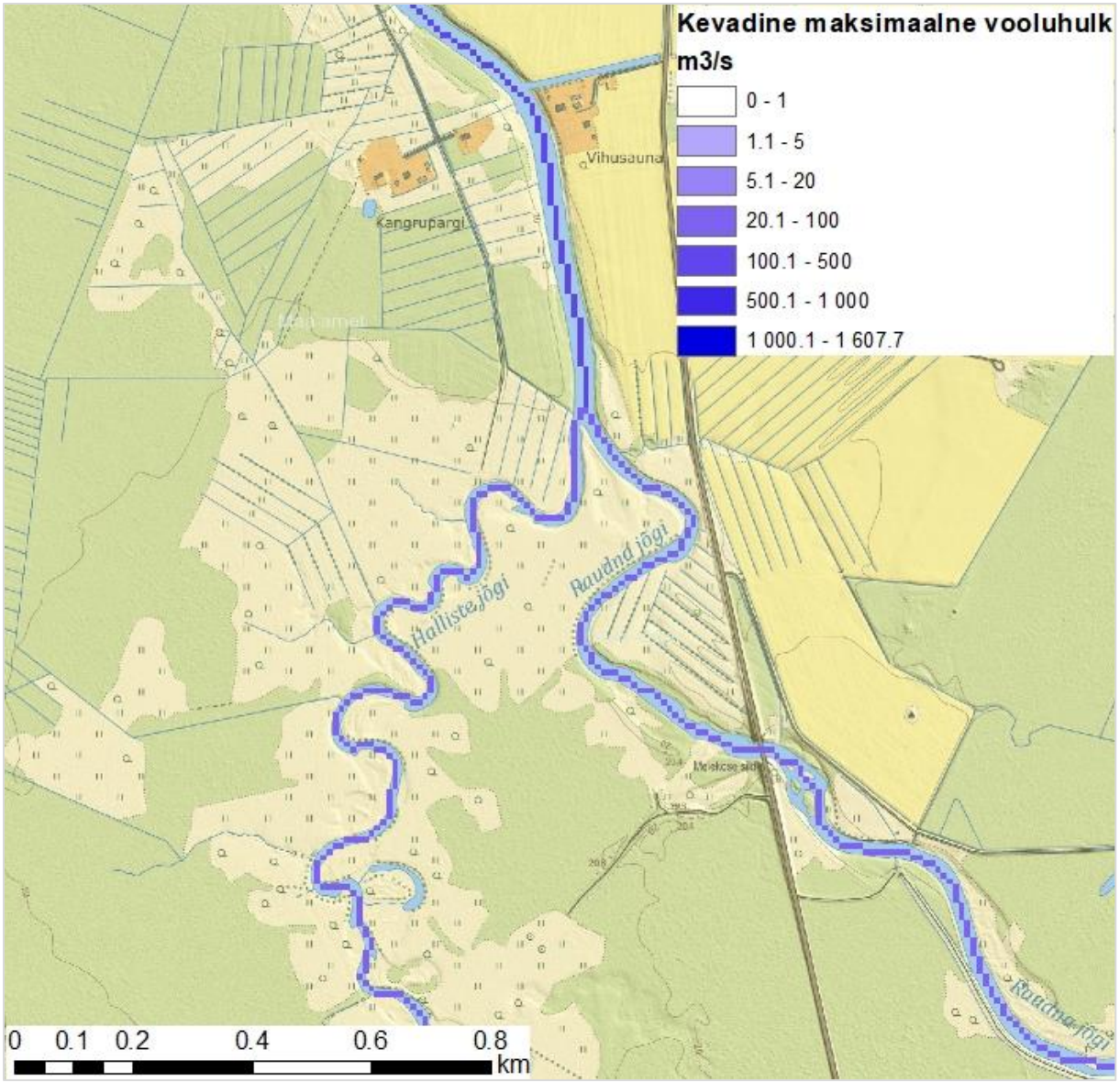
Kui aga suurel valglal pole üleujutusalasid ega piirkondlikke erinevusi, siis võiks suure valglalt äravool olla võrdne väiksega. Samas, ka väiksel valglal võib esineda oluline maastikuline mitmekesisus ja üleujutusalad, mis suurvett puhverdavad.

Paljudel põhjustel tuleb leppida, et vooluhulga mudeli prognoosijõud on piiratud.

Hommiku võrrandi rakendamine

GIS mudel

Vooluhulkade modelleerimiseks viidi võrrand GIS kujule (Joonis 12). Pindalade ja kattuvuste arvutamiseks kasutati *ArcGIS Spatial Analyst* tööriistakasti. Nii valglate pindalad kui ka maakatete pindalad arvutati *Accuflux* operaatoriga, summeerides igal valglal vastavalt kas kõik pikslid või ainult vastava maakatte pikslid. Kattuvuste osakaalude arvutamiseks jagati kattuvus kogupindalaga. Edasised arvutused tehti vastavalt Timmusk (2020) juhendile, kasutades lihtsamate arvutuste jaoks Math tööriistakasti ning keerukamate tehete jaoks tööriista Raster Calculator.



Joonis 12. Kevadine maksimaalne vooluhulk Raudna jõe suubumiskohas ületustõenäosusega 10%

Rabade ja kuivendatud madalsoode kordajad löödi lahku, et võimaldada paremat kalibreerimist.

Võrrandi täiendamine

Hommiku võrrandisse lisati **järvede ja lammide osa** valgalast, mis täiendavalt mõjutavad parameetrit r. Kalibreerimisel anti osadele järvedele erinev kaal. Näiteks, niisugused läbivoolujärved nagu Tamula j ja Kaiu j. puhverdavad pindalaliselt vooluhulki oluliselt enam kui rabalaukad.

Tundub, et Hommiku võrrand ei arvesta talvise **veeakumulatsiooni geograafilist dünaamikat**. Näiteks, Lääne-Eesti saartel on pehmem kliima kui Ida-Eestis, mistõttu akumuleerub Lääne-Eestis lund vähem. Seetõttu võiks seal prognoosida väiksemaid kevadisi ekstreemume.

Nõlvakalle on algses võrrandis kasutusel binaarse parameetrina: alla ja üle 2%. Tänapäeva paremaid arvutusvõimalusi arvestades on mõistlik see muuta pidevaks parameetriks. Kallet arvestati järgmiselt:

$$KP = \frac{1}{K^2 + 1}$$

milles KP on kaldeparameeter ja K – kalle protsentides. Kaldeparameetri väärtus on seda suurem, mida tasasem on ala. Kaldeparameetriga korrutati parameetri R arvutamisel läbi mineraalmaadel paiknevate metsade pindala (B) ja lagealade pindala (C).

Ruumiandmete allikana kasutati peamiselt ETAK-it ja kõrgusmudelit (Maa-amet, 2021).

Ruumiline detailsus

Erinevalt 1D-võrrandist pakub GIS võimalust võtta maastiku mõju vooluhulga ekstreemumitele arvesse suurema detailsusega. Arvestades, et jõgi kogub vee valglalt, on õigustatud selline lähenemine, et arvestada valglale jäävate erinevate maakatete/kasutuste pindalad. Vooluhulga puhverdamise kirjeldamisel jääb 1D mudel hätta. Oluliseks osutub eelkõige küsimus, millisel maastikul paikneb jõgi või kraav ise koos oma üleujutusalaga. Maastikud jõesüsteemist eemal, olgugi valgla piires, on väiksema tähtsusega. Näiteks väike nõlvakalle puhverdab vooluhulka hästi seal, kus on jõetasandik. Samal ajal jõest eemal paiknev tasandik vooluhulka oluliselt ei puhverda. Käesolevas mudelis võeti siiski arvesse peamiselt vaid järvede erinevat paiknemist suurel voolul või sellest eemal.

Hommiku mudeli kalibreerimine

Kalibreeritavad parameetrid seati kalibreerimisjärjekorda selliselt, et kõigepealt kalibreeriti need parameetrid, mis mõjutavad võrdlemisi ühtlaselt kogu Eestit ning kõige lõpus need, mis kirjeldavad erandeid.

Parameeter 1. Üldparameeter (algne väärtus 112), mis defineerib maksimumi baastaseme ja toimib ühtlaselt kõikidele jõgedele. Kalibreeriti nii, et modelleeritud ekstreemum jääks kõikjal umbes võrdseks või kõrgemaks kui vaadeldud ekstreemum, kalibreerimisfaktor seega suurem või enam-vähem võrdne ühega.

Parameeter 2. Valgala astendaja. Analüüsiti, kas kalibreerimisfaktor korreleerub valgalaga ja kalibreeriti vastavalt valgala astendajat.

Parameeter 3. Lageala kordaja. Lagedad mineraalmaad toimivad mudelis ekstreemumi tõstjana. Võrreldi mõningaid peamiselt lagedate mineraalmaade (põllumaad) jõgesid looduslike maastike jõgedega. Vajadusel kalibreeriti kordajat.

Parameeter 4. Metsa kordaja. Võrreldi mineraalmetsade jõgesid muude jõgedega. Etalonideks valiti Laadi, Pudisoo ja Tudulinna lävendid.

Parameeter 5. Madalsoo kordaja. Etaloniks Vihterpalu jõgi.

Parameeter 6. Vee kordaja. Võrreldi Emajõe, Narva jõe ja Võhandu jõe kalibreerimisfaktorit teiste, järvedeta jõgedega. Vajadusel anti erinevatele järvedele pindalaliselt erinev kaal.

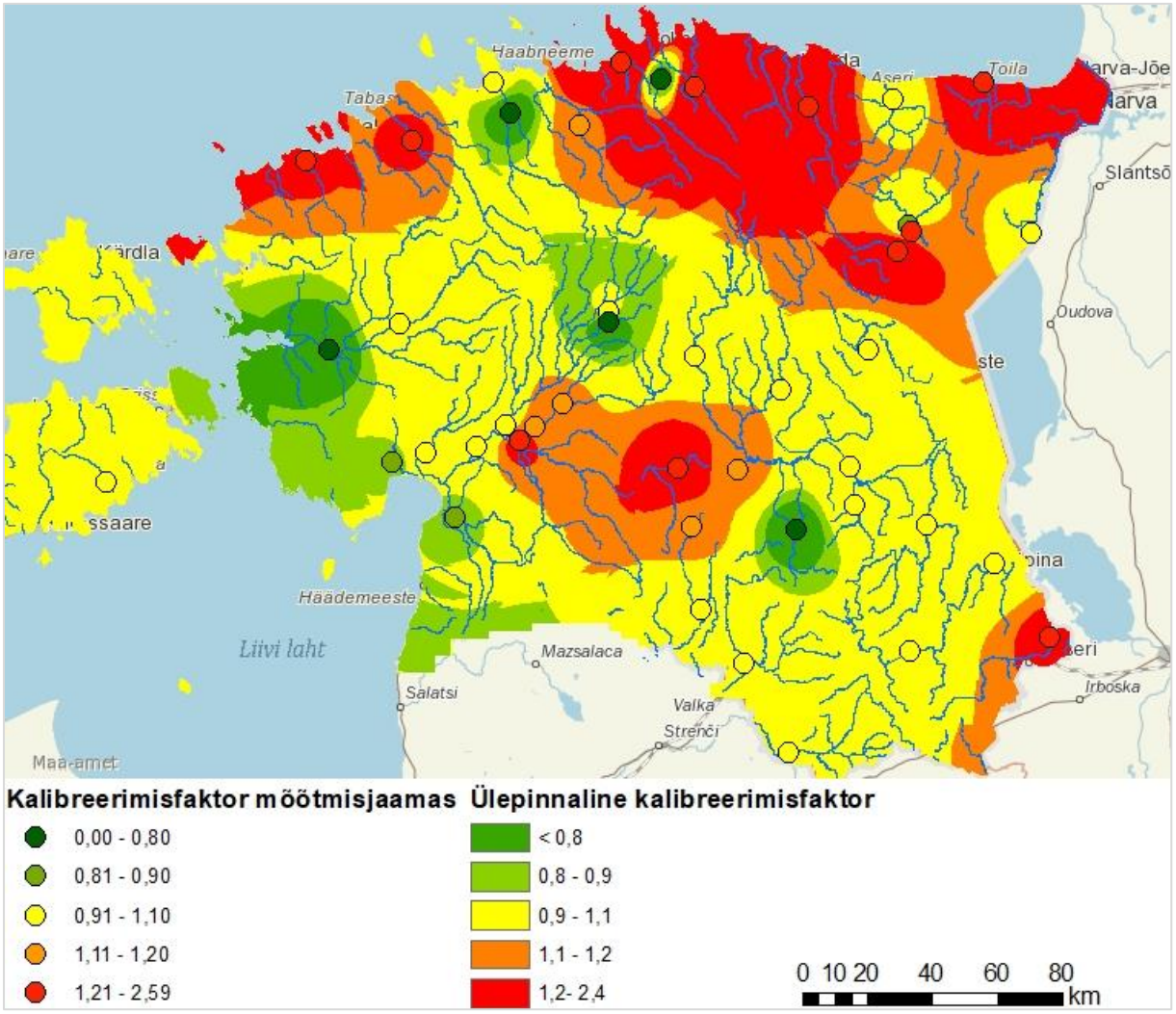
Parameeter 7. Lammide kordaja. Võrreldi lammirohkeid jõgesid nendega, kus lamme vähe. Etalonideks Kasari ja Mustjõgi.

Parameeter 8. Kaalutud keskmine päevakeskmine äravoolumoodul – analüüsiti eraldi allikaliste alade (peamiselt infiltratsioonialade) kalibreerimisfaktorit. Võeti arvesse, et vastavalt Timmuski (2020) juhendile, parasniisketel ja kuivendatud või kuivendatavatel (välja arvatud allikalistel) maadel q95% väärtus on lähedane nullile. Vajadusel nihutati kuivendatud alade kohal väärtust nulli suunas.

Parameeter 9. Nõlvakalle. Kontrolliti, kas kõrgustikujõgede kalibreerimisparameeter hälbib allapoole. Etalonideks Elva, Tõlliste ja Taheva lävendid.

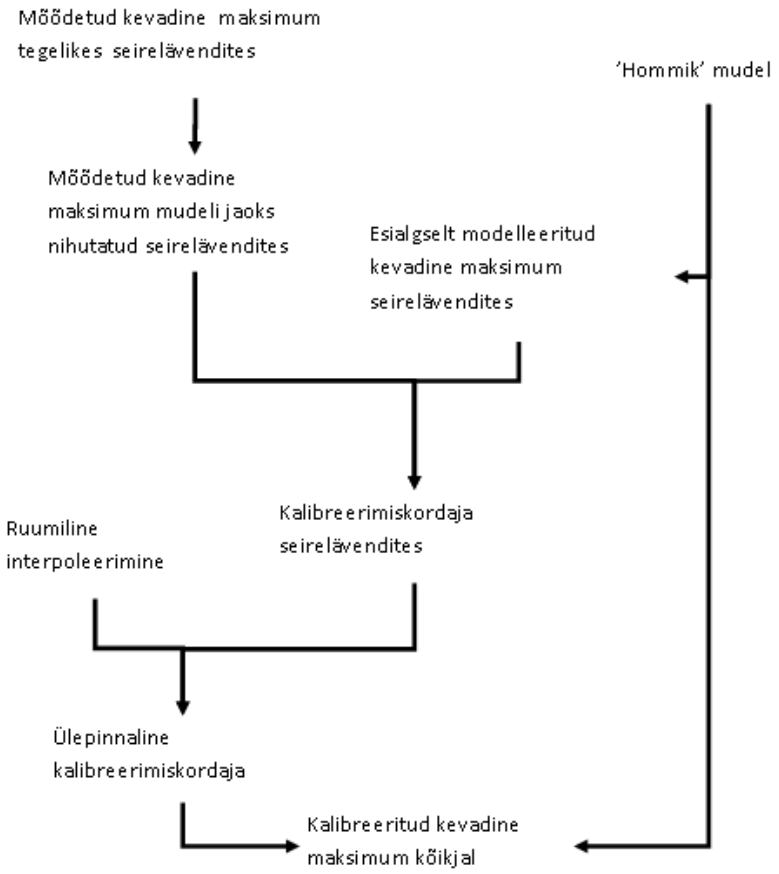
Parameeter 10. Rabade ja kuivendatud madalsoode kordajad löödi lahku. Etalonideks valiti Sauga j., Kääpa j ja Leivajõgi.

Kalibreerimist viidi läbi, liikudes mööda parameetrite järjekorda edasi-tagasi. Kui mingi parameetri kalibreerimine viis mudeli nihkesse, astuti üks või mitu sammu tagasi, et eespool olevaid parameetreid uuesti kalibreerida.



Joonis 13. Modelleeritud ja mõõdetud 10% ületustõenäosusega kevadise vooluhulga maksimu mid. kalibreerimisfaktor = modelleeritud vooluhulk / mõõdetud vooluhulk

Mudeli kalibreerimise tulemusena saavutati olukord, kus modelleeritud vooluhulkade erinevus mõõdetuist jäi enamasti 20% piiresse (Joonis 13). Seda modelleerimisviga rakendati kui ruumilise varieeruvusega kalibreerimiskordajat vooluvete kevadise maksimumi prognoosimiseks täieliku katvusega üle Eesti (Joonis 14).



Joonis 14. Vooluhulkade kalibreerimine üle Eesti

4.6. HEC-RAS mudeli rakendamine kõrgveepiiri määramiseks

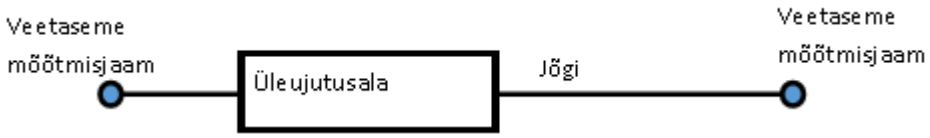
Tehnoloogia

Modelleerimiseks kasutati tarkvara HECRAS 6.0.0, tööriista 'Floodplain mapping'.

Uurimisalade valik ja piiritlemine

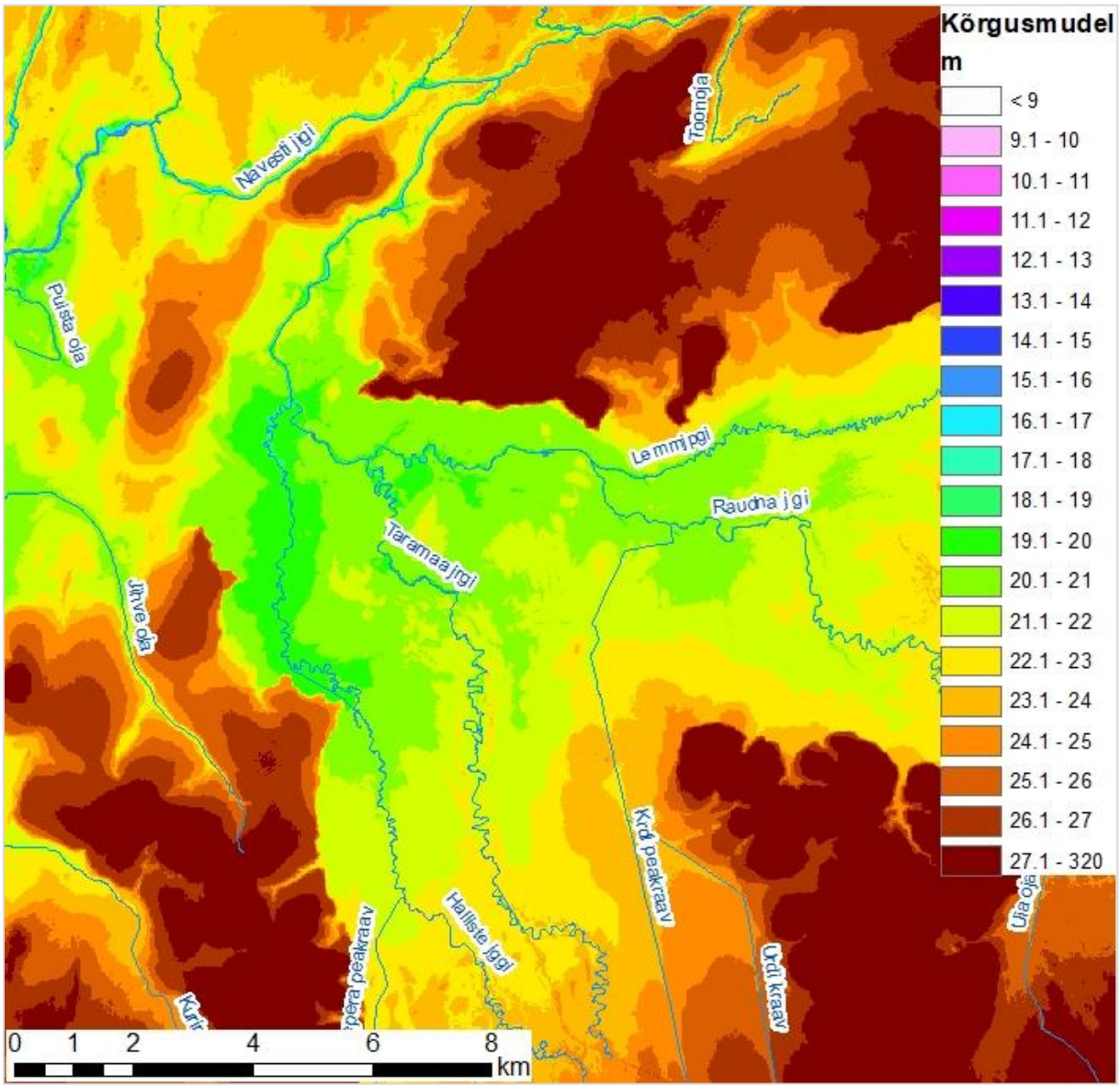
Kogu Eesti sisevete võrgu ja selle üleujutusalade hüdrauliline modelleerimine ühe uurimisalana on ebaotstarbekas, sest tehnoloogiliste piirangute tõttu oleks see kas võimatu või väga keeruline. Vigade otsimine oleks keeruline. Mudeli jooksutamine oleks ajamahukas. Süsteemi kokkujooksmisel võiks kogu töö kaotsi minna. Niisugune lähenemine ei võimaldaks lähteseadeid – voolurežiim, karedusarvu väärtused ja meetod jt – ruumiliselt varieerida. Modelleerimisprotsessi oleks keeruline kontrollida. Seetõttu analüüsiti üleujutusalasid ühekaupa või väikeste gruppidena, jõestike kaupa.

Uurimisalade piiritlemisel võeti arvesse sõeluuringust tuvastatud alad. Need siseveekogude lõigud, kus esialgset üleujutusala ei tuvastatud, võidi uurimise alt välja jätta. Uurimise alt välja jäid eelkõige ülemjooksudele jäävad lõigud, mis paiknesid esialgsetest üleujutusaladest ülevalpool. Samuti jäid välja terved jõed, milledel esialgset üleujutusala ei tuvastatud.



Joonis 15. Uurimisala piiritlemise loogika kõrgveepiiride hüdraulilisel modelleerimisel

Uurimisalade piiritlemisel võeti arvesse veetasemete seire asukohti (Joonis 15). Mudelit püüti ruumiliselt kohandada nii, et kõige alumine ristlõige läbiks veetaseme seirejaama või oleks sellest veidi (vertikaalselt kuni 2 m ja horisontaalselt kuni 3 km) allpool. Kõige ülemised ristlõiked paigutati samuti seirejaamade asukohtadesse, mõõtmisandmete puudumisel aga võeti kõige ülemise ristlõike paigutamisel arvesse 's6el' mudeli väljundit, vooluhulki ja kartograafilisi iseärasusi. Uurimisala piiritleti selliselt, et kõik 's6el' mudeli näidatud esialgsed üleujutusalad sisse jääksid. Uurimisalast jäeti välja vooluveekogude lõigud, kus kevadine maksimaalne vooluhulk oli alla 5 m^3/s või kus kõrgusmudeli ja muude kaardikihtide järgi visuaalselt hinnates ei saanud suurt üleujutusala olla.



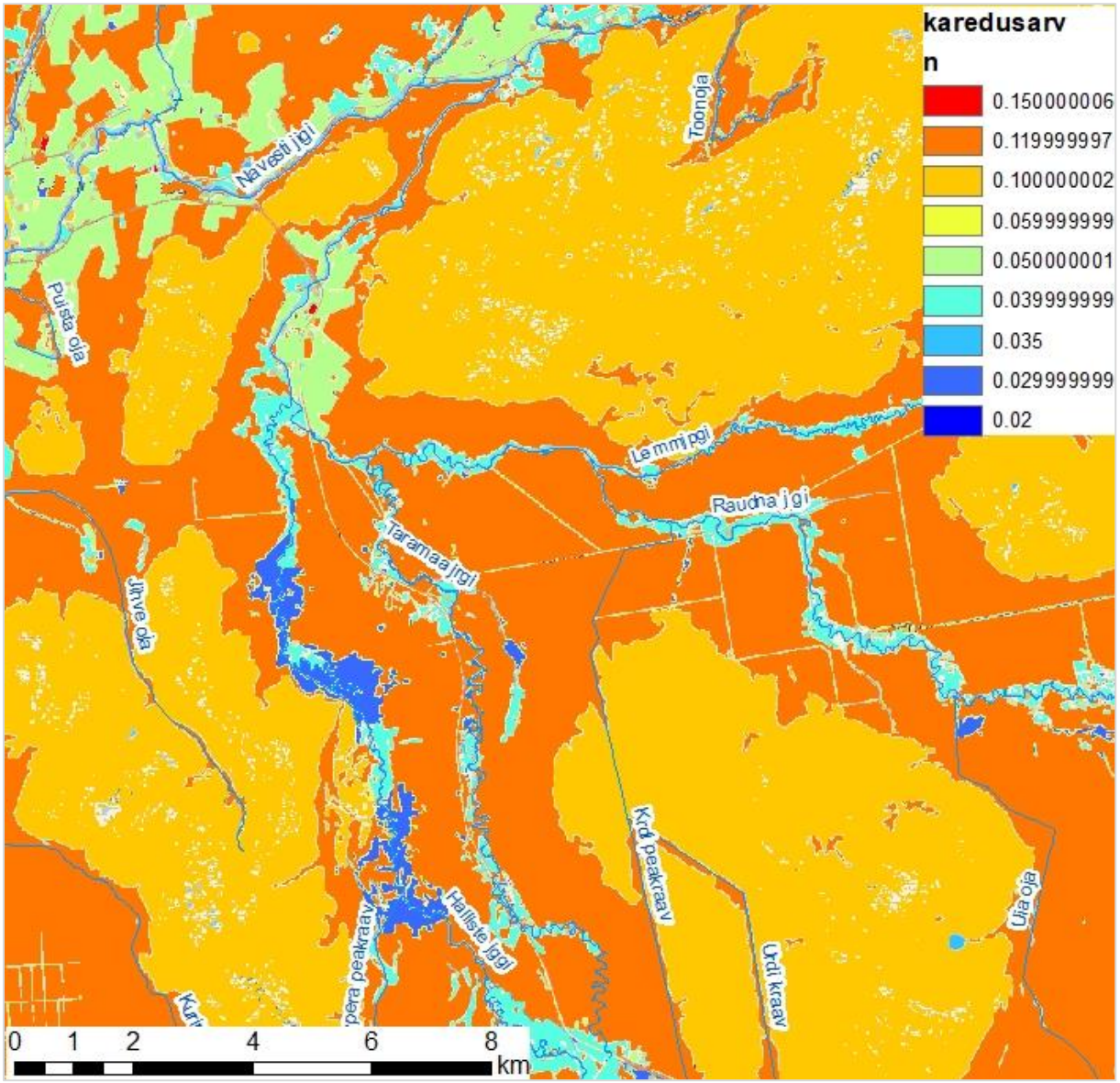
Joonis 16. Väljavõte kõrgusmudelist

Kõrgusmudel

Kõrgusmudelina rakendati Maa-ameti (2020) 10 m piksli suurusega maapinna kõrgusmudelit (Joonis 16).

Maakate

Maakatte/kasutuse andmed võeti ETAK-ist (Maa-amet, 2020), milles lähtuti maakatte tüübist. Maakatte andmeid oli tarvis eelkõige karedusarvu määramiseks.



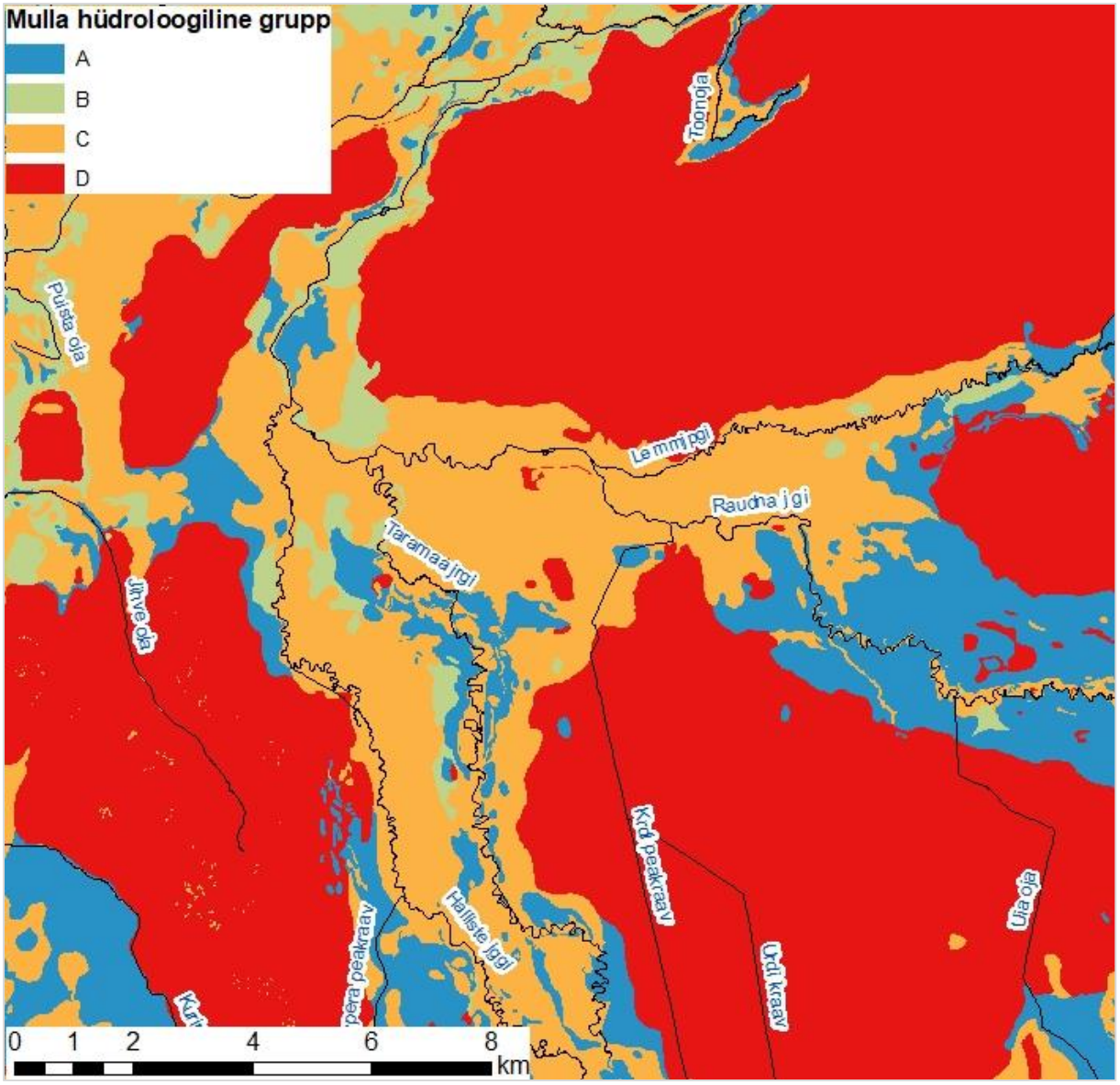
Joonis 17. Karedusarv n Soomaa piirkonnas

Karedusarv

Karedusarv n (Manning's n) määrati, võttes arvesse Maaeluministri (2019) määruse lisa 4 (Loodusliku voolusängi karedusarv) ja Kasutusjuhendile (2020). Näitaja jääb peamiselt 0,1 kanti (Joonis 17).

Maakate	Min karedusarv	Max karedusarv
Andmeid pole	0.01	0.02
Haritav maa	0.025	0.05

Maakate	Min karedusarv	Max karedusarv
Lage	0.02	0.04
Õu	0.05	0.1
Puittaimestik	0.06	0.12
Märgala	0.05	0.1
Seisuveekogu	0.02	0.035
Turbaväli	0.015	0.03
Vooluveekogu	0.02	0.035
Muu kõlvik	0.02	0.04



Joonis 18. Mulla hüdroloogiline grupp Soomaa piirkonnas

Mullastik

Mullakaart saadi Maa-ameti (2020) mullakaardi grupeerimisel USA-s kasutatavateks hüdroloogilisteks klassideks A – D, lihtlõimise ja sifri põhjal (Joonis 18).

Hüdroloogiline grupp	Mullastiku kaart (Maa-amet, 2020)
A	Lihtlõimis: liiv, liivakivirähk
B	Lihtlõimis: saviliiv, peenliiv
C	Lihtlõimis: liivsavi, tolmjas saviliiv, tolmjas liivsavi
D	Siffer: madalsoomullad, siirdesoomullad, rabamullad

Infiltratsioon

Infiltratsiooni hinnati mullastiku kaardi põhjal, *CSV Curve Number* meetodil. Mullastiku hüdroloogilistele gruppidele vastavad parameetrid võeti HEC-RAS Mapper'i Kasutusjuhendist (2020).

Jõed

Jõgede modelleerimiseks kasutati Keskkonnaregistri ja ETAK vooluvete kihte. Nendele anti suunad, vooluvetest moodustati harujõed (*reach*) ja nende ühendused (*junction*). Analüüsi kaasati vaid need jõed, ojad ja kraavid või nende lõigud, millede äärde sõeluuringus jäävad suured või keskmise suurusega üleujutusalad. Kuna andmebaasides olevad vooluvete objektid on harulised, ei sobi nad otse HECRAS mudelis kasutamiseks, vaid need tuli ümber joonistada. Seda tehti käsitsi tööriista *'Add new feature*' abil, kasutades ETAK vooluvete kihti šabloonina.

Ristlõiked

Jõe ristlõiked (*cross sections*) joonistati kõrguste kaardi põhjal nii, et need kataksid kogu kõrgveeala. Vaikimisi joonistati ristlõiked iga 1 km järel. Vajadusel, mudelit jooksutades, pikendati, lühendati ja tihendati ristlõikeid. Ristlõiked joonistati sellise sagedusega, et olulised hüdroloogilised või hüdraulilised muutused – sissevoolud, reljeef jm - saaksid kajastatud. Vajadusel, mudelit jooksutades, tihendati ristlõigete jada.

Ristlõiked joonistati sirged, mis püüti tõmmata voolusuunaga risti, arvestades aga mitte väikse jõekääru suunda, vaid voolu üldist suunda ca 1 km pikkuse lõigu ulatuses.

Osadel juhtudel ei leidnud mudel reljeefilt piisavalt kõrget kohta, mis üleujutusalale piiri tõmbaks. Sellisel juhul prooviti esiteks ristlõikeid pikendada kõrgemate kohtadeni. Selle meetodi ebaõnnestumisel (kaugemad kohad võivad olla veel madalamad) prooviti ristlõikeid hoopis lühendada ja tihendada täpselt kohalike kõrgeimate kohtadeni, näiteks, teetammini. Ka selle meetodi ebaõnnestumisel pöörati ristlõigete suunda, nii et kõrgvett mittepidav kallas jääks rohkem ülesvoolu. Kui ka see meetod ebaõnnestus, tõmmati naaberjõgede ristlõiked üksteisega peaaegu kokkupuutesse, nii et tekkis nende ühine üleujutusala.

Ristlõiked joonistati läbima hüdroloogilisi seirejaamu.

Profiilid

Profiilina käsitletakse HECRAS mudelis vooluhulga olukorda. Enamikel juhtudel modelleeriti ainult üks profiil: 10% ületustõenäosus ehk korduvus 10 aastat.

Üleujutusala piiritlemisel võeti arvesse, et ühe üleujutusala piires on erinevates kohtades kümne aasta suurim kõrgvesi erineval ajal. Näiteks, jõesuudmes võib see olla tugeva meretuule hetkel, kuid veidi ülesvoolu minnes hoopis lume sulamise ajal. Seega, üleujutusala piirid ei tarvitse kattuda ühegi ajahetkega.

Vooluhulgad

Vooluhulgad märgiti HECRAS mudeli tabelisse iga profiili iga ristlõike kohta. Juhul kui mudeli hilisemal sättimisel ristlõigete jada tihendati, vooluhulki uutele ristlõigetele ei märgitud.

Muud andmed

Piirtingimustes valiti erinevatest võimalustest variant 'teadaolevad veetasemed'. Juhul kui rakendada superkriitilise voolu modelleerimist, on 'teadaolevad veetasemed' tarvis HECRAS süsteemis sisestada kõikide harujõgede ülemiste ristlõigete kohta. Kuna enamikel juhtudel vastavad mõõtmisandmed puuduvad, siis hinnati need superkriitilise vooluga modelleerimisel enamasti oletuslikult vastavalt ristprofiilile. Juhul kui uurimisalale jäi rohkem kui üks hüdroloogilise seire jaam, rakendati kõiki ülemiste jaamade veetasemete andmeid mudeli verifitseerimiseks ja kalibreerimiseks. Kui pärast kalibreerimist jäi modelleeritud ja mõõdetud veetasemete vahele oluline erinevus, siis sisestati mõõdetud veetasemed mudelisse, kõrvaldades selliselt mudeli viga vähemalt mõõtmiskohtades. Oluliseks erinevuseks mõõdetud ja kalibreeritud veetaseme osas loeti 20 cm või rohkem.

Merre suubuvate jõgede või jõelõikude modelleerimisel arvestati merevee tasemete 10% ületustõenäosust. Matsalu lahe ja Kasari jõe modelleerimisel rakendati TTÜ (2021) veetasemete andmeid.

Mudeli seaded

Kõrgvee kaardistamisel (*floodplain mapping*) rakendati statsionaarset vooluanalüüsi (*steady flow analysis*), milles vaikimisi valiti subkriitiline (suudme poolt determineeritud) voolurežiim. Kui subkriitilise voolurežiimiga tulemus oli vastuolus mõõtmisandmete või kartograafilise infoga, siis rakendati superkriitilist või hübriidset voolurežiimi.

Muude seadetena kasutati mudeli vaikimisi seadeid. Transpordifaktori (*conveyance*) arvutamine toimub ainult karedusarvu n muutumiskohtades. Hõõrdekalde (*friction slope*) arvutamisel kasutati keskmist transpordifaktorit.

Muud nüansid

Enamikel juhtudel tuli modelleerimisel ületada andmelünkade probleem. Keerulisim oli uuritava jõe viimase ristlõike veetaseme hindamine, mida mudel sisendina nõuab. Selleks kasutati sageli kaudseid meetodeid: analoogiad, lähedal paiknevad mõõdupostid, kalibreerimine, kõrgusmudeli analüüs jt.

Emajõe ja Kasari deltades tekkis modelleerimisel probleem, et kõrgveepiirid on mõjutatud nii suure seisuveekogu kui jõe suure vooluhulga poolt. Kasari delta modelleerimisel kasutati TTÜ Tartu Kolledži (2021) kogutud veetasemete andmeid, mille kaudu loodi ida-läänesuunaline kõrgvee taseme gradient Matsalu lahes. Emajõe delta puhul kasutati EMHI Peipsi veetasemete andmeid, mille abil loodi mh gradient Praaga ja teiste mõõdupunktide vahel.

4.7. Lõpptöötlus

Üleujutusalade lõpptöötluse lähteobjektiks olid HECRAS mudeli kõrgveepiirid polügoonina. Lõpptöötlus viidi läbi ArcGIS-iga, kasutades selleks mudelit 'yleujut'.

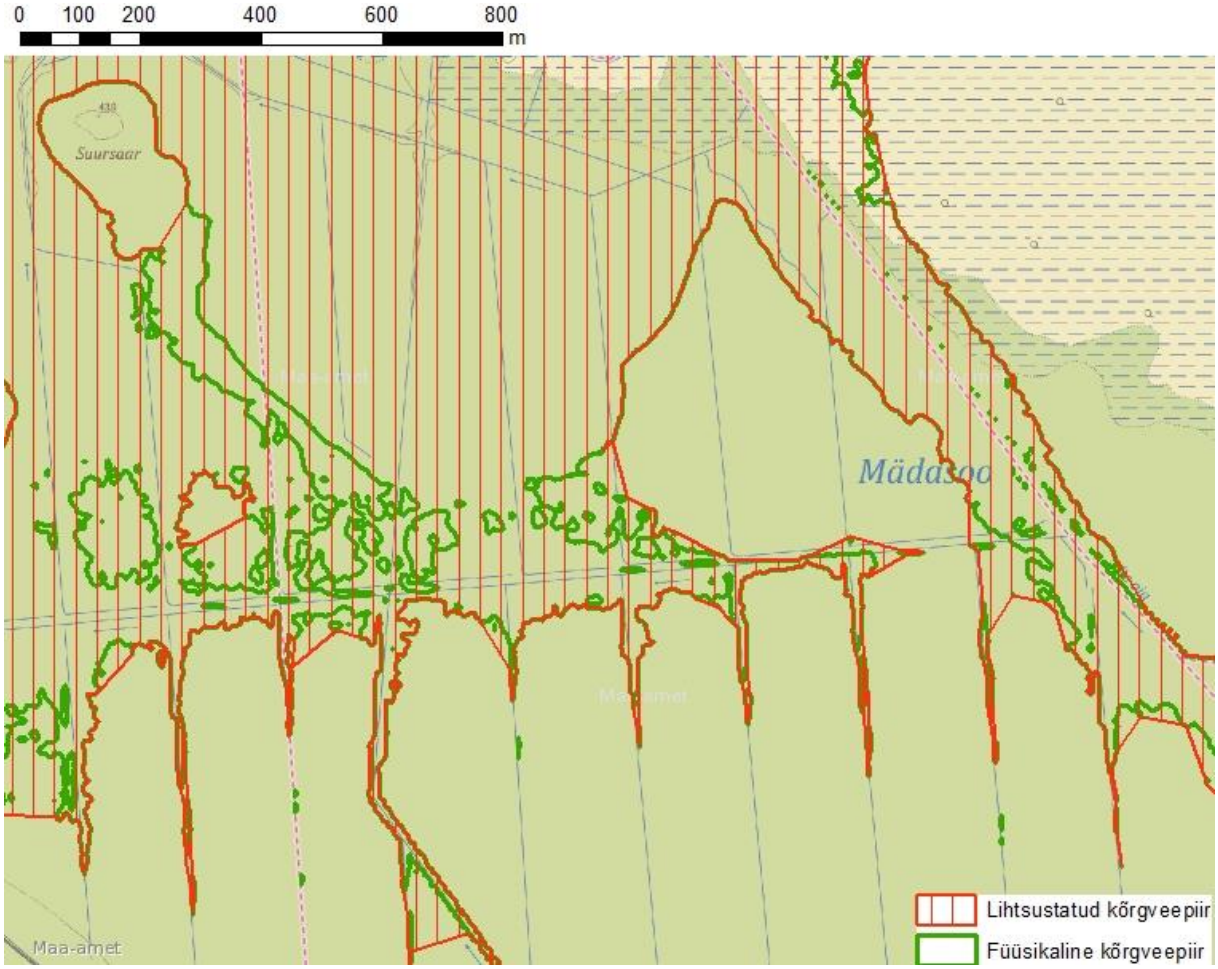
Lõpptöötluses viidi üleujutusalale läbi järgmised järjestikused menetlused

(1) Kõikidelt erinevatelt uurimisaladelt joondatud üleujutusalade ühendamine ühte *shape file'i*.
(2) Projektsiooni defineerimine: *Estonia 1997 Estonian National Grid*

(3) Üheosaliste objektide tekitamine. HECRAS mudeli väljund tekitab ühe mitmeosalise polügoonobjekti, mis koosneb reaalselt paljudest polügoonidest. Tööriista *'Multipart to Singlepart'* abil muudetakse see failiks, mis koosneb paljudest objektidest, nii et iga objekt koosneb ainult ühest polügoonist.

(4) Lihtsustamine. Tööriista *'Aggregate Polygons'* abil kustutati maha väiksed polügoonid ja väiksed augud (antud analüüsis saarekesed) polügoonides ning ühendati teineteise lähedal paiknevad polügoonid. Lihtsustamisel rakendati järgmisi lävendeid:
   - Agregeerimise distants kuni 100 meetrit – üksteisele lähemal paiknevad polügoonid ühendati
   - Minimaalne polügooni pindala 100 ha – väiksemad kustutati
   - Minimaalne augu (saarekese) pindala 1 ha

(5) Filtreerimine. Lõppvalikusse jäeti polügoonid, millede pindala ületab 100 ha.



Joonis 19. Näide kõrgveepiiri lõpptöötlusest

Lõpptöötluse tulemusena sõeluti valikusse vaid suured üleujutusalad ning saadi nende lihtsustatud kõrgveepiirid (Joonis 19).

5. Suurte üleujutusaladega siseveekogude nimistu kõrgveepiirid

5.1. Analüüsi kitsaskohad ja tulemused

Analüüsi kitsaskoht	**Lahendus / tulemus**
Esialgsete üleujutusalade sõelumisel võisid osad alad vahele jääda. Võimalikud põhjused: (1) lammimullad on ebapiisavalt kaardistatud; (2) osadel üleujutusaladel ei tarvitse toimuda alluviaalsete setete kuhjumist; (3) osad suured üleujutusalad võivad paikneda väikeste jõgede ääres	Töös kasutati topeltsõela: lisaks lammi-madalsoomuldadele sõeluti laugeid jõelõike. Tulemused kattusid suures osas.
Merevee tõusu hüdrauliliselt ei modelleeritud. Seetõttu võib mudel alahinnata näiteks merelahtede üleujutust võimendavat efekti või ülehinnata kõrgvee ulatust suure pinnakaredusega maastikel, näiteks, roostikes.	Merevee mudelis rakendati peamiselt hüdroloogilist mudelit, milles kõrgusmudelile interpoleeriti veetasemete seireandmed ülepinnaliseks. Matsalu lahe ja Kasari jõe modelleerimisel kasutati detailseid veetasemete andmeid (TTÜ Tartu Kolledž, 2021). Saaremaa kohta kasutati TTÜ (2020) tehtud mudelit.
HECRAS mudel nõuab sisendina jõevõrgu GIS-kihti, mille joonelementidel (*polylines*) on alati kaks otspunkti, nii et nad ei hargne. Ühte jõge ei või esindada mitu paralleelselt joonelementi. Harujõge tähistava joonelemendi otspunkt peab paiknema peajõel. Joonelemendid ei või teineteise ega iseendaga lõikuda. Vanajõge või õgvenduskraavi esindav joon ei tohi mõlemast otspunktist peajõega kokku puutuda. Jõestik peab moodustama seotud terviku, mida ei tohi katkestada näiteks paisjärved, jõe laskumine maa alla jne. Eesti jõevõrgu kohta niisugune andmekiht puudub.	Eesti jõevõrk joonistati suures osas käsitsi ümber. Viga jõe algsel paigutamisel kaardile on ca kuni 300 m. Üldjuhul leiab mudel jõesängi ise üles ja paigutab voolu õigesse kohta ümber.
Hüdroloogilise mudeli viga vooluhulga maksimumi hindamisel on hinnanguliselt üldjuhul kuni 20% ja järvedest lähtuvatel jõgedel võib see olla suuremgi.	Vooluhulga prognoosiviga kumuleerub ka veetaseme ja kõrgveepiiri prognoosi. Vooluhulk 20% vea piires on õnneks kõrgveepiiri osas ainult mõõdukalt tundlik sisendparameeter.
Subkriitilise voolu korral nõuab HECRAS mudel sisendandmetena vähemalt uurimisala lõpp-punkti (suudmesse) mõõdetud veetaset. Kui uurimisalale jääb superkriitilise vooluga lõike, tuleks mõõdetud veetasemed sisestada iga subkriitilise lõigu lõpp-punkti kohta. Superkriitilise voolu korral tuleks sisestada mõõdetud veetasemed uurimisala kõikide harujõgede alguspunktidesse (lähtmetesse).	Jõgede suudmete kirjeldamiseks kasutati mh mere ja Peipsi mõõdetud veetasemete andmeid. Mõõtmisandmeid kasutati nii verifitseerimiseks kui kalibreerimiseks. Lisaks riiklikele seireandmetele kasutati uurimisprojektide andmeid.

Analüüsi kitsaskoht	Lahendus / tulemus
Hüdroloogiliste mõõtmisandmete puudumise tõttu ei saa HECRAS mudelit osadel uurimisaladel korrektselt rakendada. Kõrgvee ajal superkriitilise vooluga lõigud on kaardistamata. Lähteandmete vähesuse tõttu on mudeli prognoosijõud kõrgveepiiride määramisel piiratud.	Osades kohtades võib mudel kõrgveepiiride määramisel oluliselt eksida.
Karedusarv n (*Manning's n*) võib kevadel ajas oluliselt muutuda, näiteks jää- ja lumikatte sulamise tagajärjel. Selle määramatuse tõttu võib kõrgveepiiride määramisel tekkida oluline viga.	Karedusarvu kalibreeriti modelleerimise käigus. Sellegipoolest jääb mudelisse määramatu viga.

5.2. Hüdroloogilised trendid

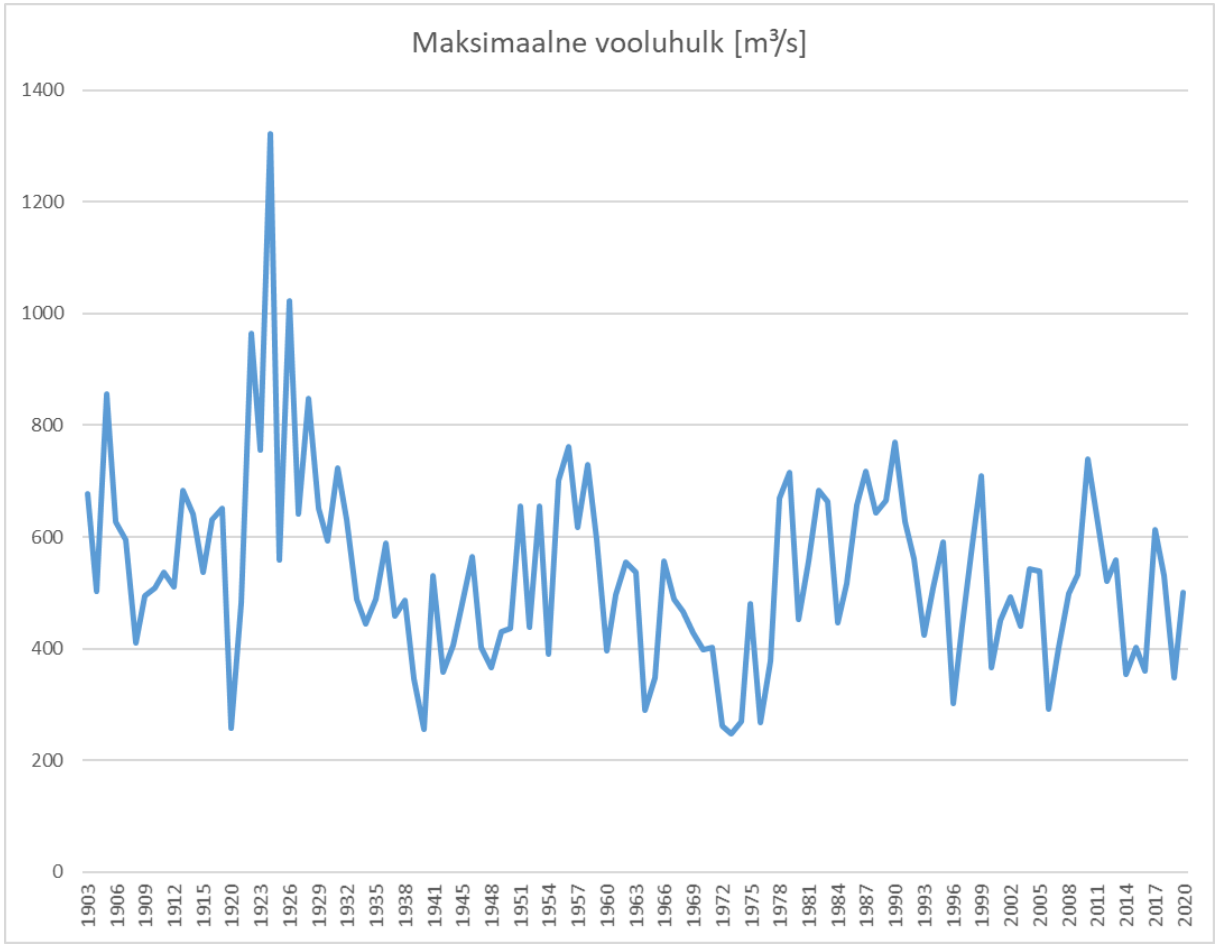
Vooluhulkade trendid

Peaaegu kõikides jõgede lävendites, kus seiret on viidud läbi üle 15 aasta, tuvastati 10% ületustõenõenäosusega maksimaalse päevakeskmise vooluhulga osas pikaajaline langustrend. Selle põhjuseks on tõenäoliselt kliimamuutusega seotud talvise veeakumulatsiooni vähenemine.

Alljärgnevas tabelis on **rasvaselt** näidatud need lävendid, kus tuvastati Mann-Kendalli testiga oluline langustrend, punasega need, kus trend on positiivne ning *kursiiviga* ebaoluline langustrend. Olulise lävendiks võeti 10% ja usaldusvahemikuks 90%.

Lävend	Vaatlusperiood, a	Vooluhulga trendi olulisus p	Kendalli Tau	Tõus, m3/s/a
Ahja	**60**	**<0.0001**	**-0.191**	**-0.214**
Arbavere	*13*	*0.439*	*-0.103*	*-0.159*
Audru	*24*	*0.6*	*-0.037*	*-0.065*
Elva	**27**	**0.002**	**-0.208**	**-0.173**
Kaansoo	**30**	**0.001**	**-0.231**	**-0.2**
Kääpa	**65**	**0.013**	**-0.175**	**-0.064**
Kasari	**95**	**0.003**	**-0.128**	**-0.576**
Kehra	*38*	*0.112*	*-0.084*	*-0.134*
Keila	**97**	**0.001**	**-0.225**	**-0.159**
Kirumpää	*5*			
Kloostrimetsa	**40**	**0.007**	**-0.113**	**-0.214**
Konuvere	**66**	**0.003**	**-0.145**	**-0.154**
Korela	**18**	**<0.0001**	**-0.32**	**-1.1**
Laadi	*13*	*0.553*	*-0.077*	*-0.557*
Lüganuse	**97**	**<0.0001**	**-0.283**	**-0.321**
Narva linn	17	0.946	0.015	1.446
Nurme	**13**	**0.001**	**-0.41**	**-2.626**
Oore	**98**	**<0.0001**	**-0.229**	**-1.397**
Pajupea	**92**	**<0.0001**	**-0.266**	**-0.039**
Pajusi	**88**	**<0.0001**	**-0.289**	**-0.222**
Pudisoo	**59**	**<0.0001**	**-0.272**	**-0.05**
Rannu-Jõesuu	59	0	0.153	0.143
Räpina	**61**	**0**	**-0.133**	**-0.129**
Reola	**34**	**0.064**	**-0.114**	**-0.077**
Riisa	**95**	**0.007**	**-0.187**	**-0.452**
Roostoja	**46**	**0.001**	**-0.123**	**-0.081**
Sami	**78**	**<0.0001**	**-0.289**	**-0.127**
Separa	**9**	**0.002**	**-0.444**	**-1.829**
Taheva	*13*	*0.227*	*-0.154*	*-1.069*
Tahkuse	**88**	**<0.0001**	**-0.174**	**-0.522**
Tänassilma	**26**	**<0.0001**	**-0.305**	**-1.05**
Tartu	**98**	**0**	**-0.242**	**-0.652**
Tarvastu	**13**	**0.032**	**-0.205**	**-0.305**
Toila-Oru	**12**	**<0.0001**	**-0.424**	**-1.453**
Tõlliste	**98**	**<0.0001**	**-0.372**	**-0.5**
Tori	**64**	**<0.0001**	**-0.177**	**-0.077**
Tõrva	*74*	*0.184*	*-0.052*	*-0.025*
Tõrve	**95**	**<0.0001**	**-0.378**	**-0.369**
Tudulinna	**64**	**0**	**-0.165**	**-0.124**
Türi-Alliku	**45**	**0.002**	**-0.157**	**-0.117**
Uue-Lõve	**86**	**<0.0001**	**-0.179**	**-0.036**
Vanaküla	**74**	**<0.0001**	**-0.19**	**-0.087**
Vihterpalu	**89**	**0**	**-0.127**	**-0.074**

Otsustavaks erandiks olid suurjärvede väljavoolud. Nii Peipsi kui Võrtsjärve väljavooludes oli trendi viimaste aastakümnete tõus hoopis positiivne ehkki Peipsi osas polnud see oluline. Arvatavasti pole suurjärvede väljavooludel ekstreemsete vooluhulkade dünaamikas kevadise lume sulamine otsustavaks teguriks. Sellest olulisem võib olla jääminek, rüsijääst ja vette langenud puudest tekkinud ummistused järve väljavoolul ning nendest ummistustest vabanemine. Narva jõe lähtme ette rajati 1930ndatel aastatel buunide süsteem eesmärgiga Peipsi veetaset alandada. Ühe tagajärjena pidi Narva jõe kevadine vool stabiliseeruma ja kevadine maksimum järelikult alanema. Seoses süsteemi amortiseerumisega on selle mõju tasapisi kahenenud. Seda näitab trendianalüüs, mille järgi Vasknarva lävendis Narva jõe vooluhulgal on vahemikus 1903 – 2020 küll oluline langustrend, kuid vahemikus 1940 – 2020 olulist trendi pole (Joonis 20). Pole teada, kas buunide ummistumine tulevikus jätkub või see süsteem renoveeritakse. Seetõttu, ületustõenäosuse arvutamisel võeti arvesse kogu vaatlusperiood 1903 – 2020, kuid trend jäeti arvestamata.



Joonis 20. Narva j kevadist maksimaalset vooluhulka Vasknarva lävendis vähendati buunide süsteemi rajamisega jõe lähtme ette 1930ndatel aastatel.

Veetasemete trendid

Erinevalt vooluhulkadest pole siseveekogude veetasemetel kõikehõlmavat pikaajalist langustrendi. Analüüsitud 50 vaatlusjaamast 18 juures leiti oluline pikaajaline trend. Nendest 16 puhul oli trend negatiivne ja kahe puhul hoopis positiivne. Ülejäänud 32 vaatlusjaamas olulist pikaajalist trendi ei leitud.

Vaatlusjaam	Vaatluste arv (N)	Pikaajaline trend (cm/a)
Separa	10	-14
Kirumpää	10	-6
Toila-oru	14	-5,4
Riisa	95	-1
Tudulinna	65	-0,857
Räpina	95	-0,813
Tõrve	89	-0,703
Tahkuse	89	-0,667
Uue-Lõve	53	-0,628
Tartu	151	-0,6
Tõlliste	99	-0,567
Vasknarva	91	-0,542
Oore	97	-0,521
Tõrve	91	-0,417
Peipsi - Mustvee	98	-0,373
Kasari	95	-0,289
Vanaküla	92	0,282
Luguse	50	1,087

5.3. Analüüsi väljund

Statistiline ülevaade

Füüsikalised piirid

Hüdraulilise modelleerimise väljundina saadi 96697 üleujutusala üksteisest isoleeritud polügooni. Nende summaarne pindala on 1345 km^2. Ühe polügooni maksimaalne pindala on 6286 ha, keskmine pindala 1,44 ha ja mediaanpindala 0,005 ha (50 m^2).

Lihtsustatud piirid

Käesolevas alapeatükis on esitatud olulisemad leiud. Täpsem statistika tulpdiagrammidena on esitatud aruande lisades.

Füüsikaliste piiride polügoonide agregeerimisel saadi administreerimise eesmärgil lihtsustatud piirid. Suurte üleujutusalade, mille igaühe pindala on üle 100 ha, kogupindalaks saadi 1499 km^2. Tuvastati ühtekokku 93 üleujutusala. Ühe ala keskmine pindala on 1612 ha ja mediaanpindala 262 ha.

Minimaalne pindala, ha	Üleujutusalade arv
10000	3
1000	17
500	35
200	62
100	93

Pindalaga üle 100 km^2 tuvastati kolm üleujutusala: (1) Emajõega seotud üleujutusalade võrk pindalaga 649 km^2; (2) Kasari delta pindalaga 196 km^2 ning (3) Soomaa üleujutusala pindalaga 112 km^2.

Suured üleujutusalad ulatuvad ühtekokku 61 **kohalikku omavalitsuse** (KOV) territooriumile (Lisa 1). KOV-idest kõige suurem suurte üleujutusalade üldpindala on Elva vallas, kokku 115 km^2. Sellele järgnevad Viljandi vald (103 km^2) ja Lääne-Nigula vald (103 km^2). Teistes KOV-ides jääb suurte üleujutusalade üldpindala alla 100 km^2.

Üleujutusalad katavad ligi 17% Kastre vallast ja 16% Tartu linnast kui omavalitsusüksusest.

Suured üleujutusalad ulatuvad ühtekokku 141 **kaitseala** territooriumile, millest 33 kaitseala katab enam kui 100 ha suuri üleujutusalasid (Lisa 2). Ühtekokku katavad kaitsealad 605 km^2 ehk 39% suurtest üleujutusaladest. Väljapoole kaitsealasid jääb 931 km^2 üleujutusaladest ehk 61%.

Kõige suurema katvusega on Alam-Pedja LKA, mille territooriumile jääb 150 km^2 Emajõe üleujutusalade võrgust. Selle järgnevad Matsalu RP 115 km^2 ja Peipsiveere LKA 113 km^2 pindaladega. Ülejäänud kaitsealadele jääb vähem kui 100 km^2 suuri üleujutusalasid.

Natura elupaigad katavad kokku 596 km^2 üleujutusaladest ehk ligikaudu 38% (Lisa 3). Erinevatest Natura elupaikadest jääb üleujutusaladele kõige enam 6450 (**põhjamaised lamminiidud**), kokku 191 km^2. Kokku 73% Eesti põhjamaistest lamminiitudest jääb nendele suurtele üleujutusaladele.

Lamminiitudele järgnevad pindalaliselt 9080* (Fennoskandia soostuvad ja soo-lehtmetsad; 124 km^2), 7140 (siirde- ja õõtsiksood; 69 km^2), 7230 (aluselised ja nõrgalt happelised liigirikkad madalsood; 53 km^2), 1630* (Läänemere kesk- ja põhjaosa rannaniidud; 29 km^2), 91E0* (sanglepa ja hariliku saarega lammimetsad; 29 km^2), 91D0* (siirdesoo- ja rabametsad; 18 km^2), 6430 (niiskuselembesed serva- ja kõrgrohustud tasandikel ja mäestikes alpiinse vööndini; 13 km^2) ja 9010* (vanad loodusmetsad, 13 km^2). Ülejäänud elupaigatüüpide katvus jääb alla 10 km^2. Nende seas 91F0 (hariliku tamme, künnapuu, põldjalaka, hariliku saare või ahtalehise saarega lammi-segametsad suurte jõgede kaldavallidel) katavad vaid 5,4 km^2.

Elupaigast 91E0* (**sanglepa ja hariliku saarega lammimetsad**) jääb suurtele üleujutusaladele 63%. Elupaigast 91F0 (hariliku tamme, künnapuu, põldjalaka, hariliku saare või ahtalehise saarega **lammi-segametsad suurte jõgede kaldavallidel**) jääb suurte üleujutusalade kõrgveepiiride sisse 73%.

Põllukultuuride alla jääb 7569 ha üleujutusalasid. Püsirohumaade alla jääb 22 025 ha. **Hoonetest** (ETAK) jääb üleujutusaladele 1890 elu- või ühiskondlikku hoonet ja 3906 kõrval- või tootmishoonet.

Erinevate **vesikondade** vahel jagunevad suured üleujutusalad järgmiselt: Ida-Eesti vesikonnas 812 km^2, Lääne-Eesti vesikonnas 659 km^2 ja Koiva vesikonnas 31 km^2.

Väljundi kasutatavus

Ruumiline resolutsioon

Väljundandmebaasi ruumiline resolutsioon sõltub eelkõige kõrgusmudelist, mille resolutsioon on 10 m. Kõrgusmudel ise on tehtud aerolaserskanneerimise kõrguspunktide põhjal, mille keskmine punktitihedus on 0.14 kuni 18 p/m^2, nii et isegi hõredamal juhul peaks ühele pikslile sattuma enam kui üks mõõtmispunkt.

Füüsikalised kõrgveepiirid

Füüsikalised kõrgveepiirid on hüdraulilise modelleerimise otsene väljund, mis prognoosib kõrgvee esinemist igas ruumipunktis. Resolutsioon on 10 m. See andmebaas on kasutatav detailplaneeringute

ja konkreetsete ehitusprojektide korral. Samas tuleb arvestada, et mudeli viga võib tasastel maadel olla suurusjärgus 100 m: kõrgveepiir 10% ületustõenäosusega võib olla tegelikult kuni 100 m lähemal või kaugemal kui mudel näitab.

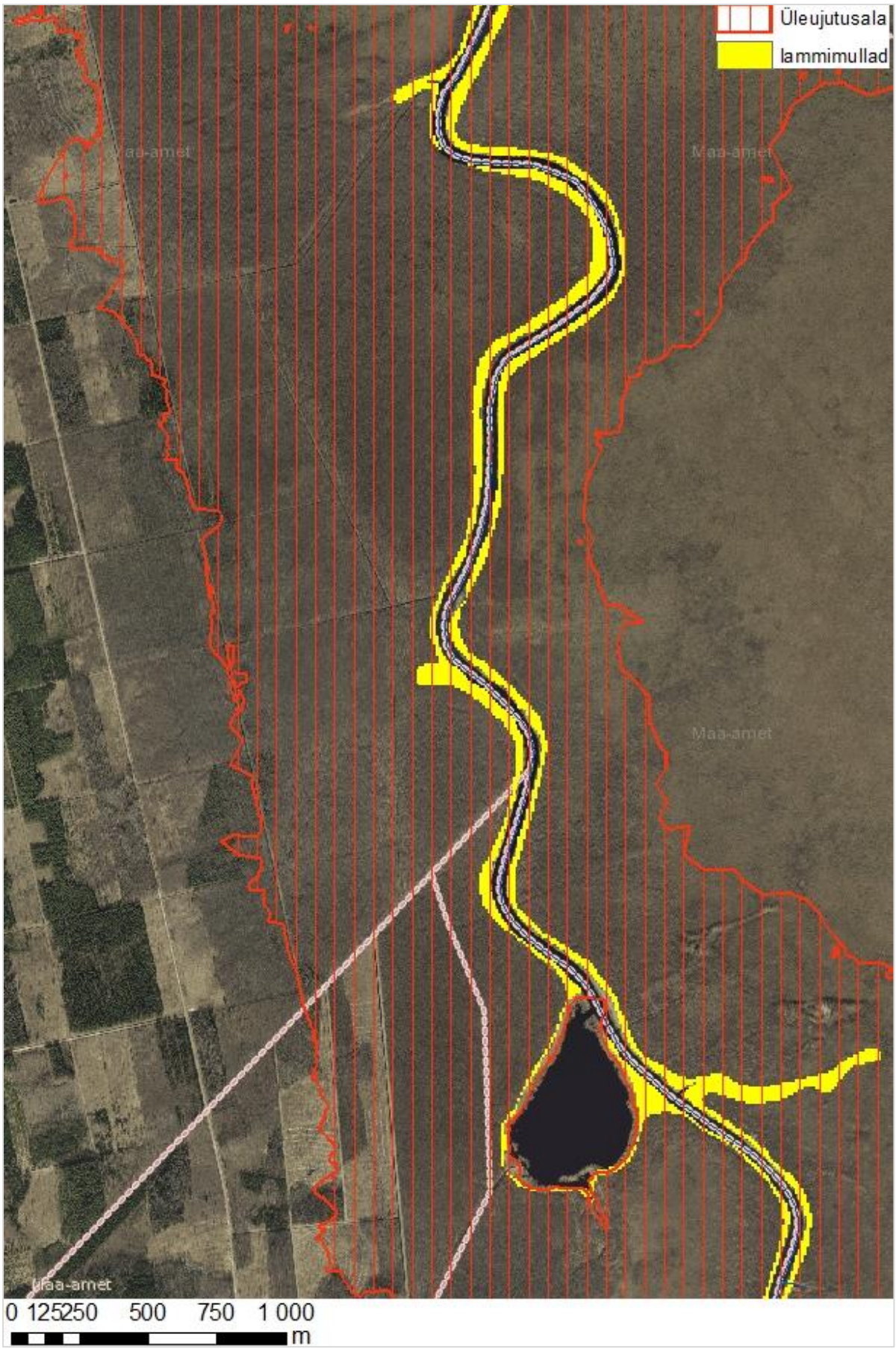
Lihtsustatud kõrgveepiirid

Lihtsustatud kõrgveepiirid on tuletiskaart, milles füüsikalistest piiridest on eemaldatud augud ja väiksed saared. Teineteisest kuni 100 m kaugusel paiknevad polügoonid on ühendatud. Selle kaardi resolutsioon on seega 100 m. Kui kõrgvesi valgub kuni 100 m tihedusega kraavivõrku, siis näitab mudel kogu ala üleujutusalana. Kui kõrgvesi ulatub üle mõlema jõekalda, siis näitab mudel üleujutusalana ka jõge ennast. Lihtsustatud piirid on kasutatavad suurte üleujutustega siseveekogude nimistu ja nende kõrgveepiiride määramiseks, samuti KOV planeeringutes, sh üleujutusalade määramisel. Lihtsustatud piirid on selles mõttes adekvaatsemad, et mudeli resolutsioon on samas suurusjärgus mudeli veaga.

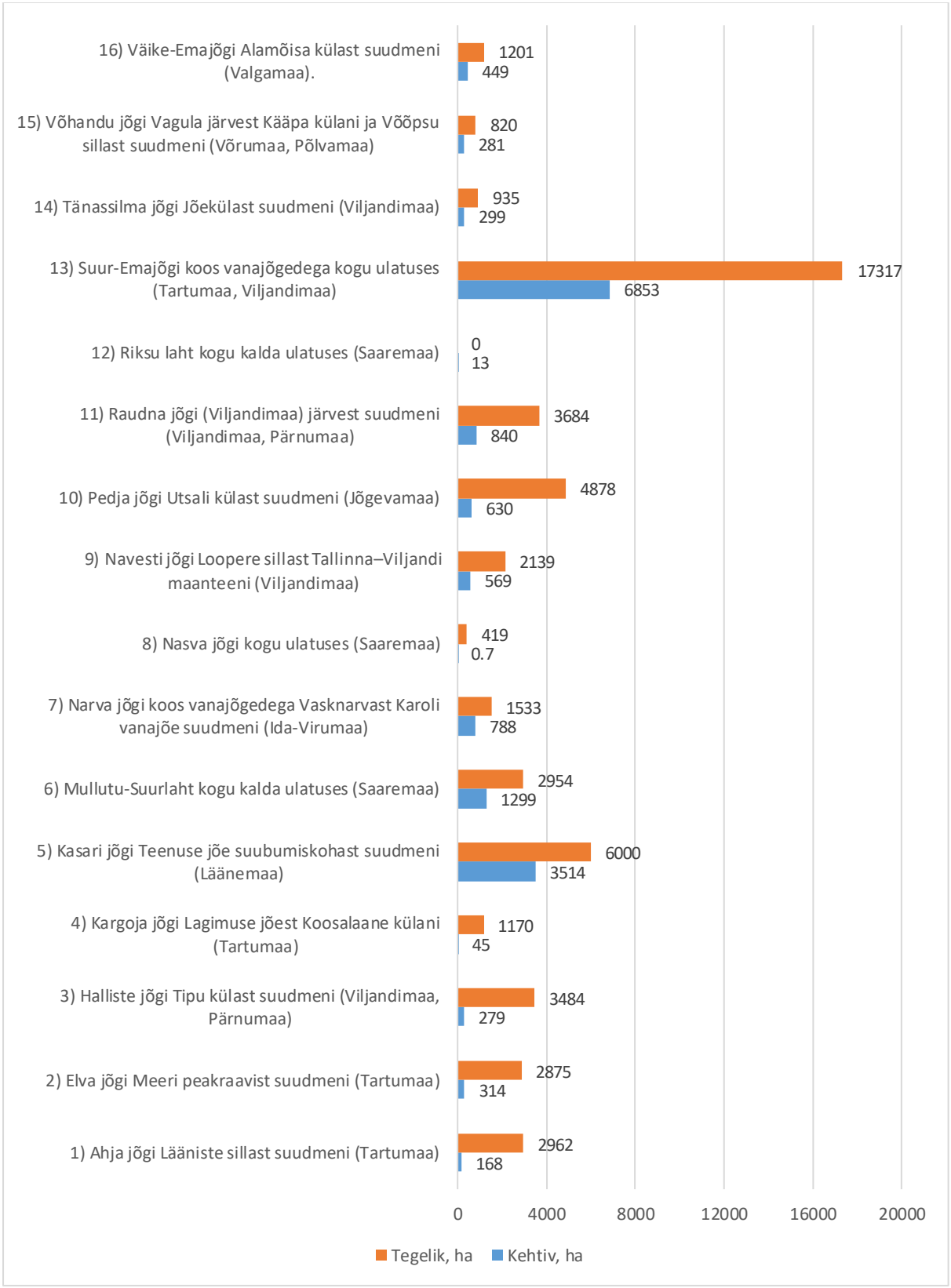
<u>Võrdlus kehtivate üleujutusalade piiridega</u>

Määruse järgi on üleujutusala kõrgveepiirid määratud lammi-madalsoomuldadega. Näiteks, kehtiv üleujutusala Ahja jõel on vaid 10 kuni 50 m laiune riba mõlemal pool jõge (Joonis 21). Tegelikud kõrgveepiirid ulatuvad jõe kaldast aga 0,4 kuni 1,5 km kaugusele, nii et tegelik pindala ületab määrusejärgset ca 18 korda. Peale selle, Ahja üleujutusala ühineb Kalli, Apna ja Emajõe ning Peipsi järve üleujutusaladega, nii et pole võimalik üheselt piiritleda kitsamalt Ahja üleujutusala. Sarnane olukord on enamike teiste kehtivate üleujutusaladega (Joonis 22). Lammi-madalsoomullad palistavad määruses märgitud jõelõike enamasti vaid katkendlike ja katkendlike ja võrdlemisi kitsaste ribadena. Nasva jõe kaldal lammi-madalsoomullad puuduvad peaaegu täielikult. Osadel jõgedel kattub lammi-madalsoomuldade piir hästi üleujutusala kõrgveepiiridega. Headeks näideteks on Mustjõgi, Piusa jõgi ja Kasari jõgi. Siiski, kõikidel jõgedel on tegelik kõrgvee pindala suurem kui kehtiv või lammi-madalsoomuldade järgne pindala.

Suurimaid üleujutusalasid on keeruline mingi konkreetse jõe kaudu piiritleda, sest paljude jõgede kõrgveed ühinevad. Muuhulgas leiavad jõed kõrgvee ajal alternatiivsed vooluteed ja –suunad. Näiteks, Emajõe ülemjooks võib hakata hoopis „tagurpidi“ voolama. Pedja jõgi võib lisaks Emajõele hakata voolama Laeva jõkke. Reiu jõgi võib lisaks Pärnu jõkke suubumisele kõrgvee ajal suubuda Ura jõkke või otse merre. Halliste jõgi võib ühineda Tõramaa jõega viimase alam- ja ülemjooksul, kuid mitte keskjooksul. Seetõttu, tuleb suurimaid üleujutusalasid piiritleda, vaadeldes mitte jõgesid ühekaupa, vaid jõesüsteeme laiemalt.



Joonis 21. Lõik Ahja jõest ja selle üleujutusalast



Joonis 22. Määruse järgi kehtivate suurte üleujutusalade pindalade võrdlus nende tegelike pindaladega

5.4. Üleujutusalad

Üleujutusalade kaardid vesikondade kaupa on esitatud Lisas 4.

Lääne-Eesti vesikond

Lääne-Eesti vesikonda jääb 55 üleujutusala kogupindalaga 659 km^2.

Kasari delta üleujutusala pindala on ligi 20 tuhat ha. See ulatub Kasari jõel Pajakast kuni suubumiseni Matsalu lahte. Üleujutusala hargneb sügavale Vigala, Velise, Nurtu, Tuudi, Penijõe, Rannamõisa, Enge, Vanamõisa ja Rõude jõgedesse. Üleujutusala ilmestab suurt osa Lääne-Eestist. Piirkonda jäävad mh Märjamaa, Risti, Pärnu-Jaagupi, Lihula ja Taebla. Suudmealal ulatub üleujutusala laius kolme kilomeetrini. Enamuses jääb ala laius 100 kuni 200 m kanti. Suudmeosa jääb Matsalu RP territooriumile, sh Kasari luha ja rannaniitude hooldatav SKV ja Matsalu siselahe ja roostike looduslik SKV. Kasari jõe Kohatu ja Pajaka piirkonnas on Kohatu loodusala ja Pajaka MKA. Kastja piirkonnas paikneb Käntu-Kastja loodusala. Vigala harul paikneb Konuvere loodusala. Velises jõkke ulatuval harul on Salavalge-Tõrasoo loodusala. Nurtu jõkke ulatuval harul paikneb Nurtujõe loodusala. Rannamõisa jõel paikneb Ehmja-Turvalepa loodusala. Suur osa Kasari delta üleujutusalast jääb väljapoole kaitsealasid ja Natura alasid.

Kasari delta üleujutusala piirid moodustuvad nii jõgede kui mere üleujutustest.

Soomaa üleujutusala pindala on ligi 11 tuhat ha. See ulatub Soomaalt Sindi, Eidapere ja peaaegu Särevereni. Üleujutuse tekitavad ühiselt Pärnu, Kurina, Vändra, Mädara, Lintsi, Prandi, Aruküla, Halliste, Risti, Tõramaa, Raudna, Navesti ja Pikkmetsa jõed ning Lemmjõgi ja Saarjõgi. Üleujutusala tuumikala kagus, kus see on väga lai, jääb Soomaa RP territooriumile. Kitsamates osades aga hargneb ala väljapoole kaitsealasid.

Muud Lääne-Eesti suured üleujutusalad. Kõikide suuremate Lääne-Eesti jõgede ääres paiknevad suured üleujutusalad. Kõige suuremas ulatuses laiuvad need Pärnu ja Kasari jõestikes. Muuhulgas tuvastati 16 üleujutusala, mis on põhjustatud eelkõige merevee tõusust siseveekokku ja selle kallastele.

Ida-Eesti vesikond

Ida-Eesti vesikonnas on 35 suurt üleujutusala kogupindalaga 809 km^2. Enamuse sellest moodustab üksainus hiiglasliku pindalaga Emajõega seotud üleujutusalade võrk.

Emajõega seotud üleujutusalade võrk ulatub ülemjooksul Väike-Emajõkke, Laatre, Visela, Antsla ja Ärnu jõkke, sealt edasi Õhne, Jõku, Ärma ja Tänassilma jõgedesse ning Võrtsjärve kallastele kogu selle kaldajoone ulatuses, keskjooksul Emajõkke, Põltsamaa, Pedja, Umbusi, Neanurme, Kavilda, Elva, Laeva, Ilmatsalu ja Amme jõgedesse, alamjooksul aga Luutsna, Ahja, Lutsu, Kargaja, Apna ja Kalli jõkke ning Orajõkke. Viimaks ulatub üleujutusala Peipsi järve kallastele ja teistesse Peipsisse suubuvatesse veekogudesse: need on Mädajõgi, Pahtpää ja Võhandu jõed ja Lahepera järv.

Olulisemad selle üleujutusalaga seotud kaitsealad on Alam-Pedja LKA ja Peipsiveere LKA. Nendele kaitsealadele jäävad antud üleujutusalade kaks suurimat, enam kui 10 km läbimõõduga tuumikala: Alam-Pedja ja Emajõe delta. Lisaks ülalmainitud kahele LKA-le jääb antud üleujutusalale rida teisi kaitsealasid: Soontaga LKA, Keeri-Karijärve LKA, Ropka-Ihaste LKA jt. Lisaks jääb sellele üleujutusalale palju Natura elupaiku. Oluline osa Emajõega seotud üleujutusalade võrgust jääb siiski kaitse alt välja.

Põltsamaa jõe ülemjooksu üleujutusala pindala on 45 km^2. See kulgeb kuni 2 km laiuse ribana Kiltsist Põltsamaani. Üleujutusala läbib Endla LKA-d. Enamuses jääb üleujutusala aga kaitse alt välja.

Teised suured üleujutusalad. Ida-Eesti üleujutusalad on koondunud peamiselt Emajõe jõgikonda, Peipsi kallastele ning Peipsisse suubuvate jõgede suudmetesse. Vähem on neid Soome lahte suubuvate jõgede (need on võrdlemisi väiksed jõed) kallastel ning kõrgustikel.

Kolm üleujutusala 35-st on merevee üleujutusalad, mis ulatuvad jõgede suudmetesse ja nende kallastele.

Koiva vesikond

Koiva vesikonda jääb kolm suurt üleujutusala kogupindalaga 3147 ha. Suurim neist on Mustjõe üleujutusala.

Mustjõe üleujutusala, pindalaga 2889 ha, katab peaaegu kogu Mustjõe kaldad katkematu, tasapisi laieneva ribana alates Kaugjärvest ja lõpetades suubumisega Koivasse. Ülemjooksul on üleujutusala laius sadakond meetrit, alamjooksul üle kilomeetri. Suudmeosa jääb Koiva-Mustjõe MKA-le. Lähtmeosa aga Karula RP territooriumile. Enamus keskjooksust on kaetud Natura elupaikadega, milledest prevaleerivad põhjamaised lamminiidud.

Vaidva – Peeli üleujutusala, pindalaga 145 ha, kulgeb Vaidva jões Vastse – Roosalt Hütini, kuid enamuses sopistub hoopis sügavale peeli jõkke kuni Läti piirini, kus see ala võib veelgi veidi ülesvoolu ulatuda, kuid seda ei suudetud modelleerida. Alale jääb Mõisamõtsa LKA nign enamus sellest üleujutusalast on kaetud Natura elupaikadega, sh Mõisamõtsa loodusala.

Peetri jõe üleujutusala, pindalaga 113 ha, kulgeb Läti piirist Tursa külani, kattes seega peaaegu kogu Peetri jõe Eesti osa. Üleujutusala jääb peaaegu kogu ulatuses Peetri jõe MKA-le.

6. Suunised metoodika ajakohastamiseks

Suunised suurte üleujutustega siseveekogude nimistu edasiseks muutmiseks

Käesolevas analüüsis tuvastati 93 suurt üleujutusala polügooni, mille igaühe pindala ületab 100 ha. Nende võimalikul lülitamisel üleujutusalade nimekirja on lihtsaim meetod arvestada ala pindala. Näiteks, hüdraulilise modelleerimise järgi suuremaid kui 1000 ha, on kokku 17 ala ja need võiksid kõik nimistusse jõuda. Suurim täna nimistust väljasolev üleujutusala on Põltsamaa jõe ülemjooksu üleujutusala pindalaga 4549 ha.

Üleujutusala pindala juures tuleb arvestada, et sõltuvalt GIS-töötluse seadetest võivad pindalad olla väga erinevad. Näiteks, võrreldes lihtsustatud piiridega, füüsikalistes piirides ei moodustu terviklikku Emajõega seotud üleujutusalade võrku, vaid mitu eraldi seisvat polügooni.

Nimistu täiendamiseks võiks töötada välja kriteeriumide komplekti, mis ei piirdu ala pindalaga. Looduskaitseseaduses on öeldud, et ranna või kalda kaitse eesmärk on rannal või kaldal asuvate looduskoosluste säilitamine, inimtegevusest lähtuva kahjuliku mõju piiramine, ranna või kalda eripära arvestava asustuse suunamine ning seal vaba liikumise ja juurdepääsu tagamine. Nendele eesmärkidele vastavate kriteeriumide välja töötamine ja rakendamine võiks tekitada täiuslikuma sõela nimistu uuendamiseks.

Kehtivas nimistus olev 'Riksu laht kogu kalda ulatuses' on käesolevast sõelast välja jäänud, sest järve pindala jääb alla 1 km^2 lävendi ning valgala jääb alla nii 100 km^2 kui 50 km^2 lävendi. Selle üleujutusala nimekirjast eemaldamisel on tarvis kaaluda alternatiivseid administratiivseid teid sealse ökosüsteemi kaitsmiseks.

Suunised kõrgveepiiride edasiseks määramiseks

Hüdroloogiline seirevõrk

HEC-RAS mudel nõuab sisendina suurema katvusega veetasemete andmeid kui tänapäevane riiklik hüdroloogiline seirevõrk seda pakub. Näiteks, Kargoja jõel, Mullutu-Suurlahel ja Nasva jõel hüdroloogiline seire puudub. Teistel kehtivas nimekirjas olevatel siseveekogudel seiret küll tehakse, kuid enamikel neist paikneb vaid üks seirepunkt, mis ei tarvitse aga jääda üleujutusalale. Käesoleva analüüsi väljundis olevate 93 suure üleujutusala kõrgveepiiride määramiseks jääb seirevõrk aga väga puudulikuks.

Seirevõrku võiks võimaluse korral täiendada nii, et igale nimistus olevale üleujutusalale jääks kindlasti vähemalt üks ja soovitavalt vähemalt kaks vaatlusjaama. Seiratavate parameetrite seas olulisim on veetase. Täiendavat infot annaks vooluhulkade mõõtmine. Samal ajal tuleb märkida, et vooluhulga määramine pelgalt veetaseme kaudu ei tarvitse aastaringselt töötada ning jääummistuste ajal tuleb vooluhulka mõõta teisiti.

Karedusarv

Karedusarv on võrdlemisi tundlik sisendparameeter kõrgveepiiride modelleerimisel. Tänapäeval Eesti jaoks kasutusel olevad karedusarvud pole sel otstarbel välja töötatud. Kevadise suurvee ajaks kehtivaid karedusarve oleks tarvis täpsustada eraldi tööna. Need peaksid sobituma ETAK maakatte klassifikatsiooniga.

Hüdrograafiline andmebaas

Nii HEC-RAS mudeli rakendamiseks kui ka teiste modelleerimisülesannete jaoks oleks vajalik hüdrograafiline geoandmebaas, milles vooluveekogusid tähistavad joonobjektid moodustaksid nõuetele vastava terviku. Selles ei tohiks olla dubleerimisi, lõikumisi, ühe objekti hargnemisi.

Hüdroloogiline mudel

Käesoleva töö raames rakendati K. Hommiku (Eesti Maaparandusprojekt, 1989) meetodit kogu Eestit katva kaardi loomiseks, millel on näidatud vooluhulk 10% ületustõenäosusega. Selle mudeli viga on aga kuni 20% ja järvedest lähtuvate jõgede puhul suurem. Eesti jaoks oleks vajalik uuem hüdroloogiline GIS-mudel, mis haakuks nüüdisaja andmetega nagu kõrgusmudel, maakate, mullastik, sademed jt. See eeldab muuhulgas arvutusvõrrandite uuendamist.

Hüdrauliline modelleerimine

Tänapäeva hüdraulilised GIS-mudelid on üleujutusalade prognoosimisel võrdlemisi piiratud. HEC-RAS mudel pole võimeline iseseisvalt tuvastama voolurežiimi tüüpi (superkriitiline, subkriitiline, segatüüp). Ei HEC-RAS ise ega tema platvormil töötav GeoHECRAS pole võimelised tekitama automaatselt jõele ristlõikeid, nii et neid poleks tarvis käsitsi parandada. Kasutajasõbralikkusel on arenguruumi. Hüdrauliline modelleerimine nõuab tänapäeval suurt töömahtu ja ekspertteadmisi.

Kõrgveepiiride täpsustamiseks tulevikus on mõistlik jälgida nii HEC-RAS ja temaga seotud tarkvaralahenduste (GeoHECRAS) kui ka teiste tulevikus tõenäoliselt ülesandeks sobivate hüdrauliliste GIS-mudelite (näiteks, MIKE+ ja ArcHydro järeltulijad) arengut.

Jääpaisutused

Jääpaisutused võivad osade suurte üleujutusalade kõrgveepiiride juures olulist rolli mängida. Jääummistuste kohad ja paisutuste mõju on aga ülemaaliselt kaardistamata. See töö oleks vaja läbi viia, et üleujutusalasid ja nende kõrgveepiire oluliselt täpsemalt prognoosida. Tänapäeval puudub selleks GIS-mudel, mis töötaks Eestis saadaolevatel andmetel. Niisugune mudel oleks vaja alles välja töötada või kasutada teisi lähenemisi (neutraalvõrgustikud, ekspertsüsteem jm).

Kaugseire

Käesolevas aruandes kirjeldati üleujutusalade piire peamiselt GIS-andmete ning hüdroloogilise ja hüdraulilise modelleerimise abil. Samas, Sipelgas & Arikas (2019) analüüsisid Eesti siseveekogude üleujutusalasid peamiselt Sentinel-1 ja -2 satelliidipiltide põhjal. Paraku polnud neil võimalik sel meetodil vaadelda 10% ületustõenäosusega kõrgveepiiri, sest viimati esines see aastal 2011, mille kohta piisavad satelliidifotod puuduvad.

Võimalik, et tulevikus osutub siiski mõistlikuks kõrgveepiire määrata või vähemalt verifitseerida kaugseire abil. See eeldab, esiteks, head ajalist ja ruumilist satelliidpiltide katvust: see peaks olema igapäevane ja katma kogu Eestit, nii et loetavad oleksid ka pilves ilmaga tehtud pildid. Teiseks, tarvis on luua ja kalibreerida interpretatsioonimudel, mis tekitab satelliidipiltidest kõrgveepiiride andmed. Meetodi juures tuleb arvesse võtta, et kõrgveepiirid ei tarvitse tekkida üle Eesti ega isegi mitte ühe üleujutusala piires samal päeval. Näiteks, üleujutusala põllumajandusliku valglaga harus võib kõrgveepiir tekkida sulailmade algul, metsases harus aga hiljem ning suudmes hoopis tugeva ja püsiva läänetuule ajal.

Viited

Craig, A.E., Walker, K.F., Boulton, A.J. 1991. Effects of Edaphic Factors and Flood Frequency on the Abundance of Lignum (Muehlenbeckiaflorulenta Meissner) (Polygonaceae) on the River Murray Floodplain, South Australia. Aust. J. Bot., 1991, 39, 431-43

EEA, 2016. Flood risks and environmental vulnerability — exploring the synergies between floodplain restoration, water policies and thematic policies, EEA Report No 1/2016, European Environment Agency

EEA, 2020. Floodplains: a natural system to preserve and restore. European Environment Agency. Report No 24/2019. European Environment Agency. Copenhagen K. 53 pp.

Eesti Maaparandusprojekt, 1989. Kuivendussüsteemide projekteerimise juhend. Arvutuste alused. Tallinn.

Environment Canada, 2013. RIVICE Model – User's Manual. RIVICE Steering Committee.

ESRI, 2019. ArcMap 10.7.1.

Gattringer, J.P., Ludewig, K., Harvolk-Schöning, S. et al. 2018. Interaction between depth and duration matters: flooding tolerance of 12 floodplain meadow species. Plant Ecol 219, 973–984.

Geilen, N., Jochems, H., Krebs, L. *et al* (2004) Integration of ecological aspects in flood protection strategies: defining an ecological minimum. River Res Appl 20:269–283.

Heine, R.A. 2012. Levee effects upon flood levels: An empirical assessment. Hydrological Processes 26: 3225 – 3240.

Iwasaki, T., Yasuyuki Shimizu, Ichiro Kimura. 2016. Numerical simulation of bar and bank erosion in a vegetated floodplain: A case study in the Otofuke River. Advances in Water Resources 93A: 118-134.

Kasutusjuhend, 2020. HEC-RAS Mapper User's Manual. Version 6.0. US Army Corps of Engineers. Hydrologic Engineering Center.

Keskkonnaamet, 2015. Alam-Pedja linnu- ja loodusala kaitsekorralduskava 2016-2025.

Keskkonnaministeerium, 2019. Üleujutusohupiirkonna ja üleujutusega seotud riskipiirkonna kaardid. Ajakohastamine. Tallinn.

Li, Z. 2014. Watershed modeling using arc hydro based on DEMs: a case study in Jackpine watershed. Environ Syst Res 3: 1 – 12.

Lode, E. 2012. Märgalade seisundi hindamine ja keskkonnaeesmärkide määramine. Lõpparuanne. TLÜ Ökoloogia Instituut.

Lode, E., Tõnission, H., Vainu, M., Kapanen, G., Rivis, R., Muru, M. 2020. Estonian fluvial water bodies and Inundation Directive. In: Negm A., Zelenakova M., Kubiak-Wójcicka K. (eds) Water Resources Quality and Management in Baltic Sea Countries. Springer Water. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-39701-2_11s

Loigu, E., Reihan, A. 2008. Ökoloogilise miinimumvooluhulga arvutusmetoodika väljatöötamine. TTÜ Keskkonnatehnika instituut. Tallinn.

Maa-amet, 2001. Vabariigi digitaalse suuremõõtkavalise mullastiku kaardi seletuskiri. Tallinn.

Maa-amet, 2020. Mullastiku kaart.

Maaeluminister, 2019. Maaparandussüsteemi projekteerimisnormid. Määrus nr 45. Lisa 1.

Metsoja, J.-A. 2020. Luhtade hoolduskava. Pärandkoosluste Kaitse Ühing. Tartu. 57 pp.

Mäemets, A. 1977. Eesti NSV järved ja nende kaitse. Valgus. Tallinn.

Normak, K., Vreimann, T., Kupits, K., Metsur, M. 2019. Vesikonna pinnavett mõjutava inimtegevuse koormuse ülevaade. Ida-Eesti vesikond, Lääne-Eesti vesikond, Koiva vesikond. AS Maves.

Oosterbaan, R.J. 1994. Frequency and regression analysis of hydrologic data. Chapter 6 in: H.P.Ritzema (Ed.), Drainage Principles and Applications, ILRI Publication 16, second revised edition, Wageningen, The Netherland.

Ott, I. 2012. Rannikulõugaste hüdroloogia ja toitainete koormused. M. Kose (toim.) Rannikulõukad Eestis ja Läänemere keskosas. TÜ Pärnu Kolledzh, Keskkonnaamet, EMÜ PMKI Limnoloogiakeskus. Lk 22 – 27.

Paal, J. 2007. "Loodusdirektiivi" elupaigatüüpide käsiraamat. Andreseni Projekt, Tallinn.

Paal, J. 2010. Jõelammide põlismetsad. Eesti Loodus. Jaanuar.

PKÜ, 2010. Juhend loodusdirektiivi I lisa poollooduslike elupaigatüüpide seisundi hindamiseks. Töövõtulepingu nr 4 -1.1/244 aruanne. Pärandkoosluste Kaitse Ühing. Tartu.

Pork, K. 1959. Kesk-Eesti jõgede luhaniitude keskkonnatingimustest. Eesti Loodusuurijate Seltsi aastaraamat 52: 51–70.

Reintam, L., Rooma, I., Kull, A., Kõlli, R. 2005. Soil information and its application in Estonia. Research report no 9. European Soil Bureau. 121 – 132.

Riigi Teataja, 2004. Looduskaitseseadus. Riigikogu.

Riigi Teataja, 2004 b. Suurte üleujutusaladega siseveekogude nimistu ja nendel siseveekogudel kõrgveepiiri määramise kord. Keskkonnaminister.

Riigi Teataja, 2019. Veeseadus. Riigikogu.

Rokaya, P., Budhathoki, S., Lindenschmidt, K.-E. Ice-jam flood reseacrh: a scoping review. Natural Hazards: 94: 1439 – 1457.

Schindler, S., O'Neill, F.H., Biró, M. et al. 2016. Multifunctional floodplain management and biodiversity effects: a knowledge synthesis for six European countries. Biodivers Conserv 25, 1349–1382.

Sipelgas, L. & Arikas, A. 2019. Suurte üleujutusaladega siseveekogude ja mererannikul korduva kõrgvee taseme poolt mõjutatud alade määramine. Lõpparuanne. Tallinn.

Solheim, Anne Lyche, Lidija Globevnik, Kari Austnes, Peter Kristensen, S. Jannicke Moe, Jonas Persson, Geoff Phillips, Sandra Poikane, Wouter van de Bund, Sebastian Birk. 2019. A new broad typology for rivers and lakes in Europe: Development and application for large-scale environmental assessments. Science of The Total Environment 69: 1 – 15.

TTÜ, 2020. Saaremaa ranniku üleujutusalad, 10 a korduvusega. Meresüsteemide Instituut.

TTÜ, 2021. Matsalu lahe ja Kasari jõe veetasemete andmed. Tartu Kolledzh.

Timmusk, 2020. Juhend hüdroloogiliste karakteristikute määramiseks maaparanduse eesvoolude dimensioneerimisel. Uuendatud väljavõte RPUI „Eesti Maaparandusprojekt“ 1989. aasta juhendist „Kuivendussüsteemide projekteerimisjuhend“.

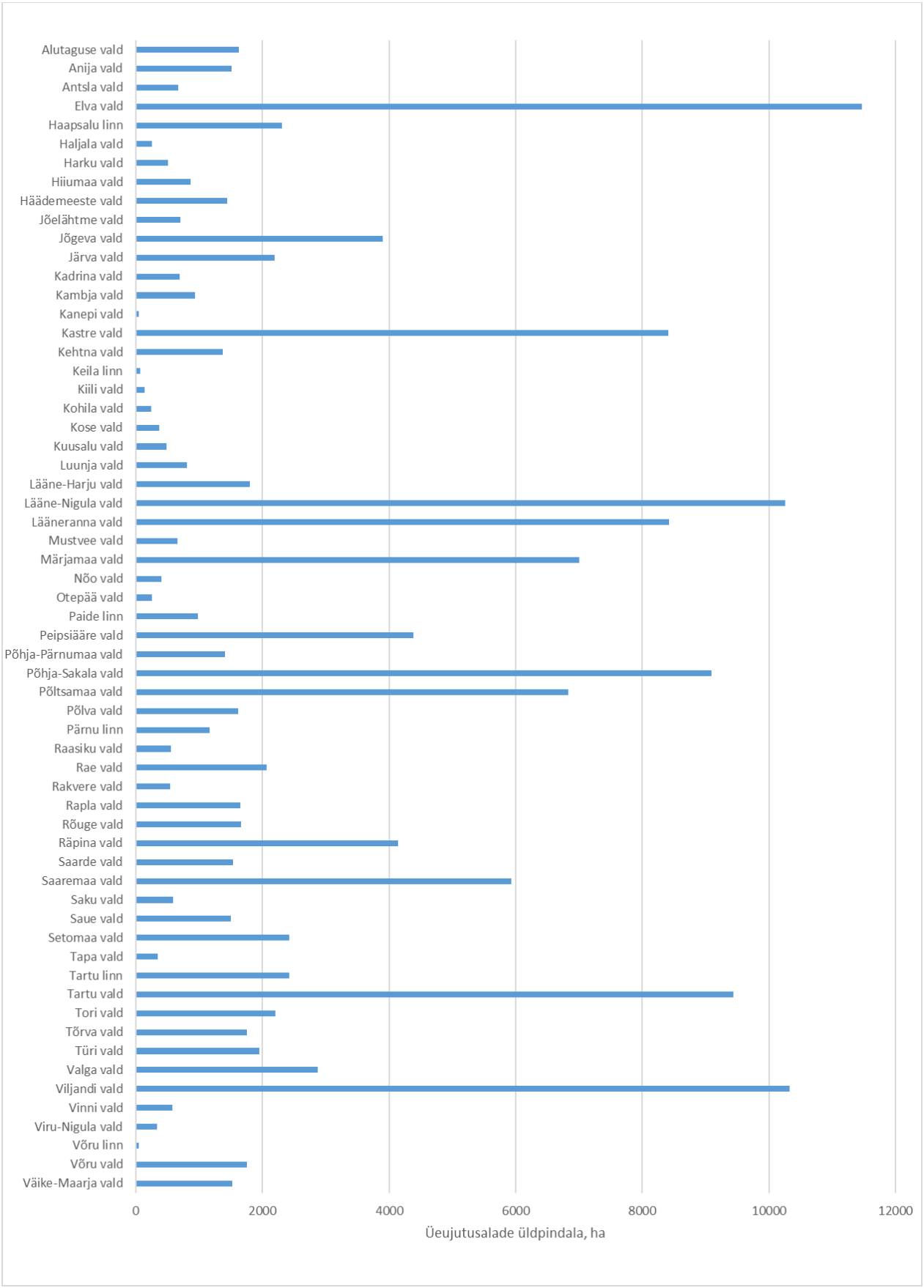
Viru, B., Jaagus, J. Spatio-temporal variability and seasonal dynamics of snow cover regime in Estonia. Theor Appl Climatol 139, 759–771 (2020).

Votruba, L. & Brozha, V. 1989. Water management in reservoirs. Faculty of civil engineering of the Technical University Prague, Czechoslovakia. Elsevier Amsterdam – Oxford – New York – Tokyo. Pp 134 – 137.

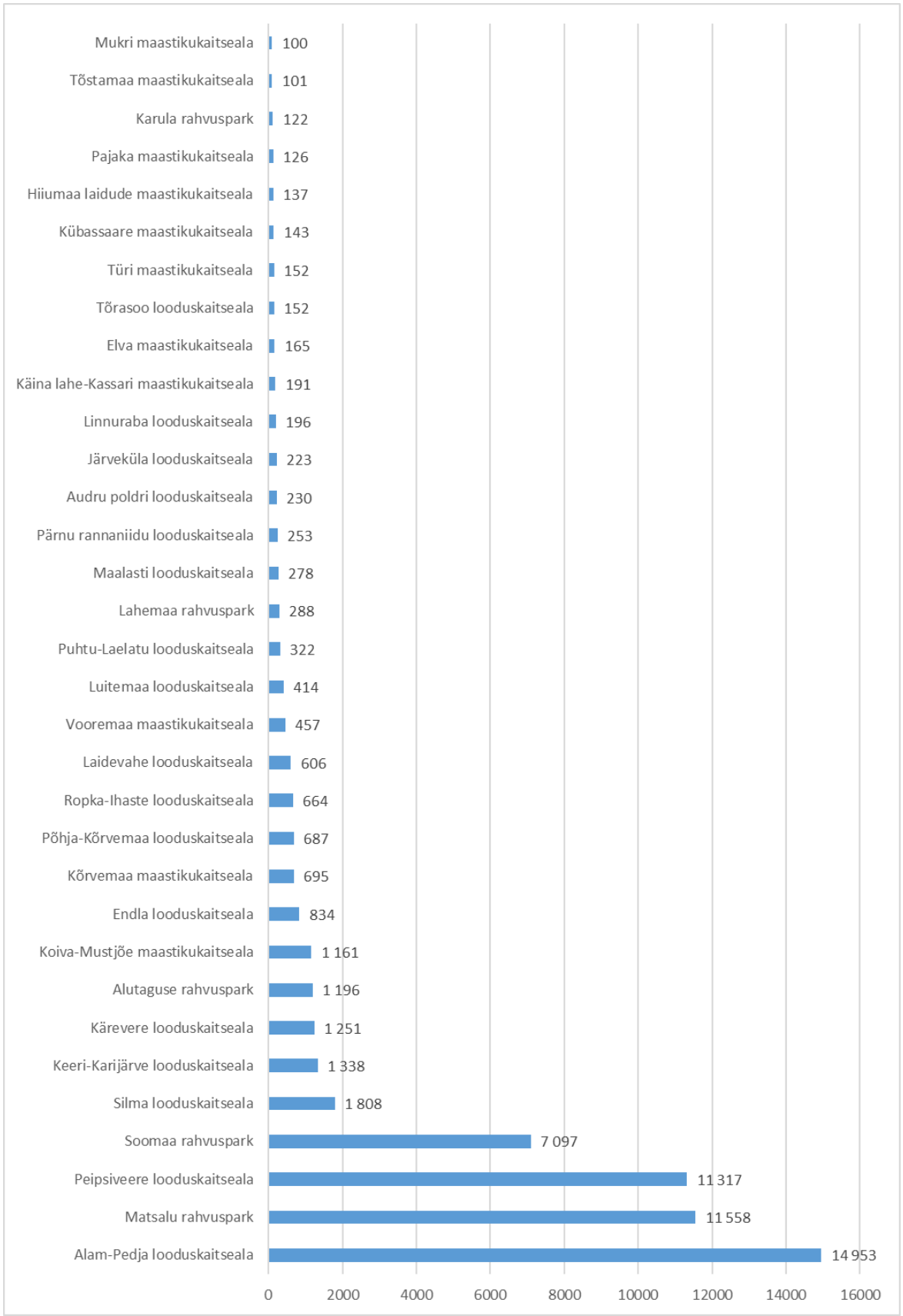
Ward JV, Tockner K, Schiemer F (1999) Biodiversity of floodplain river ecosystems: ecotones and connectivity. Regul Rivers 15:125–139.

Lisad

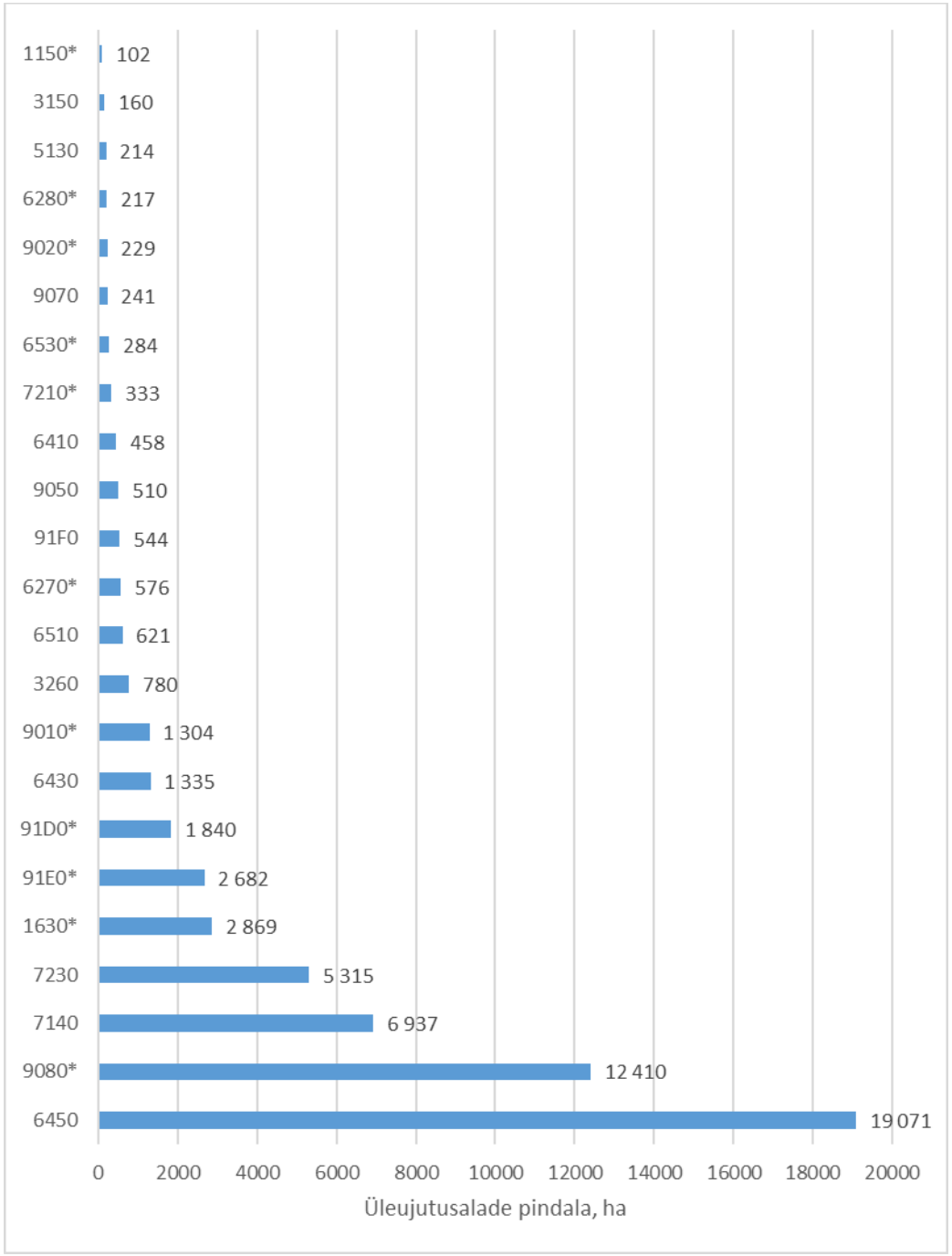
Lisa 1. KOV-ide suurte üleujutusalade pindalad. Nimekirjast puuduvad need vallad, kus suured üleujutusalad puuduvad



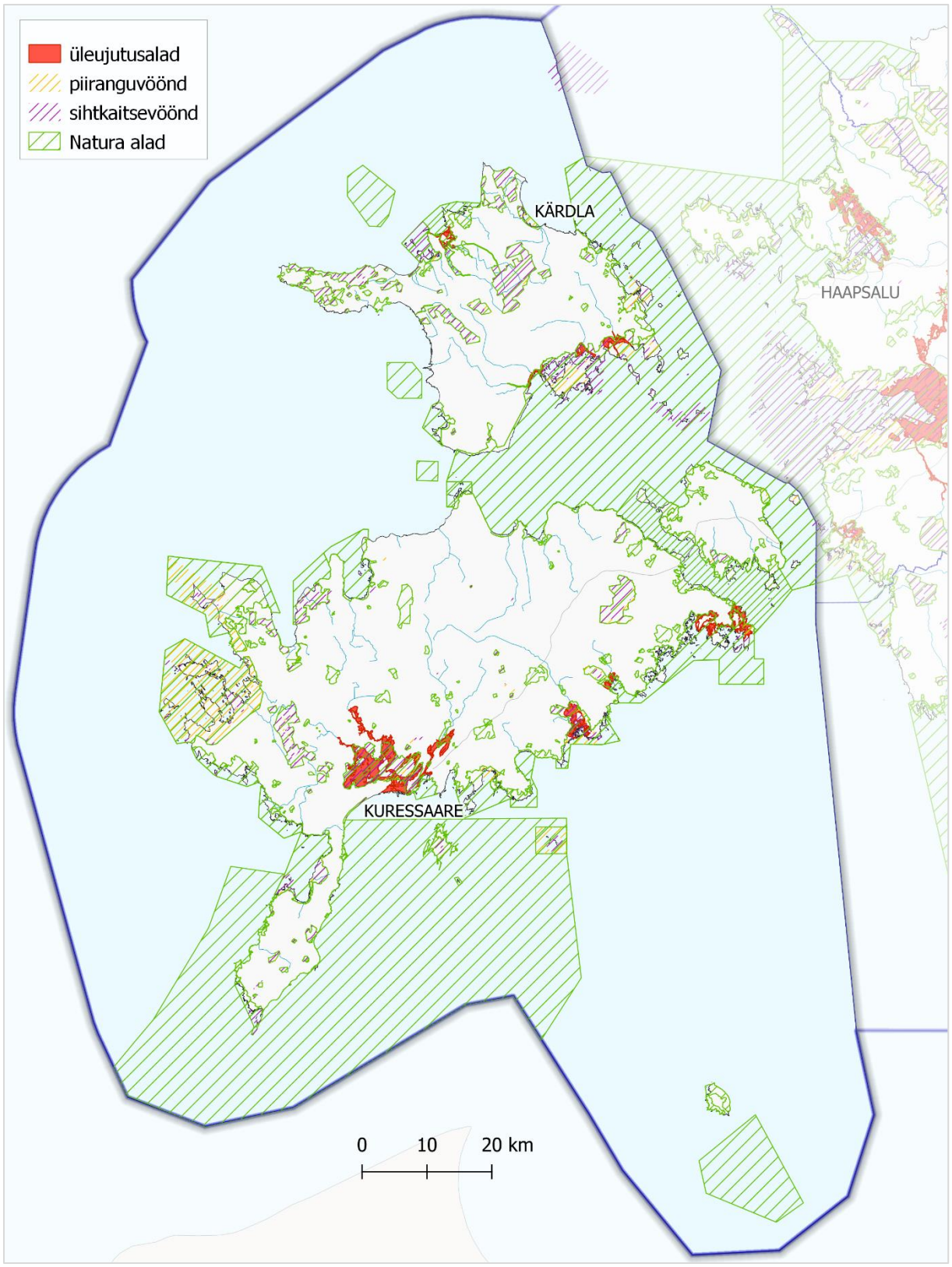
Lisa 2. Looduskaitsealade kaetus suurte üleujutusaladega (ha). Joonisel on näidatud need kaitsealad, kus katvus on üle 100 ha.



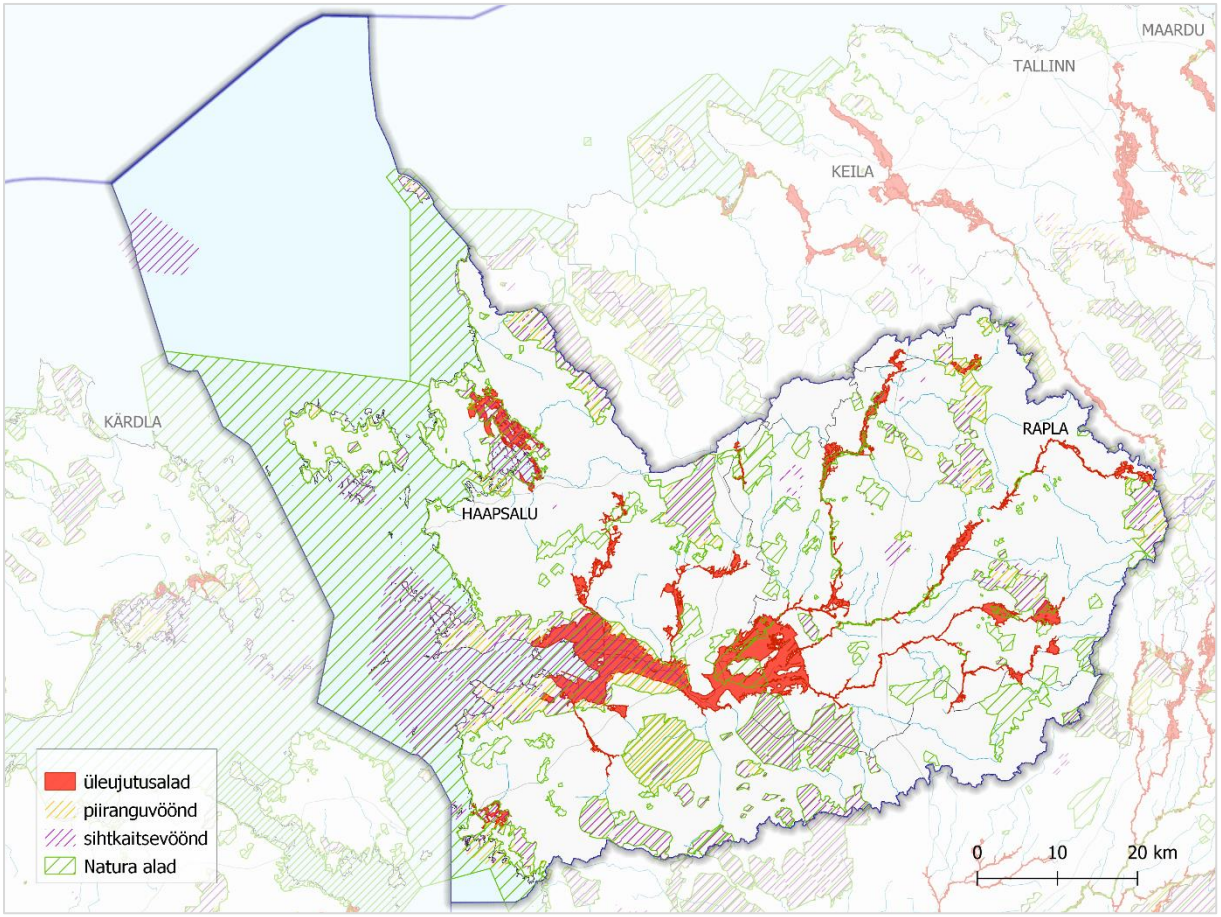
Lisa 3. Erinevate Natura elupaikade katvus suurte üleujutusaladega. Joonisel on näidatud need, mille kogukatvus ületab 1 km^2



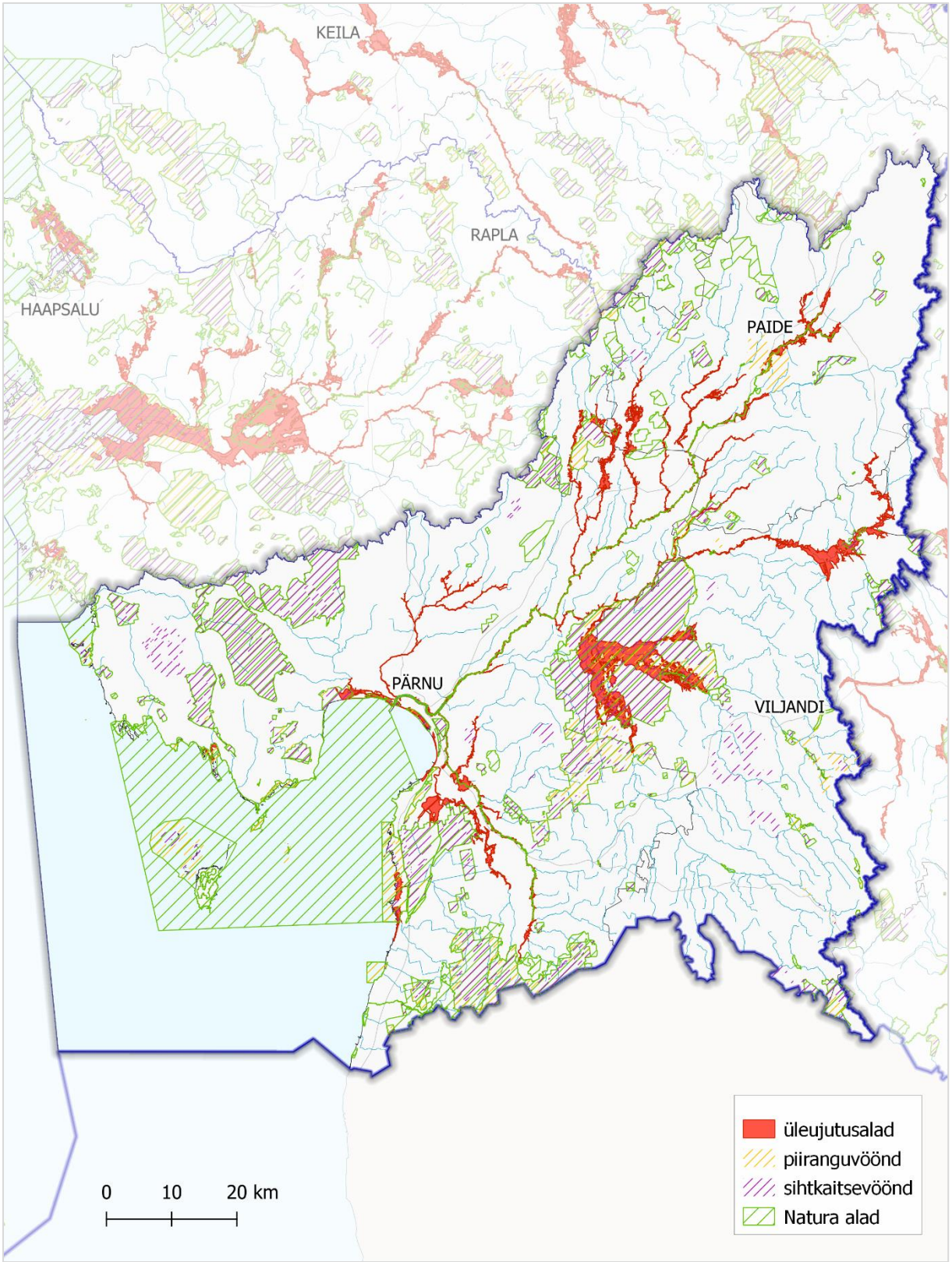
Lisa 4. Üleujutusalad alamvesikondade kaupa



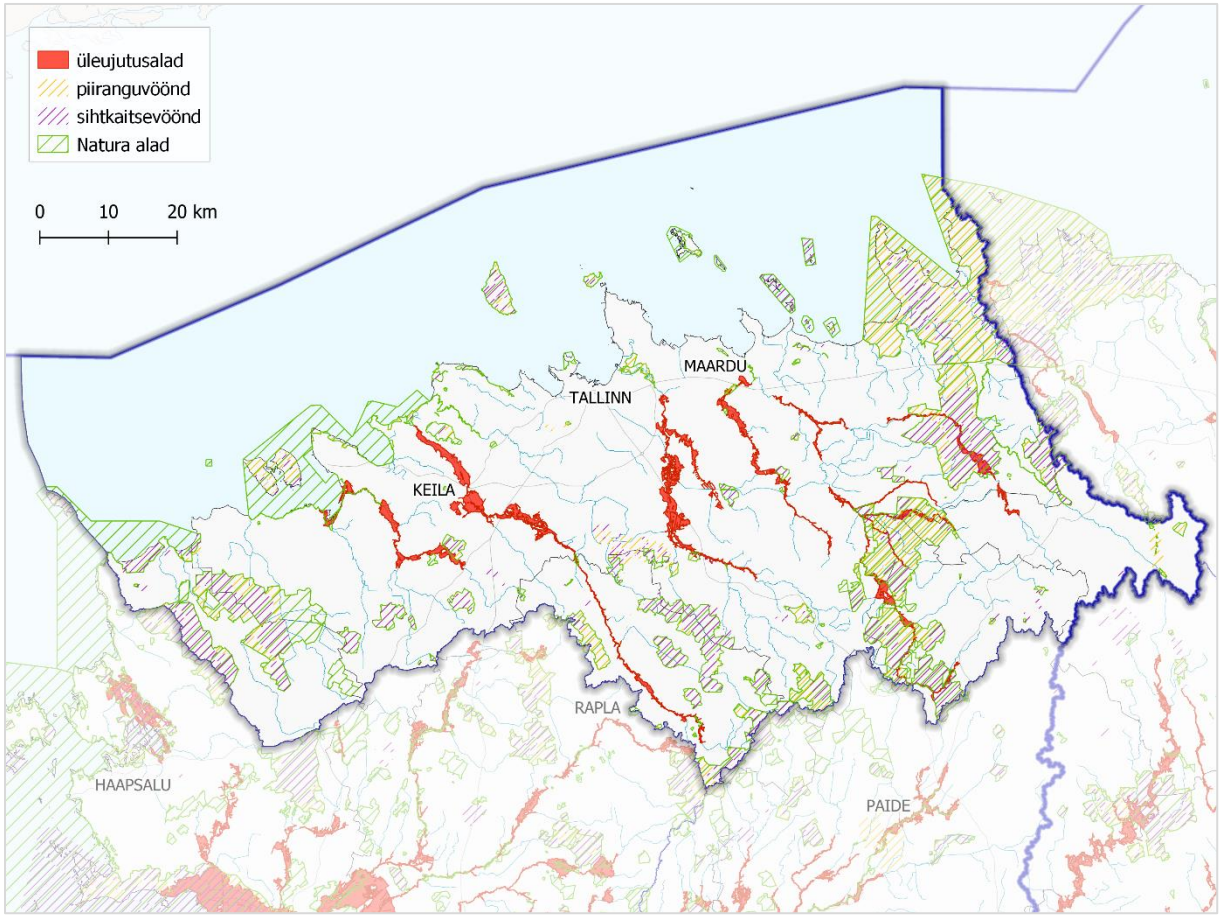
Läänesaarte alamvesikond



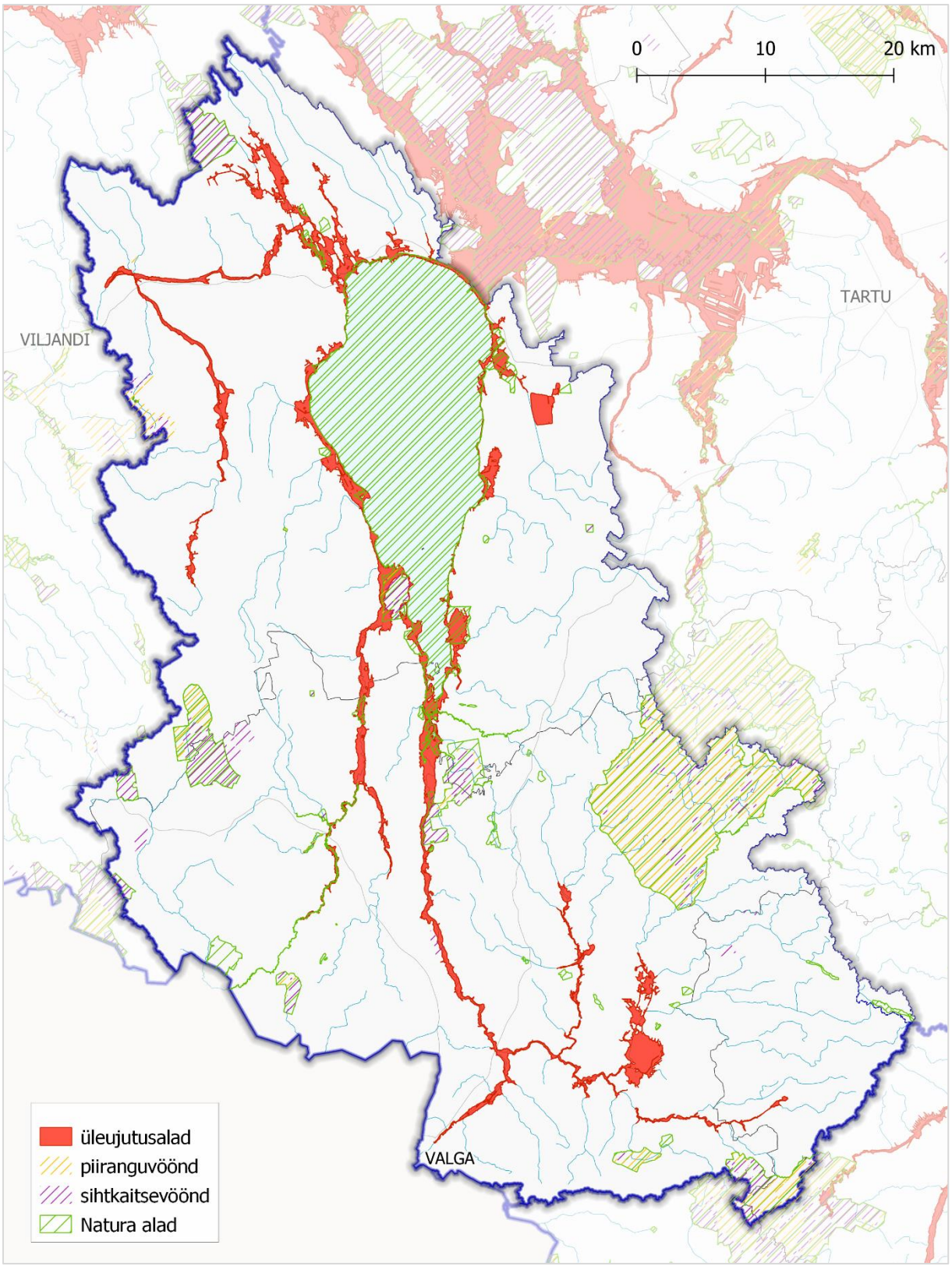
Matsalu alamvesikond



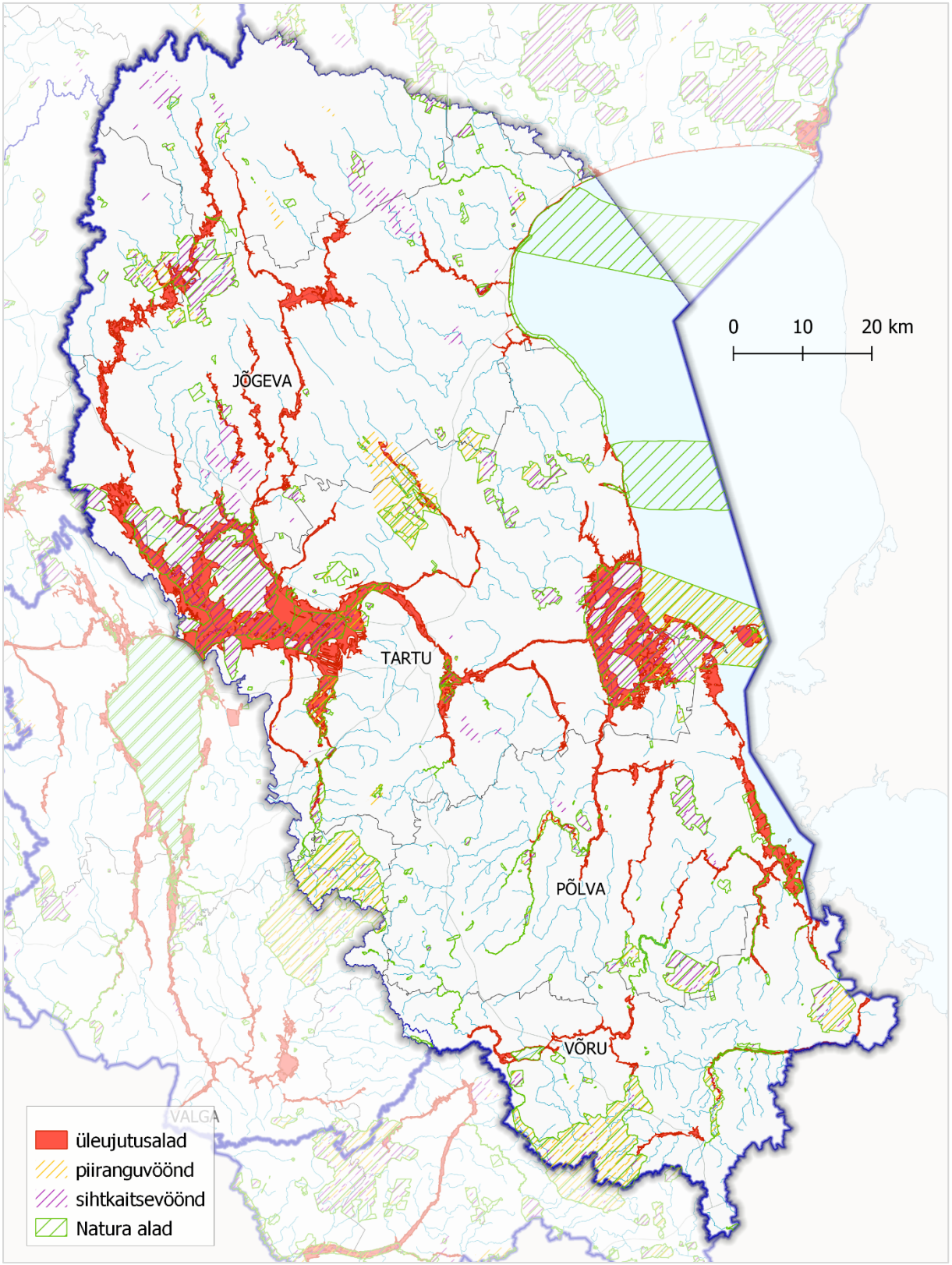
Pärnu alamvesikond



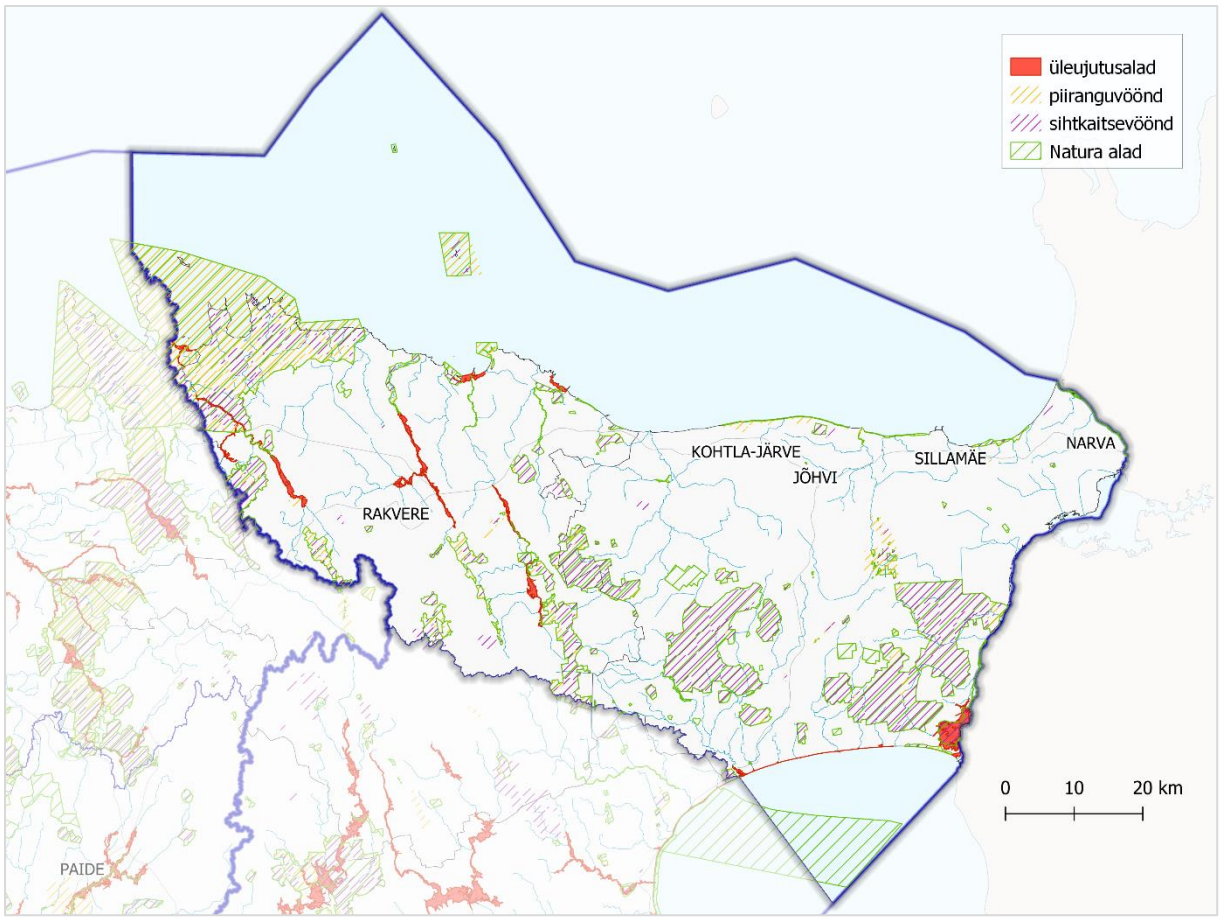
Harju alamvesikond



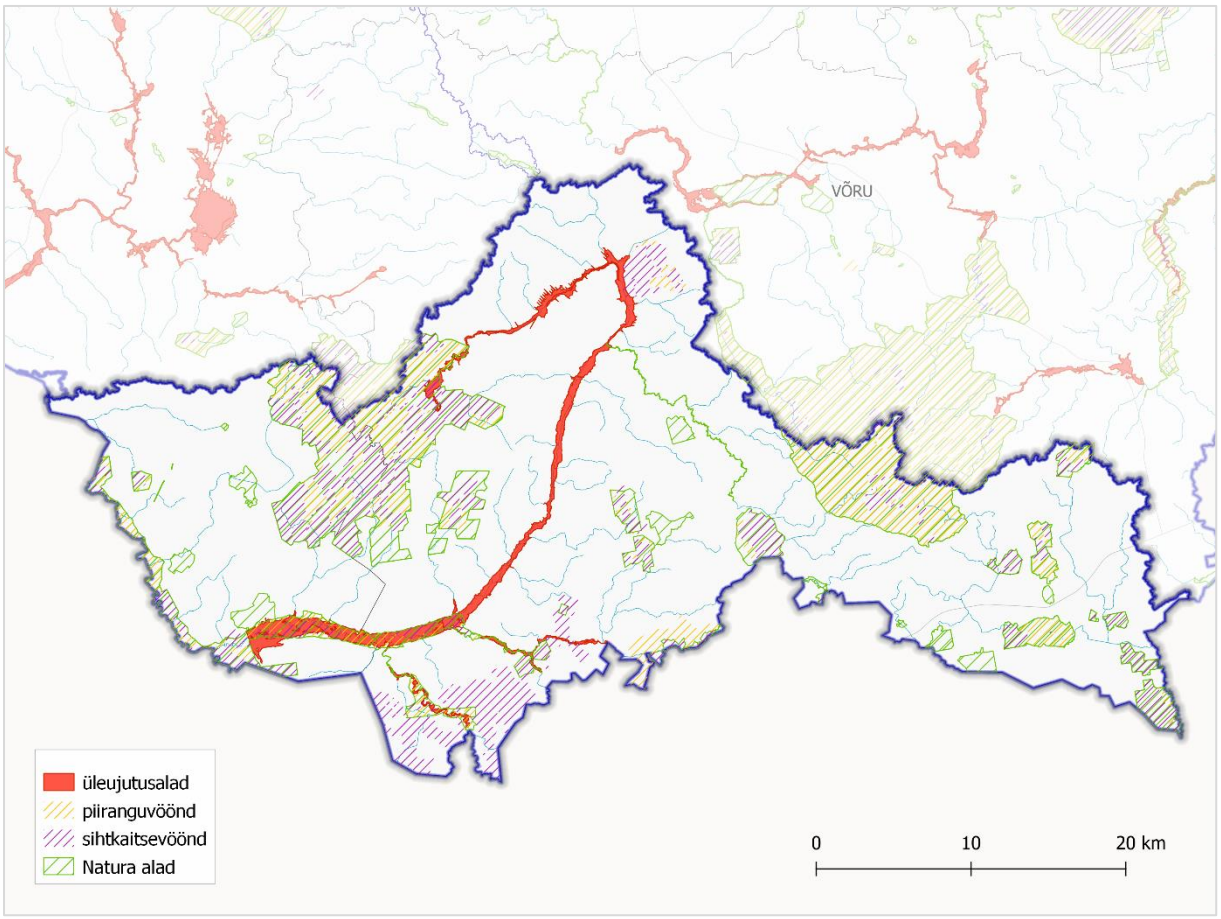
Võrtsjärve alamvesikond



Peipsi alamvesikond



Viru alamvesikond



Mustjõe alamvesikond